

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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Rapport SUB/RE/RC/Z-L

Indice	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Modifications / commentaires
03	24/05/2022	G. Rousseau	M. Le Ferrec	F. Caillon	Seconde version définitive
Signatures					Version provisoire transmise le 24/09/2021. Réception du document D455621121621 le 20/12/2021 – Remarques EDF. Prise en compte du document D455621121621 et transmission du document SUB/RCSDE/L/D455621121621 le 25/01/2022 (commentaires SUBATECH). Réception du document SUB/RCSDE/L/D455621121621/retours_EDF le 28/01/2022 – Remarques complémentaires EDF. Prise en compte du document SUB/RCSDE/L/D455621121621/retours_EDF et édition de la version définitive le 04/02/2022. Prise en compte de remarques complémentaires d'EDF reçues le 25/04/2022 et édition de la seconde version définitive le 24/05/2022.



Liste de diffusion

Destinataires		Nombre d'exemplaires
EDF/DIPDE/DEED	Geoffrey DEOTTO Cécile BOYER Elsa VITORGE Sophie CHAMPEL	1 version informatique (.pdf) 1 version papier
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 Sandra DIOT Luc GUILLOUX Céline CORMIER Xavier MARTIN	1 version informatique (.pdf)
SUBATECH	Myriam LE FERREC Gurvan ROUSSEAU	1 version informatique (.pdf) 1 version papier



Coordination

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH

Interprétation et rédaction

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH
Myriam LE FERREC SUBATECH

Organisation et réalisation des prélèvements

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH
Nancy LE GRALL SUBATECH
Vanessa PAGANO SUBATECH
Aurélien DAUVE SUBATECH
Anne DROUIN SUBATECH
Guillaume MARTIN SUBATECH
Emmanuel PLEIBER 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
Frédéric LARGER IP2I/LABRADOR
Christine OBERLIN CDRC

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

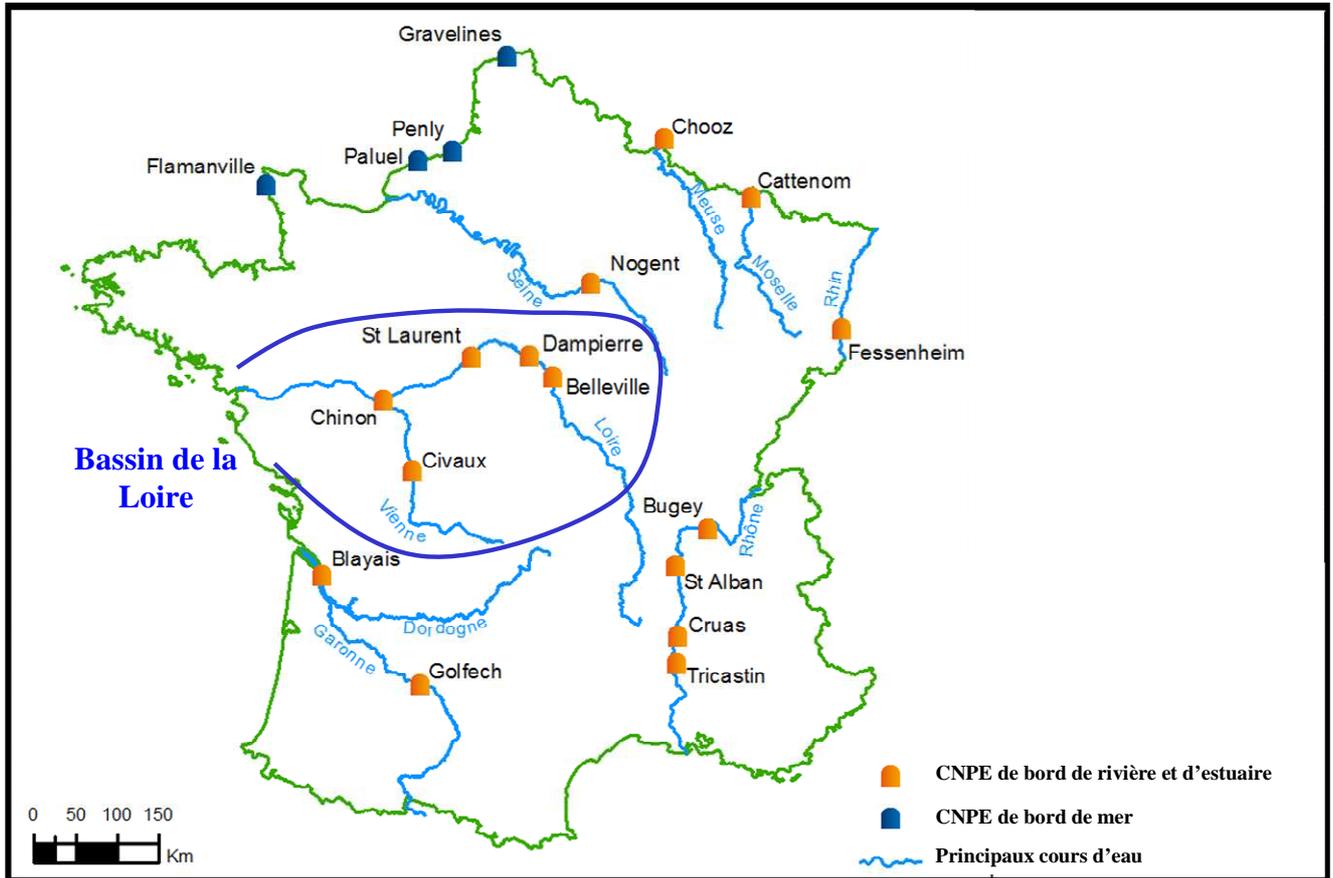
DAMPIERRE-EN-BURLY

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	89
7. C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux	149
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	331
11. Annexe	347
12. Glossaire	365



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 [27].	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 2020 (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 2020 (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 2020 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 Sécurité Nucléaire (IRSN) fournis par EDF pour les années 1991 à 2007 et de ceux de SUBATECH obtenus depuis 2008. 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 2020 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 2020, 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 2020 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 (Annexes, page 347). 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 (^7Be) 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 ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), 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 (^3H 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 ^7Be , le béryllium 10 (^{10}Be) et le ^3H .

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 des essais nucléaires.

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 ^3H , 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 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, elle était estimée à 5 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ 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 événements 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 ($^{123\text{m}}\text{Te}$), ^{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 ^3H (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 ^3H , 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' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, les antimoine 124 et 125 (^{124}Sb et ^{125}Sb), le $^{123\text{m}}\text{Te}$, l' ^{131}I , le ^{134}Cs et le ^{137}Cs . Le ^{58}Co , le ^{60}Co , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 ^3H 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 ^3H , 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 ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{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 12,312 et 5700 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 ^3H est de l'ordre de 50000 à 70000 TBq et de 1000 à 1400 TBq pour le ^{14}C [3,26-29].

Depuis plusieurs décennies, les activités humaines (militaires, industrie nucléaire, recherche, médecine...) sont également à l'origine d'émission de ^3H 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 ^3H 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 ^3H 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 ^3H 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) [27]. 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 (essais nucléaires atmosphériques, industrie horlogère) peut être plus élevée et donc conduire à des activités plus importantes en tritium dans ces matrices [31].

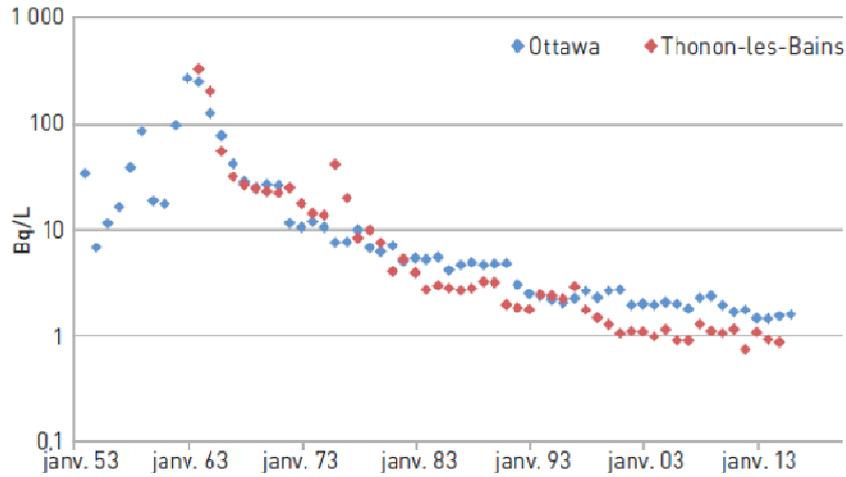


Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955 [27].

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 ($^{14}\text{C}/\text{C}$) était de $226 \pm 1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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 2020, 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 $200\text{-}220 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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].

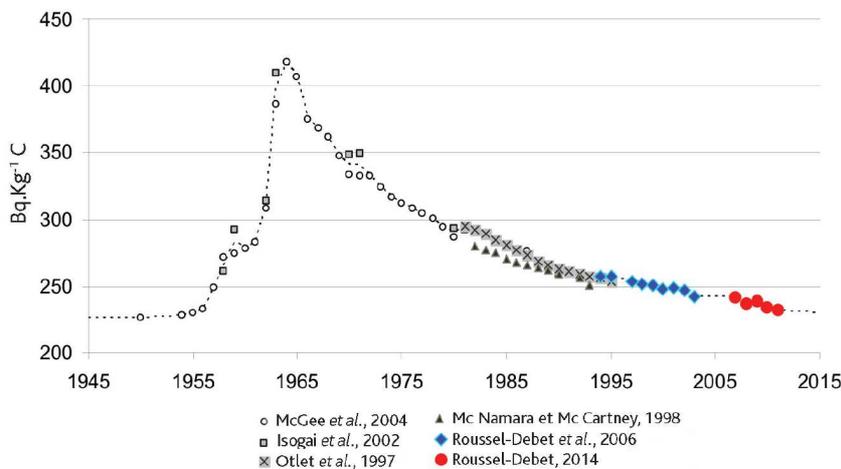


Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, Bq.kg^{-1} de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].

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 ^3H , 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 (Cénomaniens), 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'aurèle Crétacé du bassin. L'environnement proche du site est constitué d'alluvions de la Loire sablo-graveleuses de différentes époques, qui érodent et recourent 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 Cénomaniens 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-toarciens du Jurassique, la nappe infra-toarciens 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 2020 [37].

En 2020, ces hydrogrammes montrent que la Loire a connu quatre épisodes de crues en février, en mars, en juin et en décembre. En 2020, le débit moyen de la Loire a été de 187 m³.s⁻¹ à Saint-Satur et de 467 m³.s⁻¹ à Saumur. Sur la période 2011-2020, la crue décennale a atteint un débit de 1970 m³.s⁻¹ à Saint-Satur (06/05/2013) et de 3890 m³.s⁻¹ à Saumur (04/06/2016).

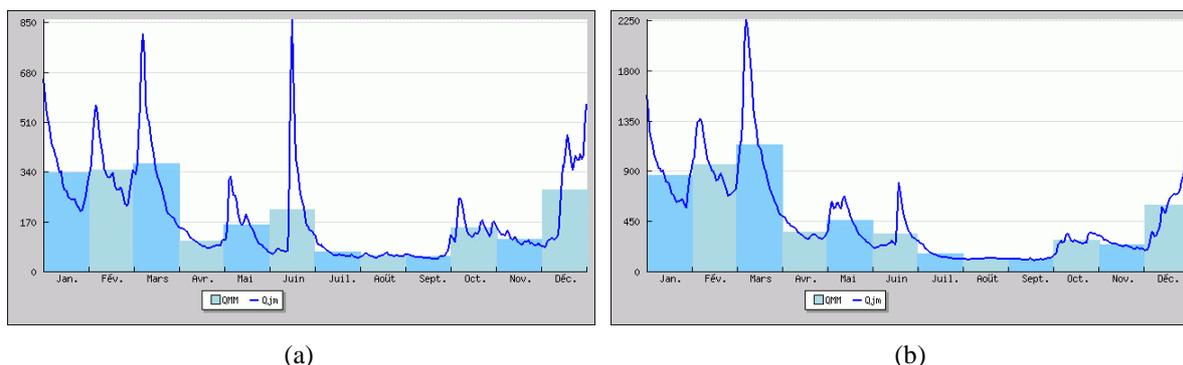


Figure 4-1. Hydrologie de la Loire à la station de Saint-Satur (a) et à la station de Saumur (b) pour l'année 2020 (Qjm : débit moyen journalier en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

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 km^2 . 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 le 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'évite 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 2020 [37].

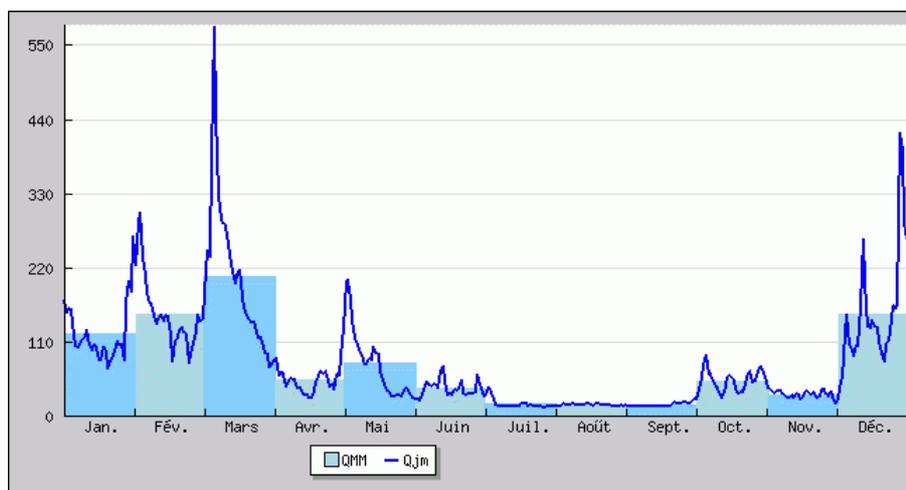


Figure 4-2. Hydrologie de la Vienne à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2020 (Qjm : débit moyen journalier en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

En 2020, l'hydrogramme montre que la Vienne a connu trois crues en février, en mars et en mai ainsi que deux en décembre. En 2020, le débit moyen de la Vienne a été de $78,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à Lussac-les-Châteaux, et sur la période 2011-2020, la crue décennale a atteint un débit de $725 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (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 Sécurité 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 événements en radioprotection dans le cadre de radiothérapies. 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 ¹³⁷Cs 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., Evangelidou 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 ¹³¹I 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 Sécurité 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 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

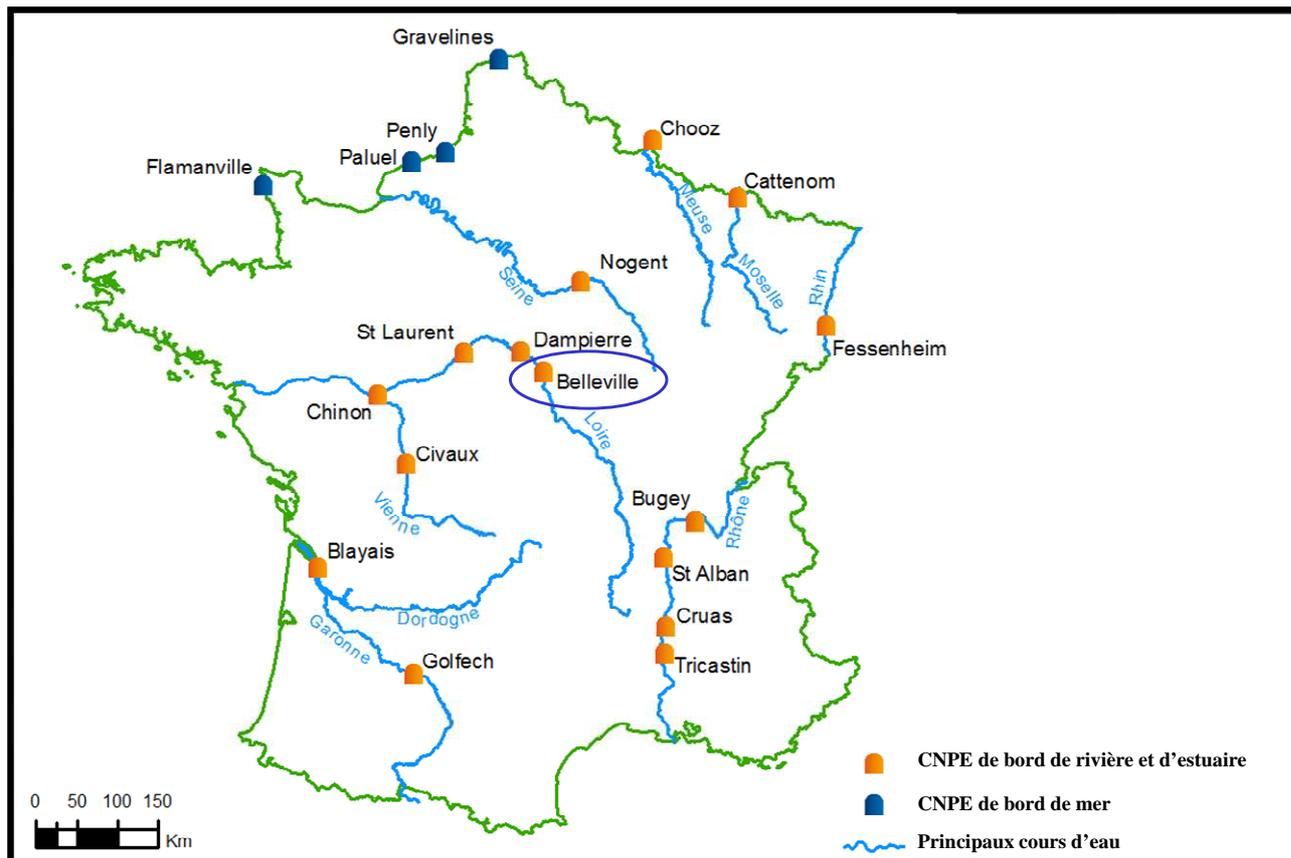
Dampierre-en-Burly

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.	<i>Généralités et chronologie des études radioécologiques</i>	39
5.2.	<i>Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	41
5.2.1.	Stratégie d'échantillonnage	41
5.2.2.	Résultats et interprétation	44
5.2.2.1.	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	44
5.2.2.2.	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	46
5.3.	<i>Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	49
5.3.1.	Stratégie d'échantillonnage	49
5.3.2.	Résultats et interprétation	52
5.3.2.1.	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	52
5.3.2.2.	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	56
5.4.	<i>Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire</i>	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 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Belleville-sur-Loire.

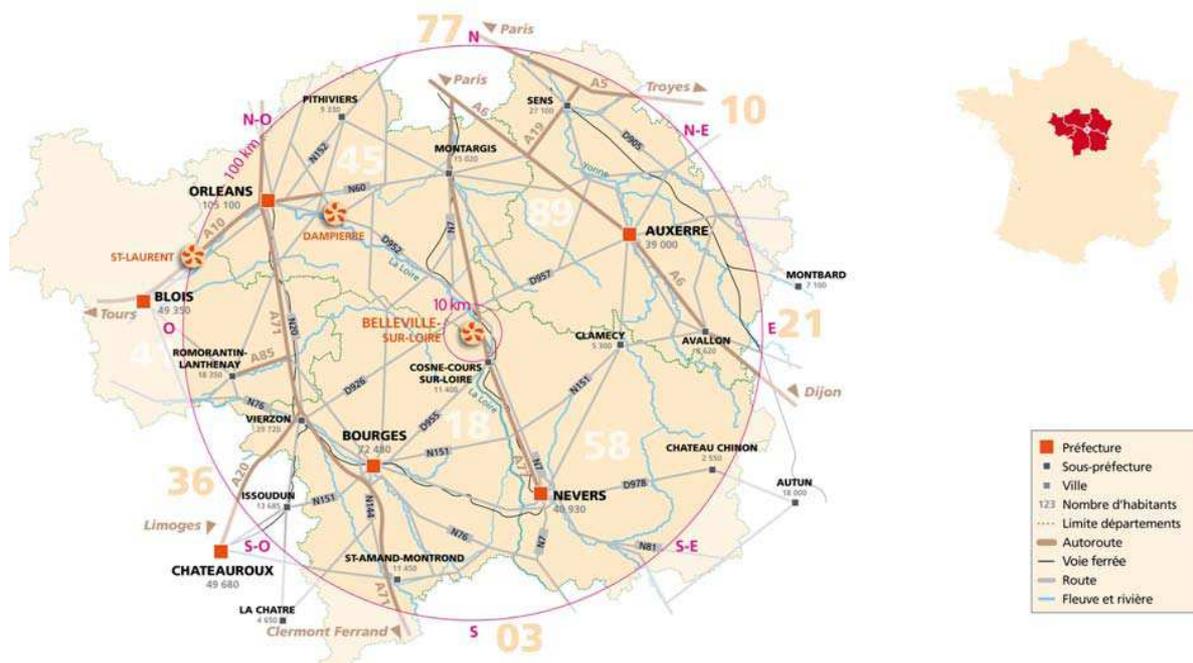
Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité gamma d'origine artificielle est liée en 2020 uniquement à la présence de ^{137}Cs . Il provient principalement de la rémanence des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en ^3H libre sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle locale à l'exception de l'activité proche de 5 Bq.L^{-1} mesurée dans l'herbe de pâturage. Cette activité est liée aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. Pour le ^3H organiquement lié, les résultats correspondent aux observations des années précédentes et ils ne montrent pas d'influence des rejets d'effluents atmosphériques de l'installation pour ce radionucléide. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants (salade et lait) ne montrent aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques du site pour ce radionucléide.

En 2020, la radioactivité d'origine artificielle dans **le milieu aquatique** est caractérisée par la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons de sédiments et de végétaux. Dans les sédiments, les niveaux d'activité sont équivalents de l'amont à l'aval du C.N.P.E. En revanche, on constate une augmentation à l'aval dans les myriophylles liée aux rejets d'effluents liquides du site. Ce constat est conforté par la détection de ^{54}Mn dans le sédiment prélevé à l'aval lointain. Le ^{137}Cs est également détecté dans les poissons pêchés à l'amont. Le ^{137}Cs provient 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. de Belleville-sur-Loire. A l'amont, les analyses de ^3H libre et de ^{14}C dans les phanérogame et les poissons et de ^3H organiquement lié dans les phanérogame montrent des activités conformes aux niveaux attendus en dehors de tout apport industriel local. Dans les poissons pêchés à l'amont, l'activité du ^3H organiquement lié est inférieure au seuil de décision. L'augmentation systématique des activités de ces trois radionucléides déterminées à l'aval dans les végétaux et les poissons montre le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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.

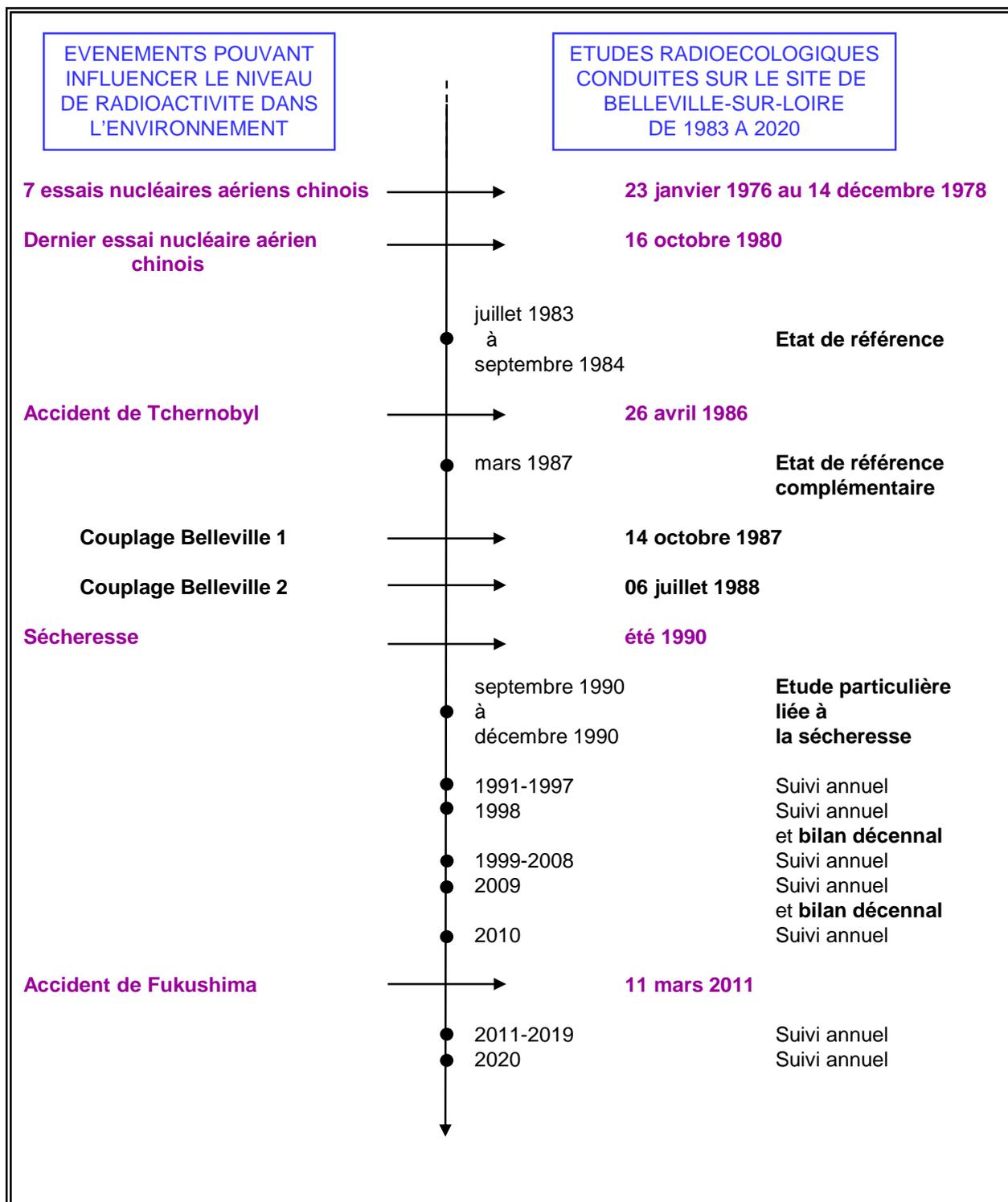


Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2020.

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

D'après la rose des vents présentée sur la Figure 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 2020, quatre prélèvements de feuilles de lierre ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AS1 du site dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

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

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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/07/20	Spectrométrie γ en frais (Iode 131)	1,06	-
Beaulieu-sur-Loire	5,5 km NO	47,54750	2,82750	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	27/07/20	Spectrométrie γ	22,48	4,34
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	17,29	-
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	27/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,05	-
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	19/10/20	Spectrométrie γ	3,75	10,80
								Tritium libre Tritium organiquement lié	3,45	-
Neuvy-sur-Loire	2,6 km NE	47,52472	2,90167	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,06	17,24

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 2020.

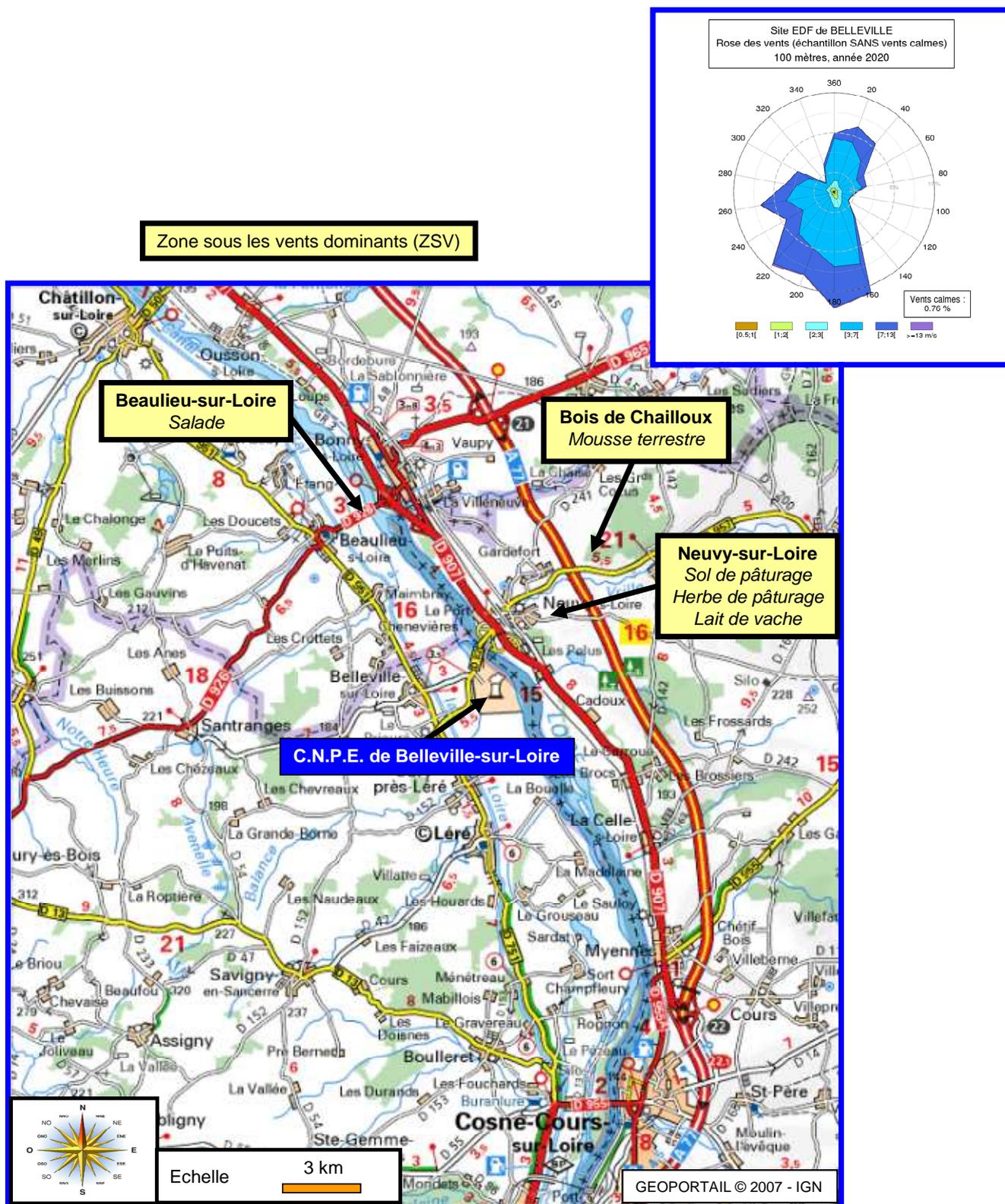


Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2020, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis 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 ^{238}U (Tableau 5-10, page 73). 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 50 Bq.L^{-1}).

Le ^7Be est détecté dans tous les échantillons de végétaux. Il n'est en revanche pas détecté dans le sol et le lait. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be 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 2020 à la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons analysés dans le milieu terrestre à l'exception des salades (Tableau 5-11, page 74). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures et la présence de traces de ^{137}Cs en 2020 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 2020, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de 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 de ^{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.

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 de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ a été détecté dans des champignons. Depuis 1998, aucun de ces radionucléides artificiels n'a été détecté.

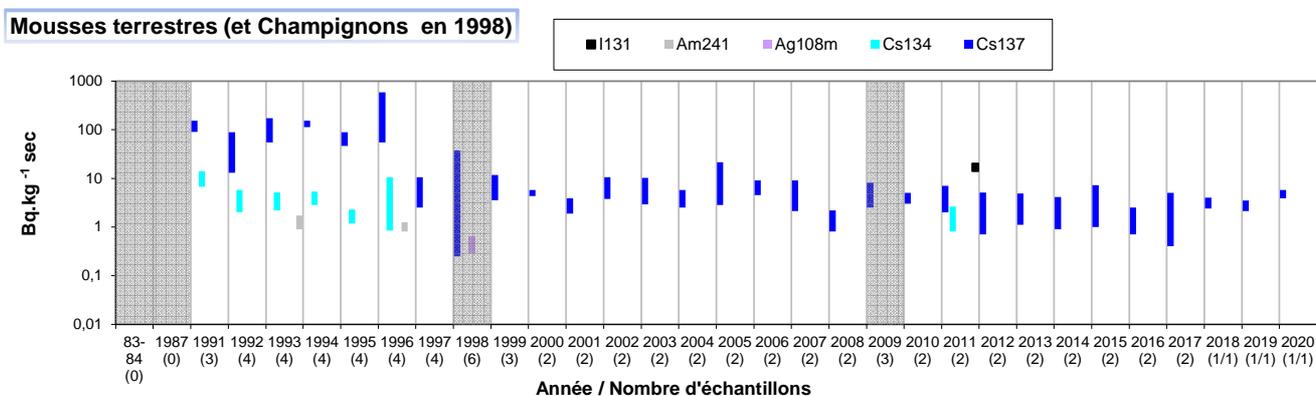
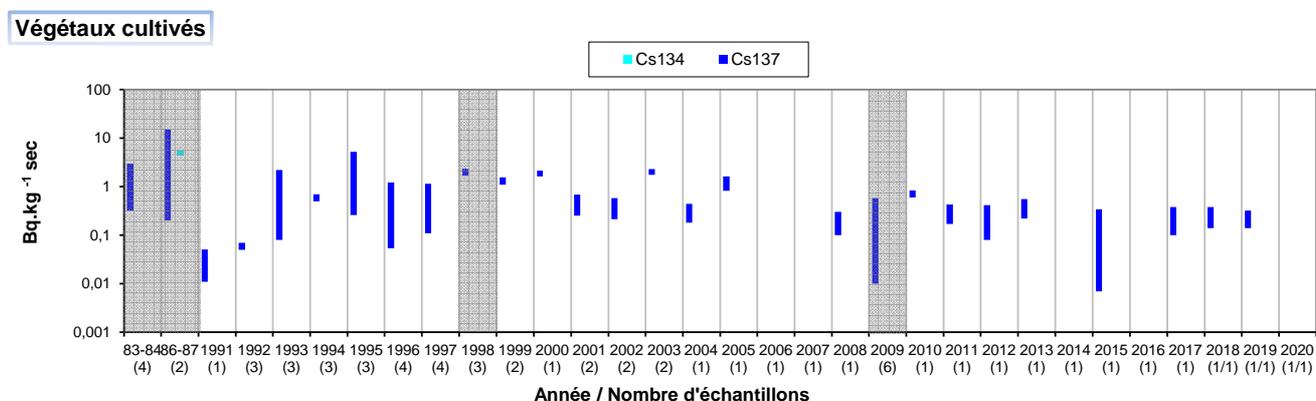
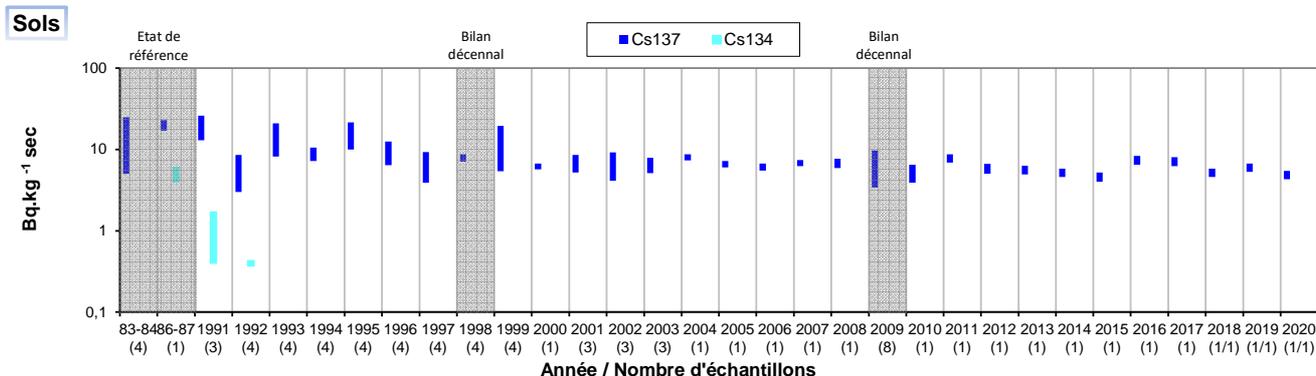


Figure 5-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2020.

(*) 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 2020, les activités en ^3H libre (HTO) et en ^3H organiquement lié mesurées sont proches de 1-2 Bq.L⁻¹ ou inférieures aux seuils de décision dans les salades et le lait (Tableau 5-13, page 75, et Tableau 5-14, page 75). Elles sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 Bq.L⁻¹) [3,5]. En revanche, l'activité en ^3H libre mesurée dans l'herbe de pâturage prélevée sous les vents dominants à Neuvy-sur-Loire, proche de 5 Bq.L⁻¹, témoigne de l'influence des rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire sur le milieu terrestre pour ce radionucléide.

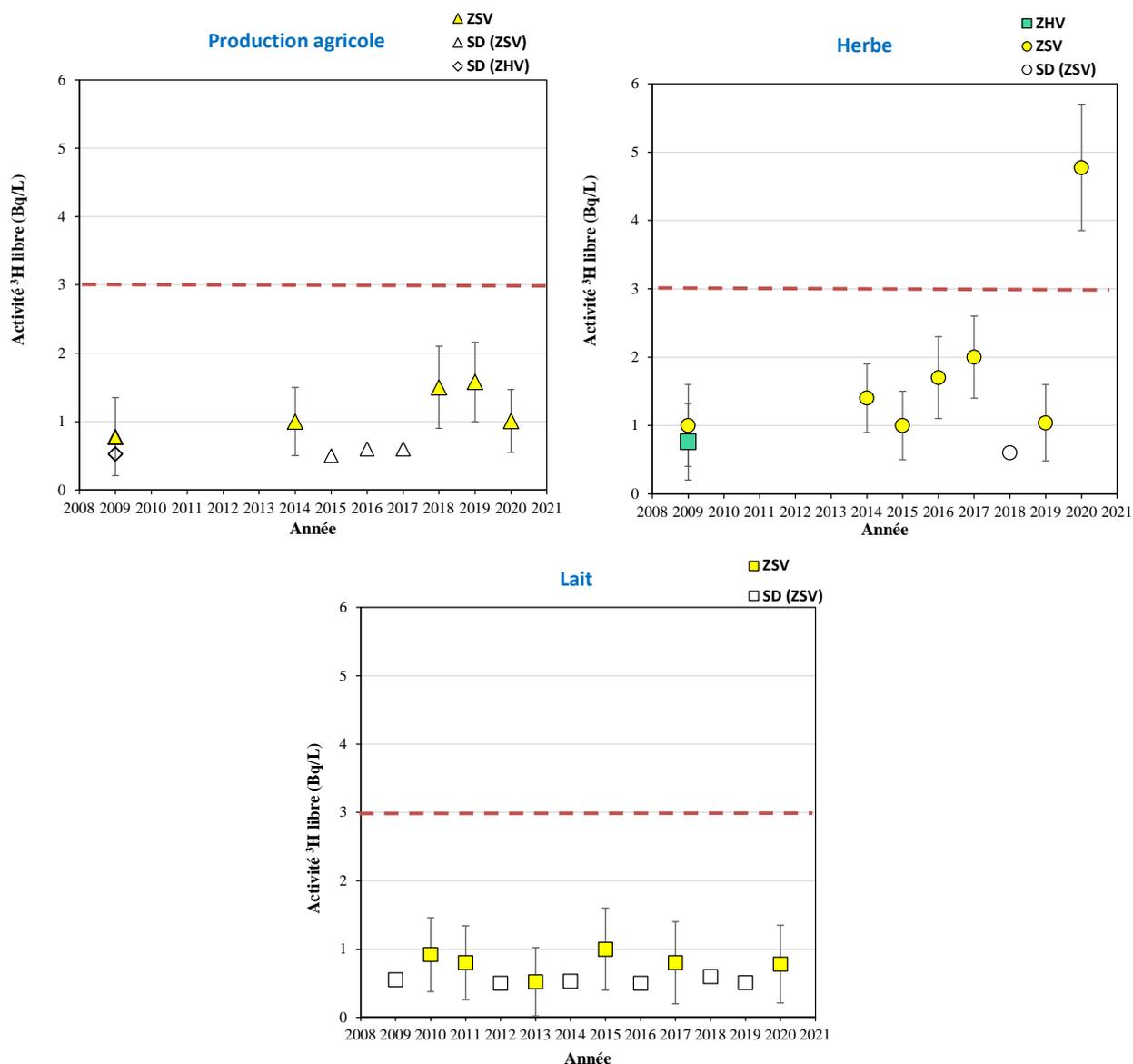


Figure 5-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 Bq.L⁻¹) [3,5].

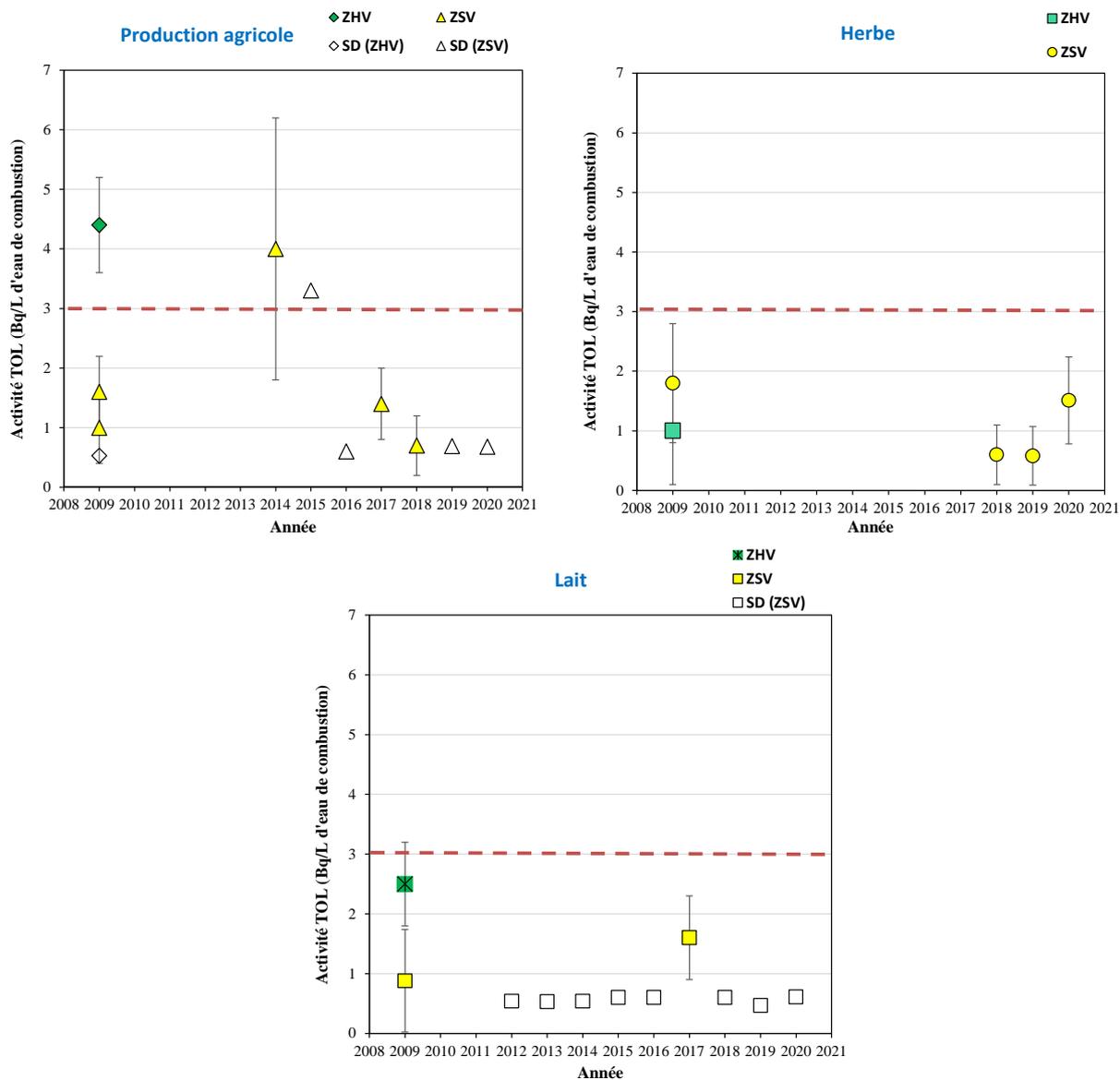


Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].

5.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats d'analyse du ^{14}C dans les échantillons de salades et de 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 [3,6] (Tableau 5-15, page 76).

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 à une activité dans la gamme haute du bruit de fond hors influence industrielle. Ce marquage ponctuel est également observé sur certains prélèvements trimestriels de lierre réalisés depuis 2015 à proximité du C.N.P.E.

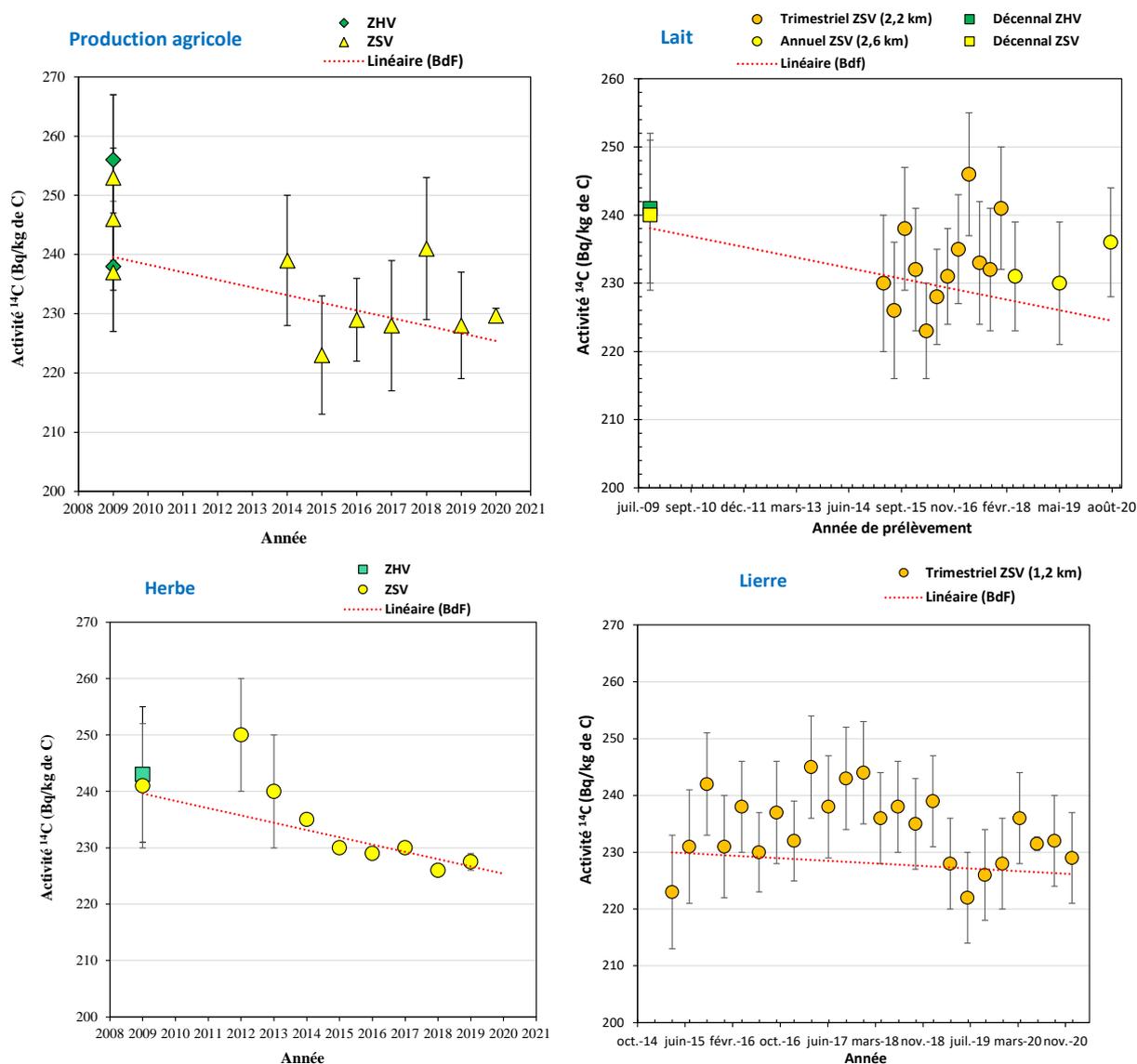


Figure 5-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

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

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 2020.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Les prélèvements ont lieu en amont, en aval proche de l'ouvrage de rejet et en aval lointain. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, 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 issu d'un ouvrage de collecte situé sur la commune de Bonny-sur-Loire a été intégré au suivi radioécologique annuel. Ce forage de 30 mètres est situé dans le lit majeur de la Loire et capte dans la nappe de la craie du Cénomani. Cette nappe communique avec la nappe alluviale et elle est donc potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. En 2020, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé dans une nappe alluviale sur la commune de Beaulieu-sur-Loire potentiellement soumise aux rejets d'effluents du C.N.P.E.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/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	28/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,22	-
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	5,3 km aval	47,54889	2,83361	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,15	-
Ousson-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	29/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,17	-
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	13,7 km amont	47,38889	2,90556	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	28/07/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	8,21	2,71
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,81	-
Ousson-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	29/07/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	6,72	2,32
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	6,96	-
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	1 km amont	47,50417	2,88556	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,67	14,83
Les Mantelots Rives gauche et droite	12 km aval lointain	47,59111	2,76861	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,52	11,53
Beaulieu-sur-Loire	5,7 km aval	47,54361	2,81667	Eau	Eau de boisson	Entier	30/07/20	Tritium libre	-	-
Bonny-sur-Loire Station de pompage	5,1 km aval	47,55083	2,84167	Eau	Eau de boisson	Entier	31/07/20	Spectrométrie γ Tritium libre Béta global Eau filtrée Béta global MES	-	-
Beaulieu-sur-Loire	4,4 km aval	47,54167	2,83944	Eau	Eau d'irrigation	Entier	30/07/20	Tritium libre	-	-

(*) En 2020, le prélèvement de myriophylles à l'aval proche n'a pas pu être réalisé par absence de ressource.

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 2020.

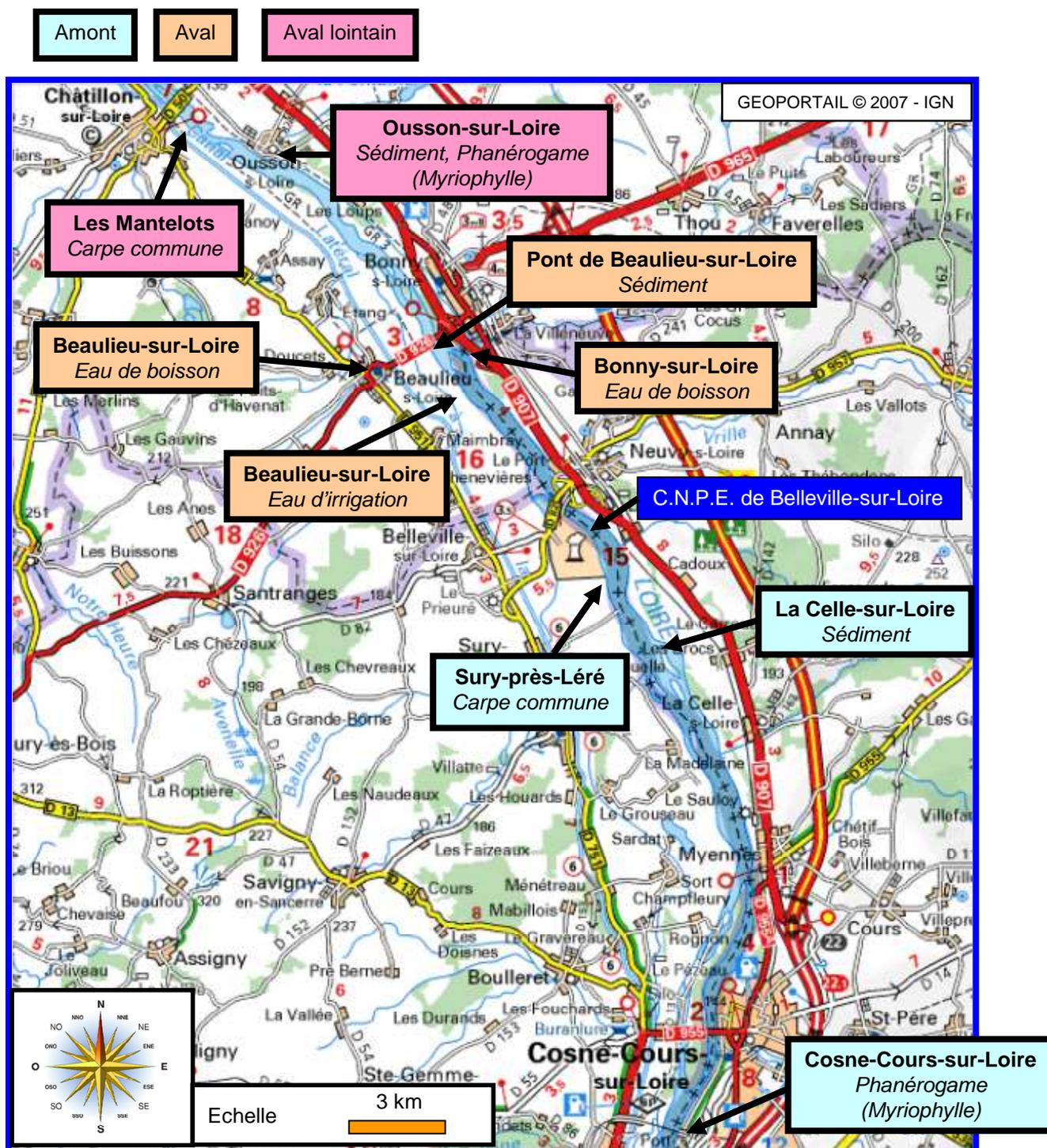


Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2020, 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 ^{238}U (Tableau 5-21, page 81). 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 ^7Be est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux.

5.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2020, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence de ^{137}Cs et de ^{54}Mn (Tableau 5-22, page 82).

Le ^{137}Cs est quantifié systématiquement dans les sédiments et les végétaux aquatiques ainsi que dans les poissons pêchés à l'amont. Les activités détectées à l'amont et à l'aval sont cohérentes aux incertitudes de mesure près dans les sédiments. Dans les myriophylles, l'activité mesurée augmente à l'aval par rapport à l'amont. Ces mesures montrent que les activités en ^{137}Cs mesurées en 2020 résultent des essais nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. En 2020, l'influence des rejets d'effluents liquides du site est également mise en évidence par la détection de ^{54}Mn dans le sédiment prélevé en aval lointain.

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 5-8, page 53, à, Figure 5-10, 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 $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$, 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 , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn à l'aval de l'installation. Depuis 2004, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire sur le milieu aquatique environnant est constatée 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 de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ en 2018 ; phanérogames : détection de ^{58}Co en 2012, 2015 et 2016).

En 2020, les activités de ^{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.

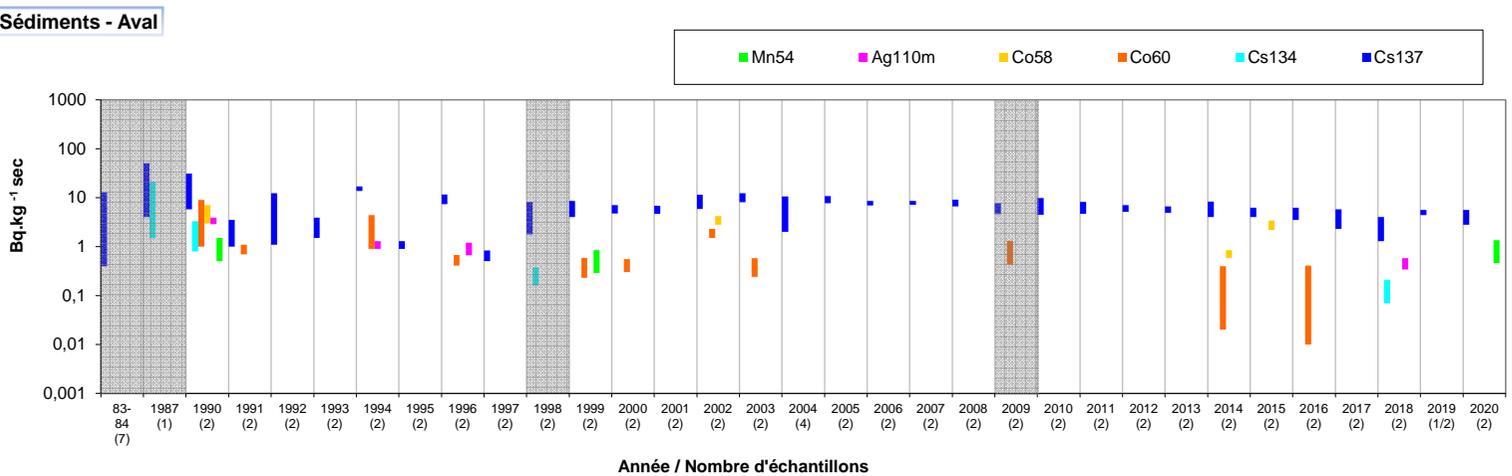
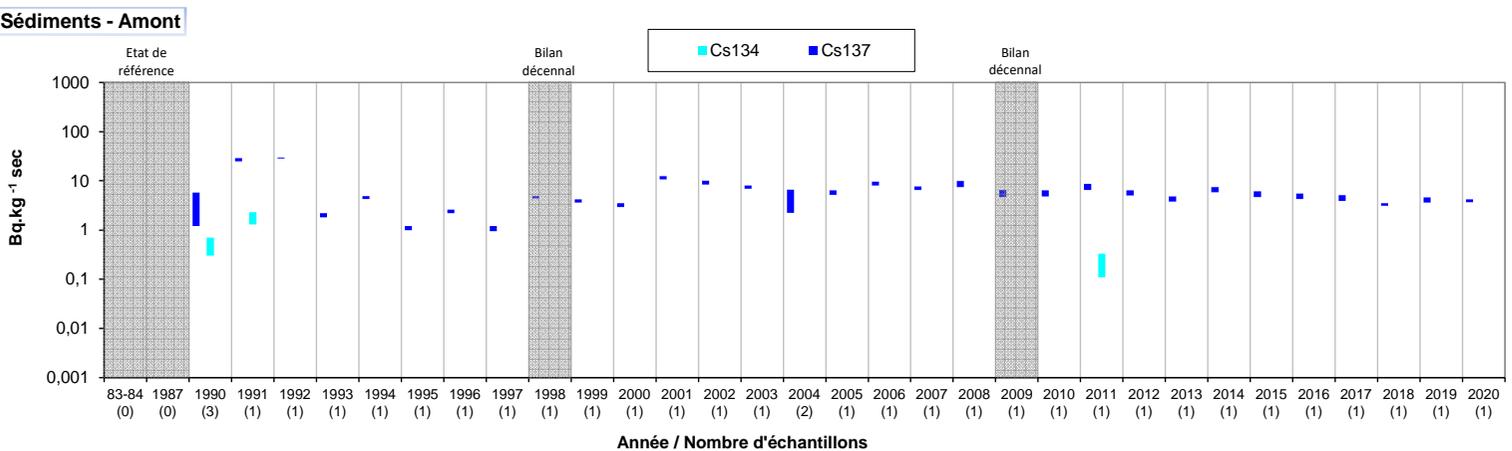


Figure 5-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2020.

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

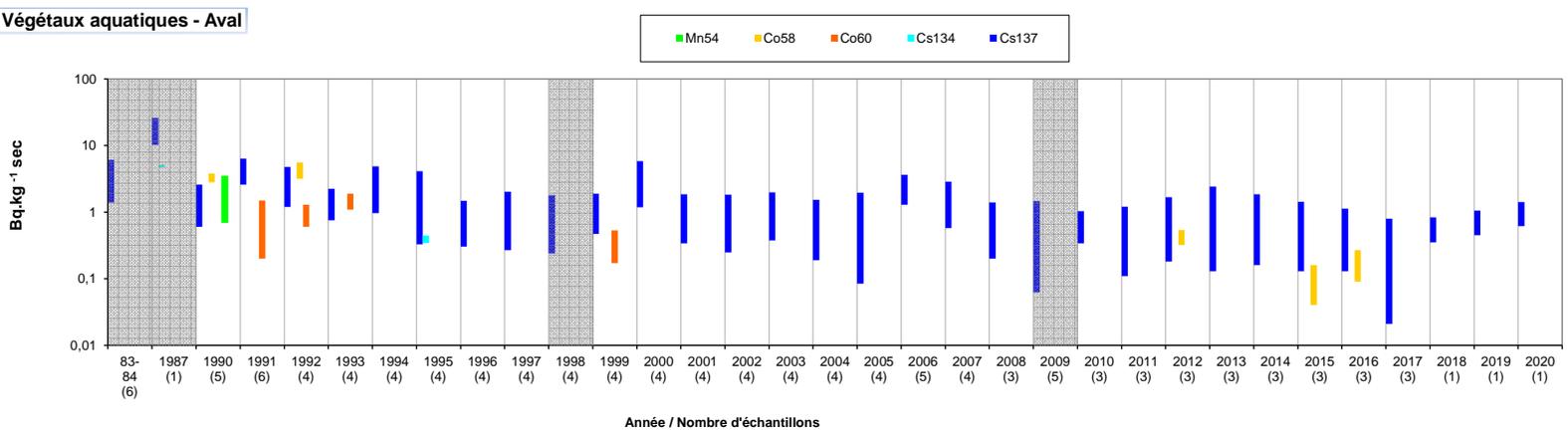
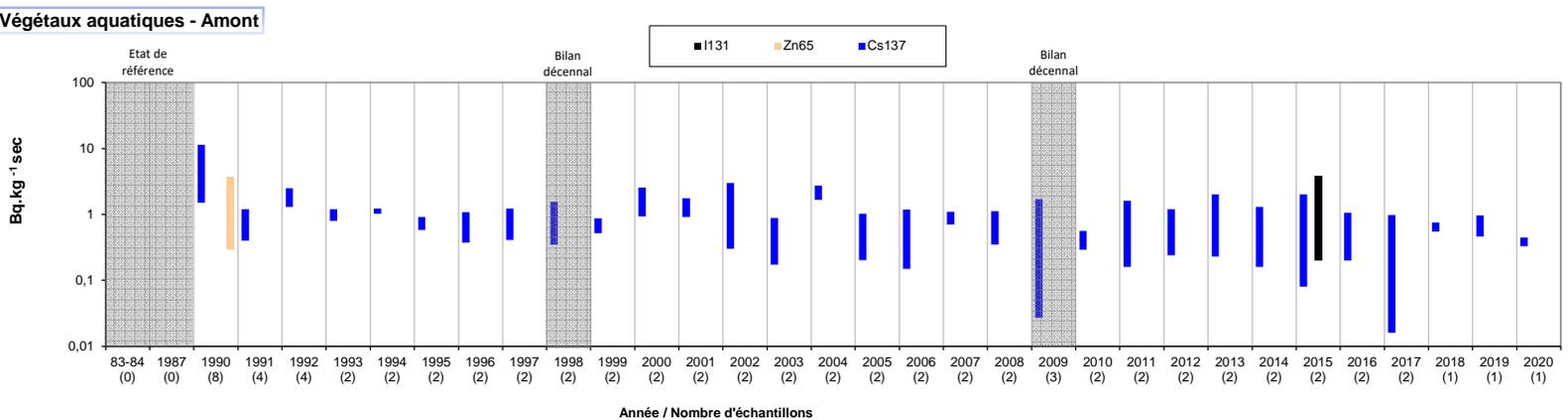


Figure 5-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2020.
 (*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

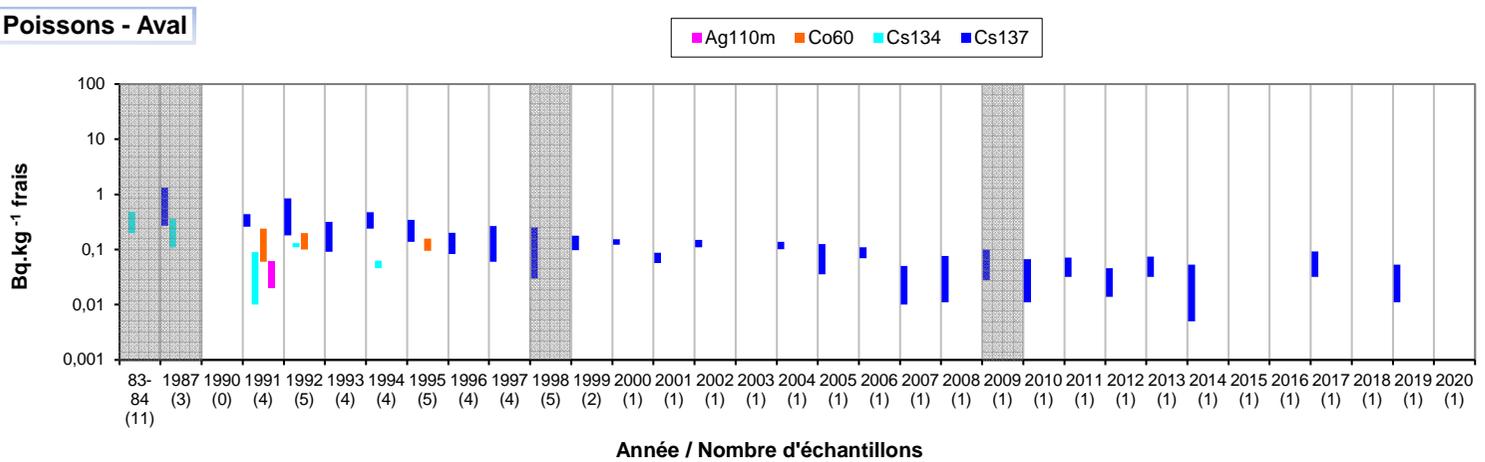
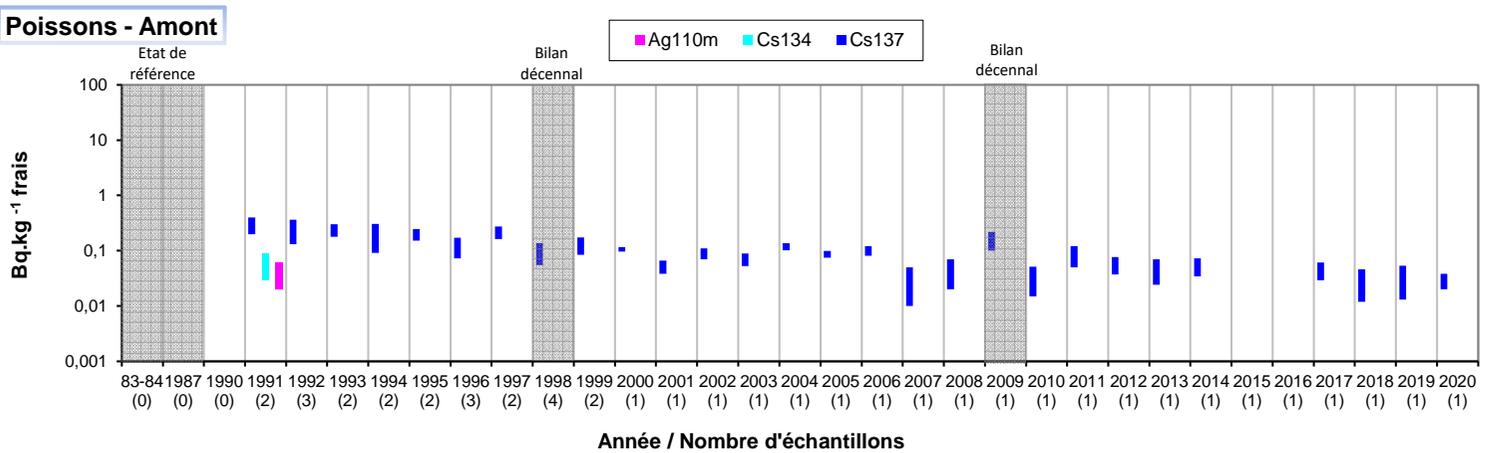


Figure 5-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2020.
 (*) 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 ^3H libre est en 2020 inférieure au seuil de décision ou proche de 1-2 Bq.L⁻¹ dans tous les échantillons (Tableau 5-24, page 83) à l'exception des activités mesurées dans les myriophylles et les poissons prélevés à l'aval lointain (18,2±3,1 et 36,6±6,3 Bq.L⁻¹). Il faut noter que la détection de ^3H 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 ^3H libre au sein de ces milieux récepteurs [5]. Depuis 2009, des activités élevées en ^3H libre sont ponctuellement détectées à l'aval du C.N.P.E. dans les poissons (2009, 2011, 2016, 2019 et 2020) et dans les phanérogames immergées (myriophylles en 2017, 2018 et 2020). Le ^3H 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.

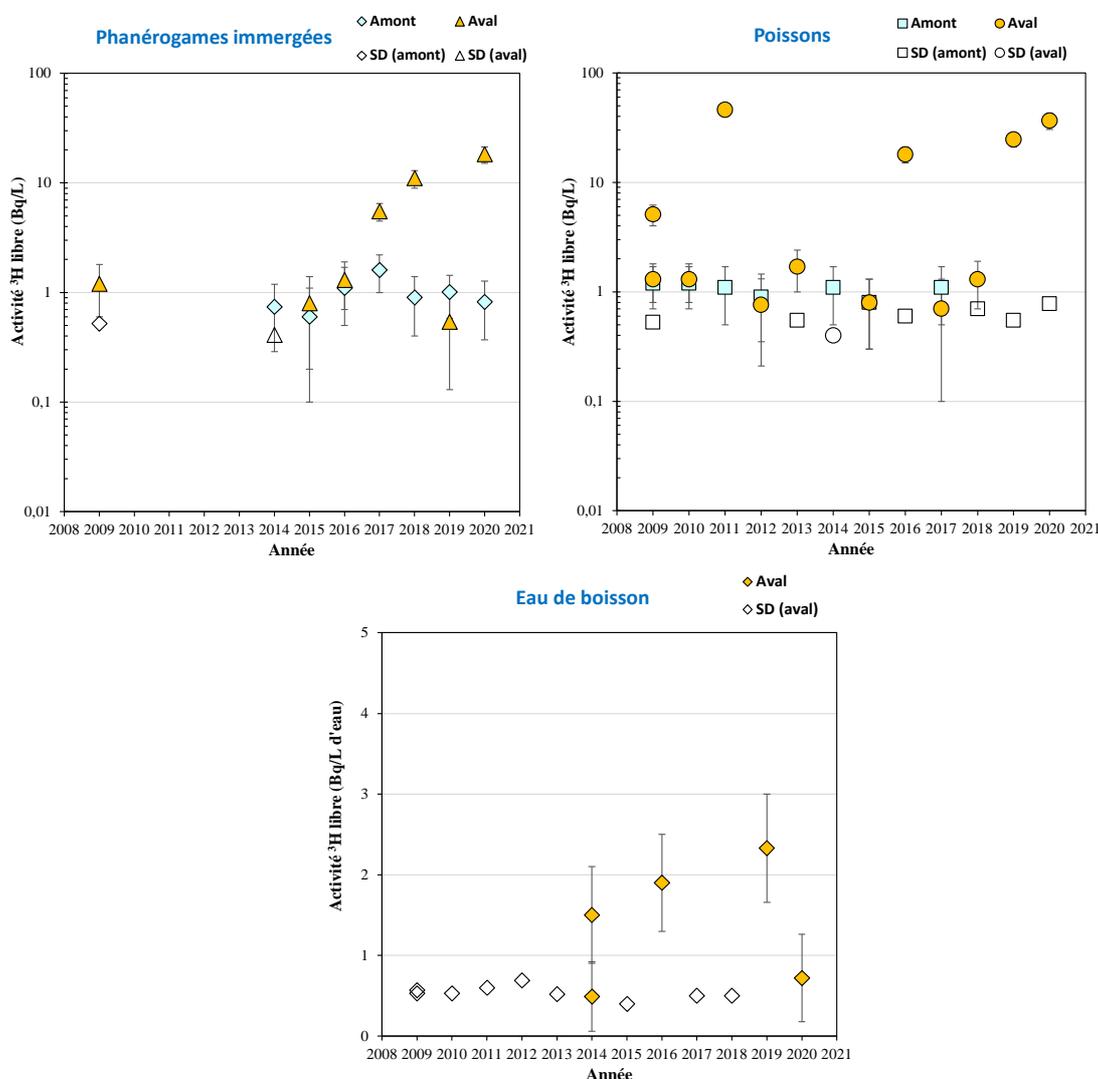


Figure 5-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

L'activité en ^3H organiquement lié mesurée en 2020 dans les phanérogames immergées prélevés à l'amont est cohérente avec celle attendue en dehors de tout apport industriel local [4]. Dans les poissons, l'activité est inférieure au seuil de décision ($<0,64 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion). L'augmentation des activités observée dans les myriophylles et les poissons prélevés en aval lointain ($12,4 \pm 2,4$ et $5,4 \pm 1,3 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion) mettent en évidence le marquage en ^3H organiquement lié dû aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire (Tableau 5-25, page 84).

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

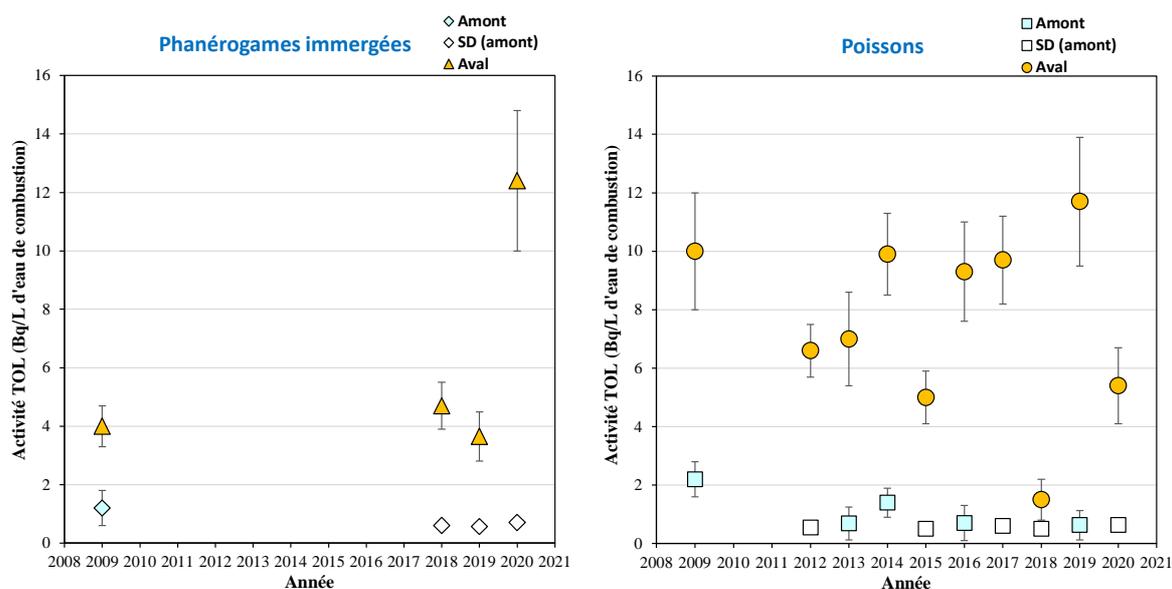


Figure 5-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

5.3.2.2.2. Carbone 14

Les analyses de ^{14}C mesurées en 2020 à l'amont dans les phanérogames immergées et les poissons sont cohérentes avec celles attendues en dehors de tout apport industriel local (comprises entre 200-220 Bq.kg⁻¹ de C [3]). En revanche, les activités mesurées à l'aval dans les myriophylles (277,3±1,3 Bq.kg⁻¹ de C) et dans les poissons (468,0±2,8 Bq.kg⁻¹ de C) mettent en évidence le marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire (Tableau 5-26, page 84).

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 5-13).

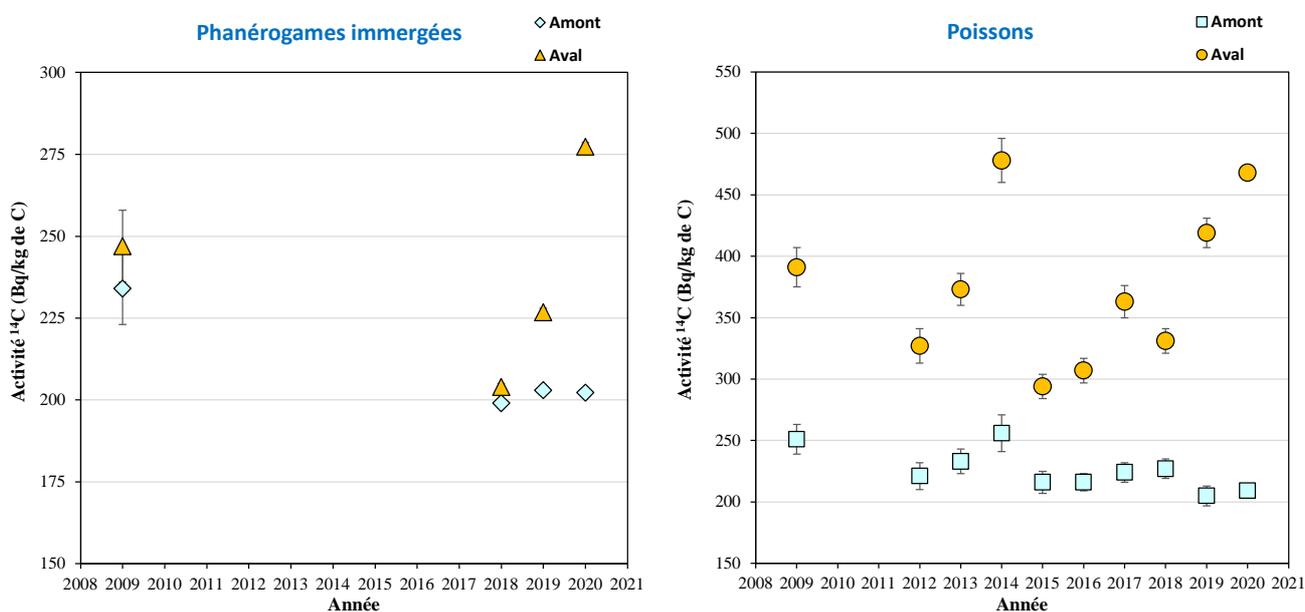


Figure 5-13. Activités spécifiques en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.

5.3.2.2.3. Nickel 63 et fer 55

En 2020, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités dans les phanérogames immergées (myriophylles) inférieures aux seuils de décision (Tableau 5-27, page 85, et Tableau 5-28, page 85).

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

Le suivi radioécologique établi en 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Belleville-sur-Loire.

Dans **le milieu terrestre**, la radioactivité gamma d'origine artificielle est liée en 2020 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 activités en ^3H libre sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle locale à l'exception de l'activité proche de 5 Bq.L^{-1} mesurée dans l'herbe de pâturage. Ce marquage est lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire. Pour le ^3H organiquement lié, les résultats correspondent aux observations des années précédentes et ils ne montrent pas d'influence des rejets d'effluents atmosphériques de l'installation pour ce radionucléide. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants (salade et lait) ne montrent aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques du site pour ce radionucléide.

En 2020, la radioactivité d'origine artificielle dans **le milieu aquatique** est caractérisée par la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons de sédiments et de végétaux. Dans les sédiments, les niveaux d'activité sont équivalents de l'amont à l'aval du C.N.P.E. En revanche, on constate une augmentation à l'aval dans les myriophylles liée aux rejets d'effluents liquides du site. Ce constat est conforté par la détection de ^{54}Mn dans le sédiment prélevé à l'aval lointain. Le ^{137}Cs est également détecté dans les poissons pêchés à l'amont. Le ^{137}Cs provient 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. de Belleville-sur-Loire. A l'amont, les analyses de ^3H libre et de ^{14}C dans les phanérogame et les poissons et de ^3H organiquement lié dans les phanérogame montrent des activités conformes aux niveaux attendus en dehors de tout apport industriel local. Dans les poissons pêchés à l'amont, l'activité du ^3H organiquement lié est inférieure au seuil de décision. L'augmentation systématique des activités de ces trois radionucléides déterminées à l'aval dans les végétaux et les poissons montre le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2020 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 2020.	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 2020.	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 2020.	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 2020.	48
Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.	51
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 2020.	53
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 2020.	54
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 2020.	55
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 2020.	56
Figure 5-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.	57
Figure 5-13. Activités spécifiques en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2009 à 2020.	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 2020.	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 2020.	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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (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 2020 (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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (Bq.L ⁻¹).	70
Tableau 5-9. Activités du ¹⁴ C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2015 à 2017 (Bq.kg ⁻¹ de carbone).	71
Tableau 5-10. 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 2020.	73
Tableau 5-11. 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 2020.	74
Tableau 5-12. 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 2020.	75
Tableau 5-13. 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 2020.	75
Tableau 5-14. 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 2020.	75
Tableau 5-15. 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 2020.	76
Tableau 5-16. 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 2020.	76

Tableau 5-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^{14}C dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C).....	77
Tableau 5-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).....	78
Tableau 5-19. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020.....	79
Tableau 5-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).....	80
Tableau 5-21. 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 2020.....	81
Tableau 5-22. 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 2020.....	82
Tableau 5-23. 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 2020.....	83
Tableau 5-24. 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 2020.....	83
Tableau 5-25. 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 2020.....	84
Tableau 5-26. 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 2020.....	84
Tableau 5-27. 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 2020.....	85
Tableau 5-28. 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 2020.....	85
Tableau 5-29. 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 2020.....	86

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km				
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	4,86 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	juil. 2011	sept. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juin 2015	juil. 2016	sept. 2017	juin 2018	oct. 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	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	0,30 (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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	-	-	-	239 (1/1)	223 (1/1)	229 (1/1)	228 (1/1)	241 (1/1)	227,5 (1/1)	229,7 (1/1)
^3H libre	-	-	-	1,0 (1/1)	-	-	-	1,5 (1/1)	1,58 (1/1)	1,01 (1/1)
^3H organiquement lié	-	-	-	4,0 (1/1)	-	-	1,4 (1/1)	0,7 (1/1)	-	-

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

Tableau 5-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	juin 2018	mai 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	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	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	0,22 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,306 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	-	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)	n.a.
^3H libre	-	-	-	1,4 (1/1)	1,0 (1/1)	1,7 (1/1)	2,0 (1/1)	-	-	4,77 (1/1)
^3H organiquement lié	-	-	-	-	-	-	-	0,6 (1/1)	-	1,51 (1/1)

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

Tableau 5-6. Activités du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (lierre) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2015 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : 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															
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)
^3H libre	n.a.	-	n.a.													
^3H organiquement lié	n.a.	-	n.a.													

Année de prélèvement	avril 2019	juil. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	juil. 2020	oct. 2020	janv. 2021
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
Emetteurs β								
^{14}C	228 (1/1)	222 (1/1)	226 (1/1)	228 (1/1)	236 (1/1)	231,5 (1/1)	232 (1/1)	229 (1/1)
^3H libre	n.a.	n.a.	1,04 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	0,58 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	5,7 et 9,4 km	5,7 km	5,7 km	5,7 km						
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	1,7 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	4,79 (1/1)
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	17 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	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	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,0102 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	-	-	-	-	-	-	-	231 (1/1)	230,0 (1/1)	236 (1/1)
^3H libre	0,80 (1/1)	-	0,52 (1/1)	-	1,0 (1/2)	1,6 (1/2)	0,8 (2/2)	-	-	0,78 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	-	-	-	-	-	1,6 (1/1)	-	-	-

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

Tableau 5-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2015 à 2017 (Bq.kg $^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	juil. 2017	oct. 2017	janv. 2018
Distance par rapport au site	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km							
Emetteurs β												
^{14}C	230 (1/1)	226 (1/1)	238 (1/1)	232 (1/1)	223 (1/1)	228 (1/1)	231 (1/1)	235 (1/1)	246 (1/1)	233 (1/1)	232 (1/1)	241 (1/1)



Tableau 5-10. 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 2020.

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	
Bois de Chailloux	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/07/20	30/07/20	Frais	119 ± 21	< 2,4	< 8,0	n.a.	264 ± 41	374 ± 44
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	27/07/20	21/08/20	Cendres	2260 ± 320	3,62 ± 0,86	< 2,0	n.a.	7,0 ± 4,1	39,8 ± 4,8
Neuvy-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	27/07/20	17/02/21	Sec	473 ± 68	30,2 ± 4,0	n.a.	25 ± 16	n.a.	< 16
Neuvy-sur-Loire	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Partie aérienne	19/10/20	13/11/20	Cendres	553 ± 79	1,76 ± 0,27	< 0,64	n.a.	19,3 ± 2,9	243 ± 27
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	29/01/21	Cendres	46,5 ± 6,7	< 0,013	< 0,036	n.a.	< 0,059	< 0,24

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

Tableau 5-11. 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 2020.

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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/07/20	30/07/20	Frais	< 0,61	4,79 ± 0,94	< 0,57	< 0,59	< 0,56	< 0,59	< 0,69
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	27/07/20	21/08/20	Cendres	< 0,15	< 0,15	< 0,19	< 0,19	< 0,18	< 0,16	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	27/07/20	17/02/21	Sec	< 0,17	4,86 ± 0,56	< 0,90	< 0,15	< 0,30	< 0,25	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Partie aérienne	19/10/20	13/11/20	Cendres	< 0,031	0,306 ± 0,050	< 0,039	< 0,040	< 0,038	< 0,034	n.a.
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	29/01/21	Cendres	< 0,0037	0,0102 ± 0,0036	< 0,019	< 0,0044	< 0,0060	< 0,0048	n.a.

« n.a. » : non analysé. Les activités sont présentées \pm 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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/07/20	03/12/20	Lyophilisée	< 48	

Tableau 5-12. 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 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	³ H libre	
							Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	27/07/20	19/09/20	Eau de lyophilisation	1,01 ± 0,46	0,95 ± 0,44
Neuzy-sur-Loire	Pâtûre, herbe, luzerne	Herbe de pâtûrage	Partie aérienne	19/10/20	20/01/21	Eau de lyophilisation	4,77 ± 0,92	3,39 ± 0,66
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	19/01/21	Eau de lyophilisation	0,78 ± 0,57	0,67 ± 0,49

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

Tableau 5-13. 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 2020.

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
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	27/07/20	23/10/20	Lyophilisé	< 0,68	< 0,021	< 0,43
Neuzy-sur-Loire	Pâtûre, herbe, luzerne	Herbe de pâtûrage	Partie aérienne	19/10/20	14/02/21	Lyophilisé	1,51 ± 0,73	0,24 ± 0,12	0,91 ± 0,46
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	08/02/21	Lyophilisé	< 0,61	< 0,054	< 0,47

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

Tableau 5-14. 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 2020.

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 <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	27/07/20	24/03/21	Lyophilisé	229,7 ± 1,2	5,521 ± 0,029	24	-29,14	102
Neuvy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	27/07/20	28/04/21	Lyophilisé	236,0 ± 8,0	14,90 ± 0,51	63	-25,37	105

Tableau 5-15. 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 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Neuvy-sur-Loire	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	27/07/20	18/09/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	19,65
				Limons fins	19,76
				Limons grossiers	10,70
				Sables fins	10,48
				Sables grossiers	39,41
	Teneur en matières organiques	8,30			

Tableau 5-16. 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 2020.

Tableau 5-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^{14}C dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/déc. 2014	avril/nov. 2015	avril 2016	avril/déc. 2017	mai/oct. 2018	mai/sept. 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	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	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.	-	-	-
^{137}Cs	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.	-	-	-
^{58}Co	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.	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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.	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	-	-	-	0,49-1,5 (2/2)	-	1,9 (2/2)	-	15 (1/3)	2,33 (1/3)	0,72-1,74 (3/3)

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

Tableau 5-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).

Année de prélèvement	juillet 2011		juillet 2012		juillet 2013		sept. 2014		sept. 2015		oct. 2016		sept. 2017		oct. 2018		sept. 2019		juil. 2020	
	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	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)	4,6-5,5 (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)	3,95 (1/1)	3,18- 4,99 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,72 (1/2)	-	2,8 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46 (1/2)	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91 (1/2)
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.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 5-19. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	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		juil. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval								
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,387 (1/1)	0,709 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	0,43 (1/3)	-	-	-	-	-	0,10 (1/3)	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	199 (1/1)	204 (1/1)	203,0 (1/1)	226,8 (1/1)	202,2 (1/1)	277,3 (1/1)										
^3H libre	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)	0,54 (1/1)	0,82 (1/1)	18,2 (1/1)							
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	4,7 (1/1)	-	3,65 (1/1)	-	12,4 (1/1)							

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

Tableau 5-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ frais ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	oct. 2011		juin 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		oct. 2016		sept. 2017		sept. 2018		oct. 2019		oct. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,0290 (1/1)	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	-	-	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)	209,2 (1/1)	468,0 (1/1)
^3H libre	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)	-	36,6 (1/1)
^3H organiquement lié	-	-	-	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)	-	5,4 (1/1)

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

Tableau 5-21. 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 2020.

			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	28/07/20	10/02/21	Sec	789 ± 81	70,1 ± 5,8	n.a.	71 ± 23	n.a.	49 ± 22	
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/20	10/02/21	Sec	628 ± 90	74,0 ± 9,6	n.a.	90 ± 27	n.a.	60 ± 23	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	29/07/20	17/02/21	Sec	592 ± 85	58,0 ± 7,5	n.a.	39 ± 24	n.a.	71 ± 35	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	28/08/20	Cendres	461 ± 66	28,5 ± 3,7	20,0 ± 3,5	n.a.	22,1 ± 3,8	34,2 ± 4,0	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	11/08/20	Cendres	486 ± 70	30,0 ± 3,9	21,4 ± 3,7	n.a.	30,2 ± 5,0	30,1 ± 3,5	
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	04/12/20	Cendres	111 ± 16	< 0,059	< 0,12	n.a.	< 0,17	< 0,21	
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	06/11/20	Cendres	108 ± 15	< 0,079	< 0,16	n.a.	< 0,23	< 0,20	
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Entier	31/07/20	04/12/20	Liquide	0,076 ± 0,029	< 0,0062	< 0,021	n.a.	< 0,031	< 0,068	

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

Tableau 5-22. 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 2020.

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), Bq.L ⁻¹ (eau)							
							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	28/07/20	10/02/21	Sec	< 0,26	3,95 ± 0,25	< 1,2	< 0,21	< 0,42	< 0,35	n.a.	
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/20	10/02/21	Sec	< 0,26	4,99 ± 0,59	< 1,2	< 0,22	< 0,43	< 0,35	n.a.	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	29/07/20	17/02/21	Sec	< 0,29	3,18 ± 0,38	< 1,3	< 0,22	< 0,45	0,91 ± 0,45	n.a.	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	28/07/20	28/08/20	Cendres	< 0,068	0,387 ± 0,058	< 0,092	< 0,072	< 0,075	< 0,096	n.a.	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	28/07/20	30/07/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,7	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	29/07/20	11/08/20	Cendres	< 0,072	0,709 ± 0,092	< 0,084	< 0,080	< 0,076	< 0,097	n.a.	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	29/07/20	30/07/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,5	
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	04/12/20	Cendres	< 0,017	0,0290 ± 0,0090	< 0,025	< 0,018	< 0,021	< 0,016	n.a.	
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	06/11/20	Cendres	< 0,021	< 0,020	< 0,026	< 0,025	< 0,027	< 0,021	n.a.	
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Entier	31/07/20	04/12/20	Liquide	< 0,0021	< 0,0018	< 0,0048	< 0,0016	< 0,0028	< 0,0021	n.a.	

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

Amont		Aval lointain						¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	03/12/20	Lyophilisée	< 6,4	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	03/12/20	Lyophilisée	< 7,2	

Tableau 5-23. 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 2020.

Amont		Aval	Aval lointain						³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais		
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	20/09/20	Eau de lyophilisation	0,82 ± 0,45	0,72 ± 0,39		
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	30/08/20	Eau de lyophilisation	18,2 ± 3,1	15,6 ± 2,7		
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	19/10/20	Eau de lyophilisation	< 0,78	< 0,61		
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	27/10/20	Eau de lyophilisation	36,6 ± 6,3	28,5 ± 4,9		
Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau de boisson	Entier	30/07/20	15/09/20	-	0,72 ± 0,54	-		
Bonny-sur-Loire Station de pompage Rive droite	Eau	Eau de boisson	Filtrée à 0,22µm	31/07/20	16/09/20	-	0,72 ± 0,54	-		
Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau d'irrigation	Filtrée à 0,22µm	30/07/20	11/08/20	-	1,74 ± 0,62	-		

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

Tableau 5-24. 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 2020.

Amont		Aval lointain								³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO			
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	29/10/20	Eau de combustion	< 0,70	< 0,041	< 0,45			
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	23/11/20	Eau de combustion	12,4 ± 2,4	0,81 ± 0,19	7,3 ± 1,7			
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	03/01/21	Eau de combustion	< 0,64	< 0,095	< 0,48			
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	06/02/21	Eau de combustion	5,4 ± 1,3	0,83 ± 0,21	4,0 ± 1,0			

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

Tableau 5-25. 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 2020.

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			
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	24/03/21	Lyophilisé	202,2 ± 1,3	8,766 ± 0,056	43	-20,96	89
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	24/03/21	Lyophilisé	277,3 ± 1,3	11,219 ± 0,053	40	-23,66	122
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	06/10/20	08/06/21	Lyophilisé	209,2 ± 1,3	23,12 ± 0,14	110	-25,44	93
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	05/10/20	08/06/21	Lyophilisé	468,0 ± 2,8	53,22 ± 0,32	114	-25,54	207

Tableau 5-26. Activités du ¹⁴C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval lointain						⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	01/03/21	Eau de lyophilisation	< 1,3	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	02/03/21	Eau de lyophilisation	< 1,2	

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

Tableau 5-27. Activités du ⁶³Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval lointain						⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	28/07/20	19/03/21	Eau de lyophilisation	< 0,67	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	29/07/20	21/03/21	Eau de lyophilisation	< 0,51	

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

Tableau 5-28. Activités du ⁵⁵Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2020.

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

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	28/07/20	18/09/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	19,02
				Limons fins	16,07
				Limons grossiers	11,04
				Sables fins	29,29
				Sables grossiers	24,59
Teneur en matières organiques	8,40				
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	30/07/20	18/09/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	34,41
				Limons fins	33,95
				Limons grossiers	15,07
				Sables fins	9,32
				Sables grossiers	7,25
Teneur en matières organiques	12,90				
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	29/07/20	18/09/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	22,27
				Limons fins	20,27
				Limons grossiers	14,14
				Sables fins	27,17
				Sables grossiers	16,15
Teneur en matières organiques	10,10				

Tableau 5-29. 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 2020.

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. 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>.

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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

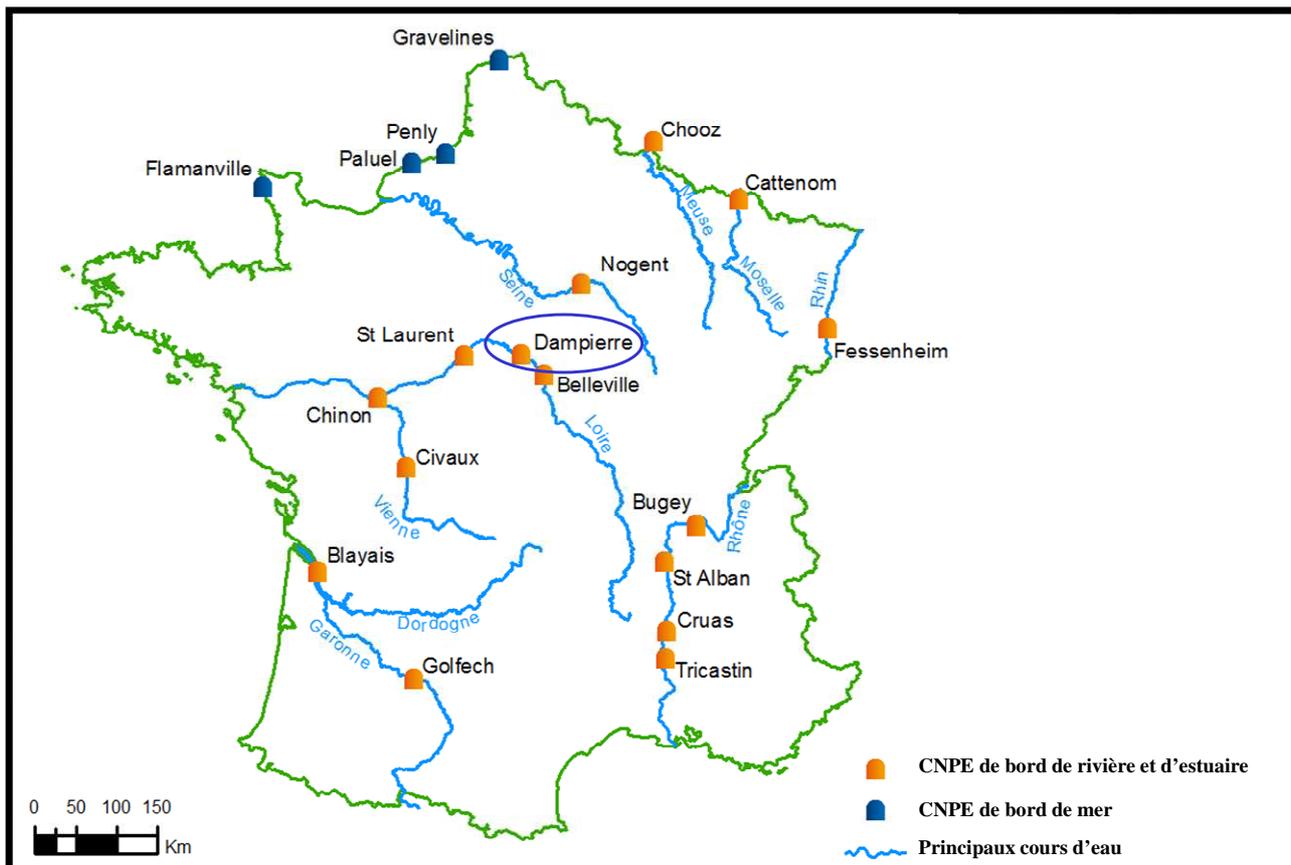
Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux



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



Source : EDF/DIPDE.



6.	Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly	97
6.1	<i>Généralités et chronologie des études radioécologiques</i>	97
6.2	<i>Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	99
6.2.1.	Stratégie d'échantillonnage	99
6.2.2.	Résultats et interprétation	102
6.2.2.1	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	102
6.2.2.2	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	104
6.3	<i>Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	107
6.3.1.	Stratégie d'échantillonnage	107
6.3.2.	Résultats et interprétation	110
6.3.2.1.	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	110
6.3.2.2.	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	114
6.4	<i>Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly</i>	117



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 2020 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 activités en ^3H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec le niveau ambiant hors influence industrielle et 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. Les analyses de ^{14}C sont également cohérentes en 2020 aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant.

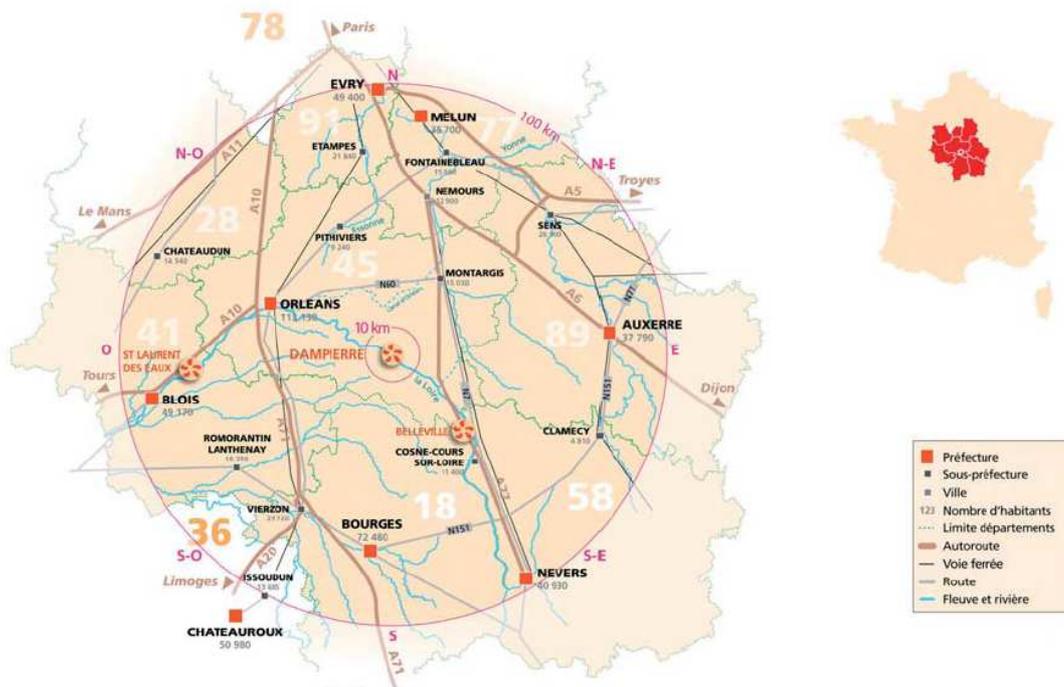
En 2020, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments du **milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à des niveaux d'activités comparables dans les sédiments et les poissons. Dans les végétaux, on constate une augmentation à l'aval du C.N.P.E. Le ^{137}Cs provient donc de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et des rejets d'effluents liquides du site. Ce constat est confirmé par la détection de traces de ^{58}Co , de ^{60}Co , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn à l'aval du C.N.P.E. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire est également mise en évidence par la détection de ^{58}Co à l'amont. En 2020, les analyses de ^3H libre et organiquement lié dans les phanérogames et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly. Dans les poissons, le marquage en ^3H organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly pour ce radionucléide.



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 98) 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].

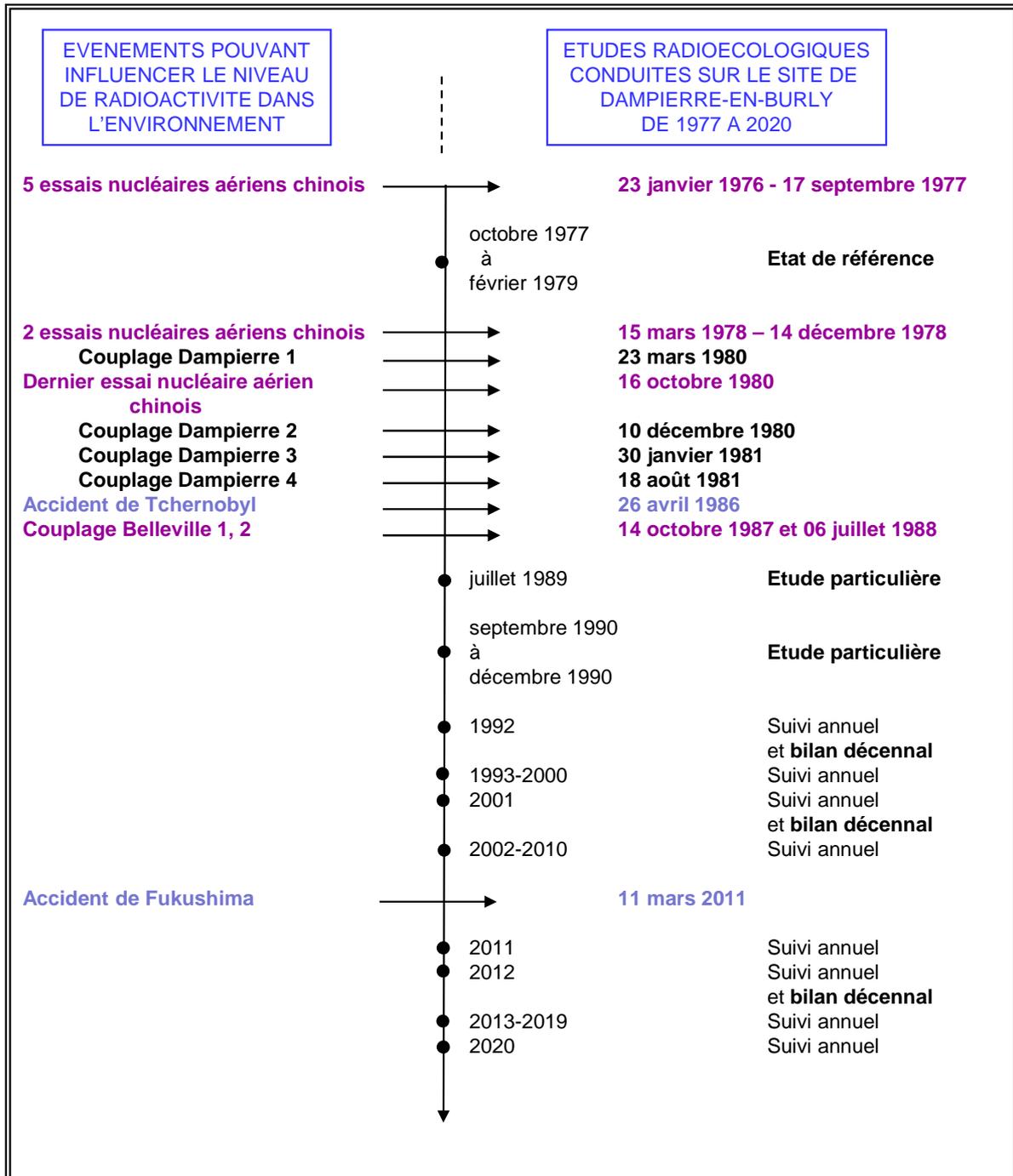


Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

6.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

6.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 6-1 (page 100) 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 101) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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

D'après la rose des vents présentée sur la Figure 6-2 (page 101), 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 2020, 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.

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 <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	15/10/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131)	6,19	-
Poilly-lez-Gien	9,0 km SE	47,68167	2,60944	Sol cultivé	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,19	-
Charleuzy	8,5 km SSO	47,67389	2,44444	Sol cultivé	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,12	-
Poilly-lez-Gien	9,0 km SE	47,68167	2,60944	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	Spectrométrie γ	19,85	5,15
								Carbone 14	13,48	-
Charleuzy	8,5 km SSO	47,67389	2,44444	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	Spectrométrie γ	19,09	5,71
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	12,04	-
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	15,9 km NE	47,82972	2,67389	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,13	-
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	15,9 km NE	47,82972	2,67389	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/10/20	Spectrométrie γ	5,48	10,19
Le Moulin Rose (commune de Montereau)	14,7 km NE	47,86253	2,55392	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/20	Tritium libre Tritium organiquement lié	4,58	-
La Cocherie (commune de Langesse)	15,4 km NE	47,83194	2,66056	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,61	16,50

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 2020.

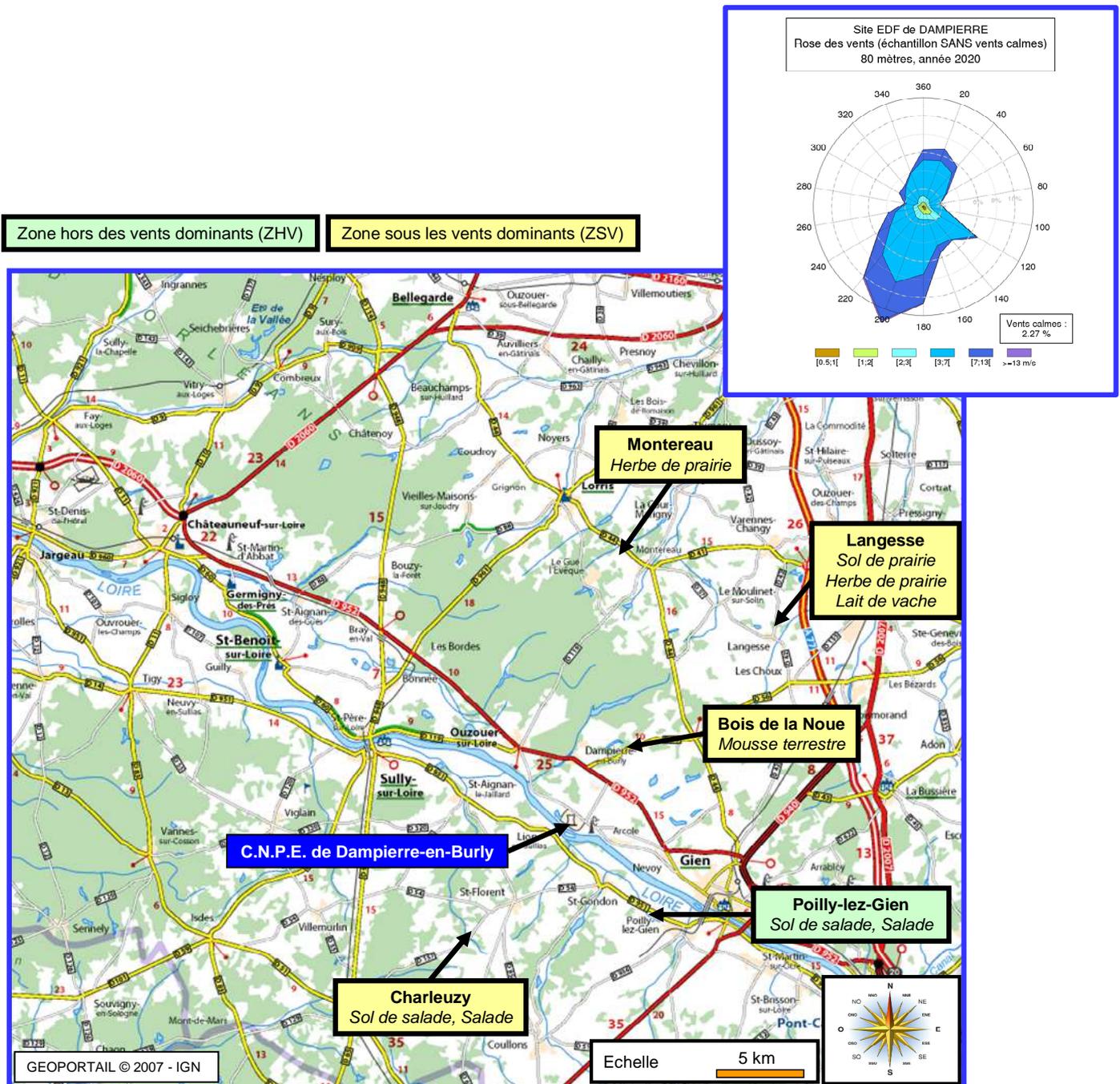


Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

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 2020, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis 1992 et lors des bilans décennaux de 1992, 2001 et 2012 (Tableau 6-10, page 131). 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 ^7Be est systématiquement détecté dans les végétaux. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be 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 2020 à la présence de traces de ^{137}Cs dans l'ensemble des matrices du milieu terrestre (Tableau 6-11, page 132). 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 2020 est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2020, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de 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 103). 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 [6]. 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 $130 \pm 10 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) étaient cohérentes avec les résultats obtenus lors du bilan décennal de 2001 (128 ± 9 et $270 \pm 20 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). 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 $^{144}\text{Ce-Pr}$, de ^{95}Nb , de ^{125}Sb , de ^{54}Mn et de $^{106}\text{Ru-Rh}$ dans les végétaux cultivés, consécutive des retombées d'un essai atmosphérique effectué par la Chine au mois de mars 1978. Depuis 1978-1979, aucun de ces radionucléides artificiels n'a été détecté.

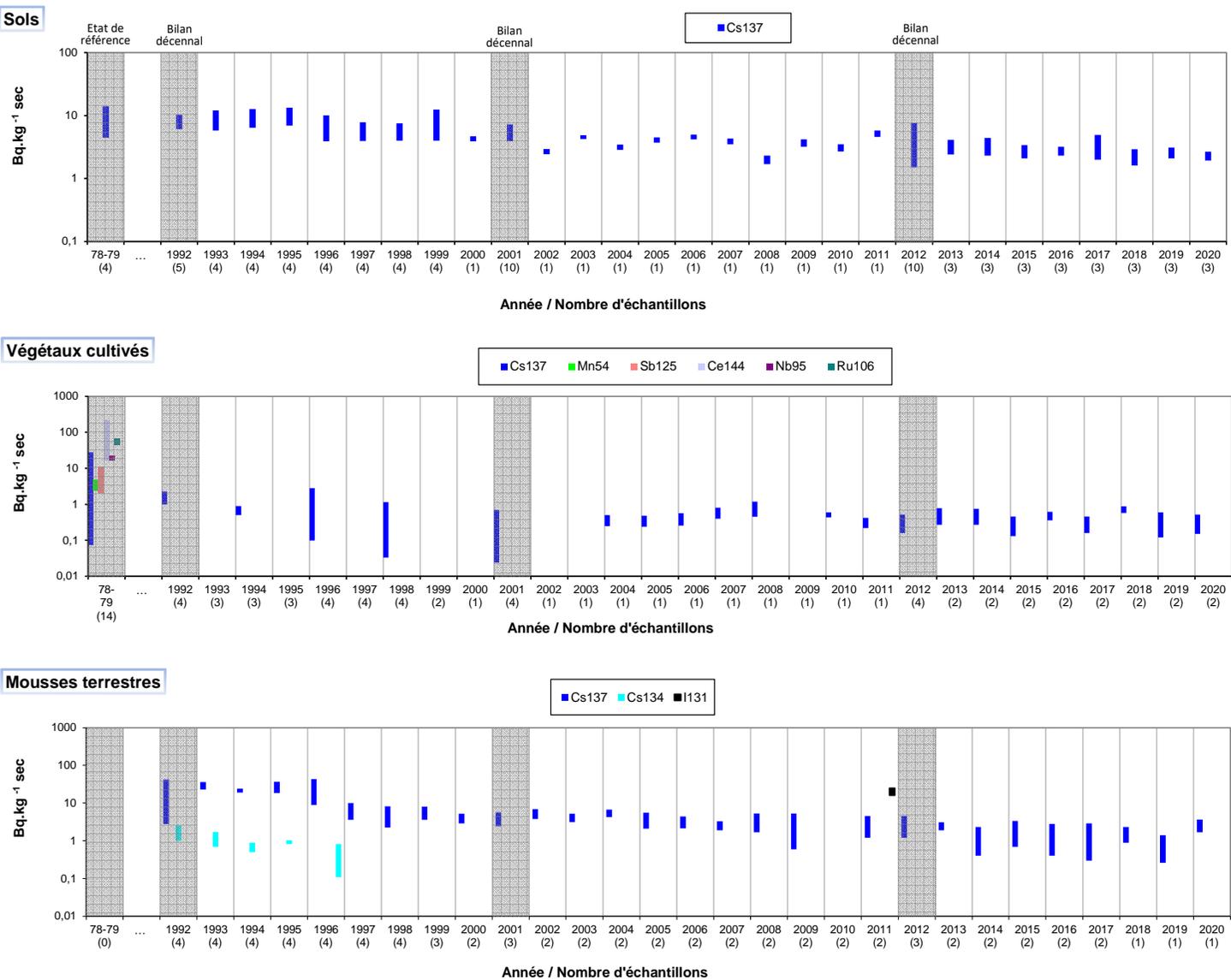


Figure 6-3: Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979 au suivi radioécologique de 2020.
 (*) 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 ^3H libre et en ^3H organiquement lié (salade, herbe et lait de vache) mesurées en 2020 sont proches de 1 Bq.L^{-1} ou inférieures aux seuils de décision (Tableau 6-13, page 133, et Tableau 6-14, page 134). Ces activités sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [5,7]. 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 ^3H organiquement lié observé dans le prélèvement de lait lors du suivi radioécologique annuel de 2012 (Figure 6-5, page 105).

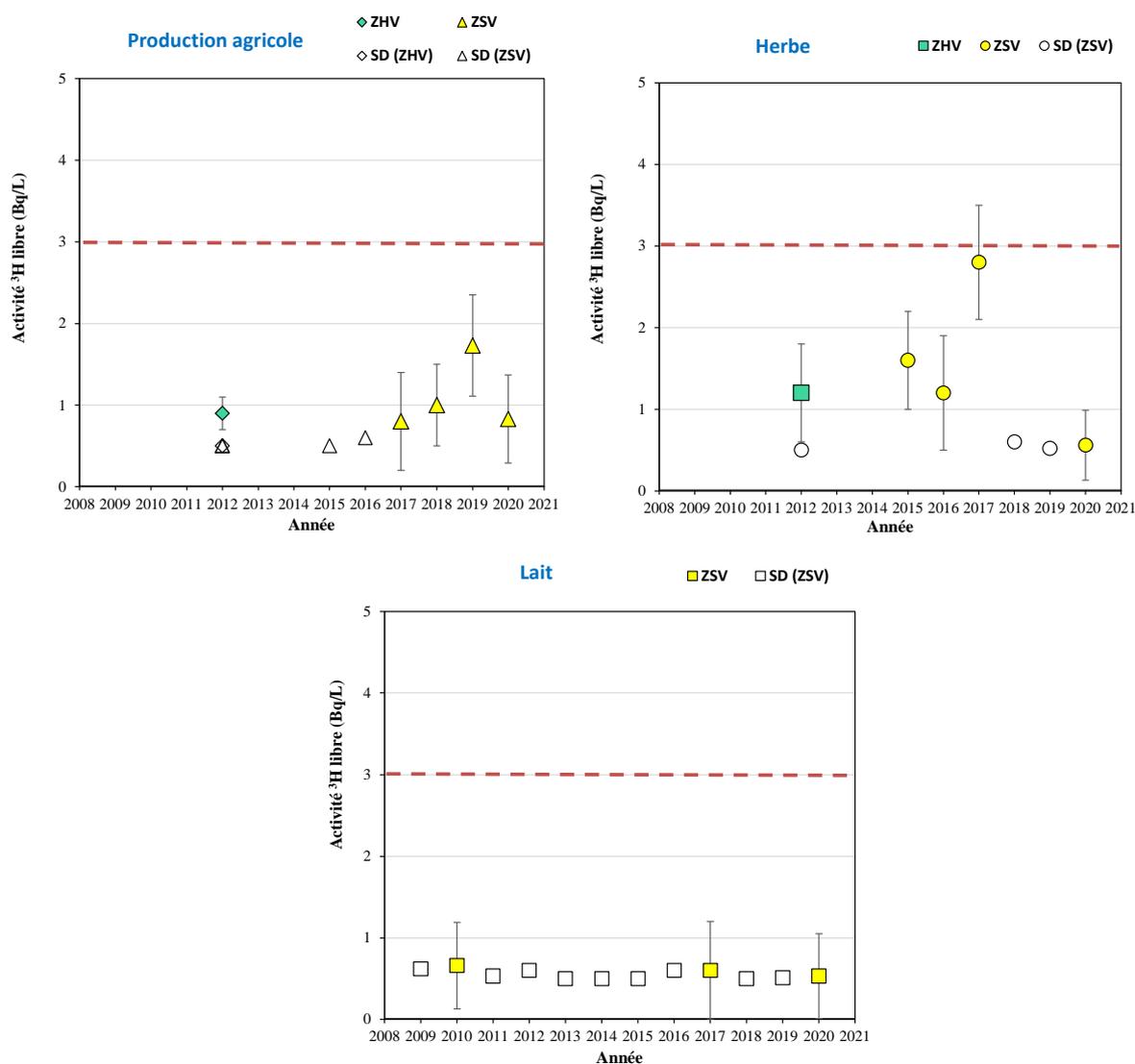


Figure 6-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2020.

La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [5,7].

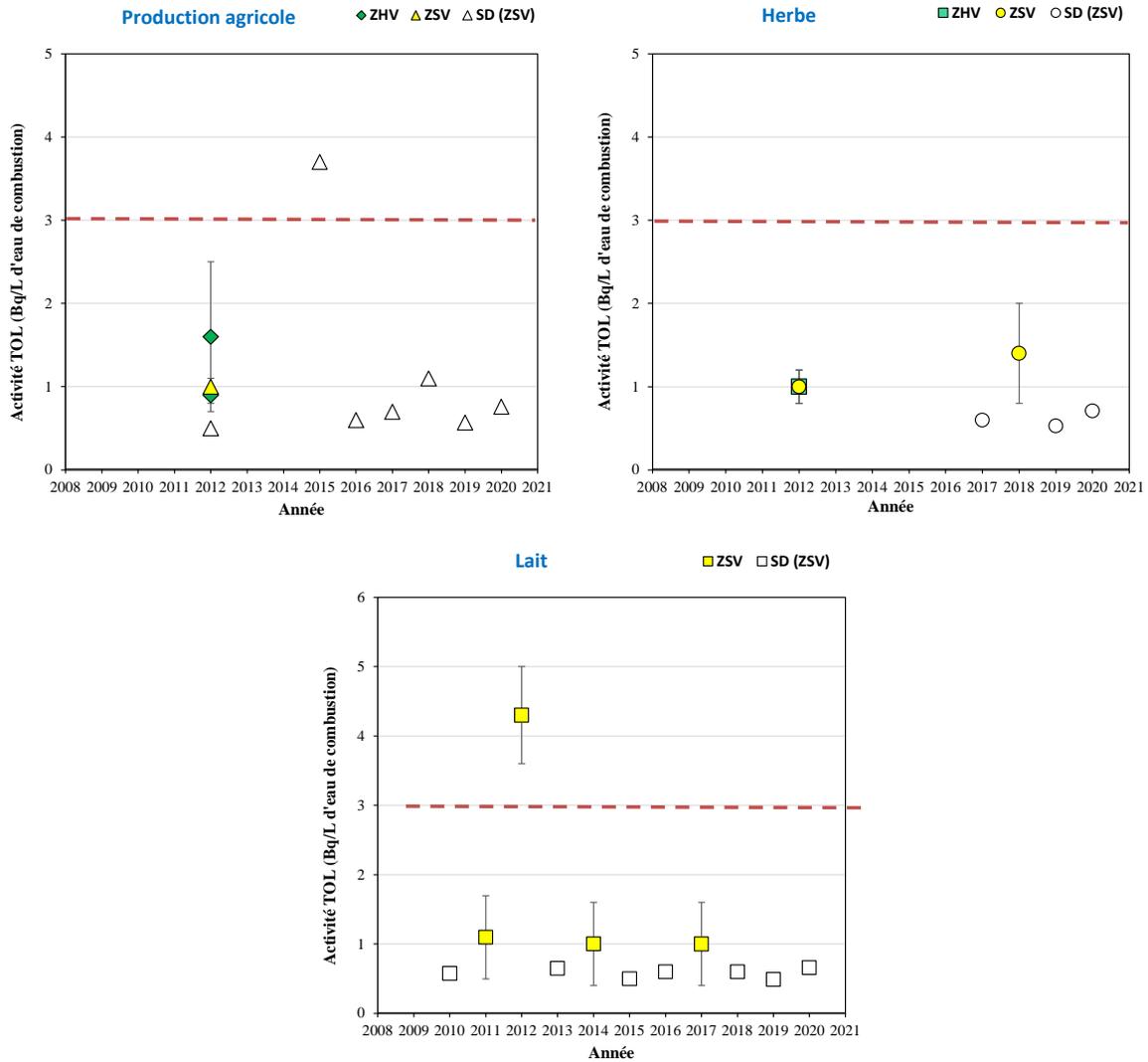


Figure 6-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2020. La ligne en pointillées représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [5,7].

6.2.2.2.2. Carbone 14

Dans la continuité des suivis radioécologiques de 2010 à 2016, de 2018 et de 2019, les résultats d'analyse du ^{14}C dans les salades et le lait montrent des activités proches du bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 Bq.kg $^{-1}$ de carbone en 2020 (Tableau 6-15, page 134) [5,7].

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 est également observé sur certains prélèvements trimestriels d'herbes réalisés depuis 2015 par le C.N.P.E.

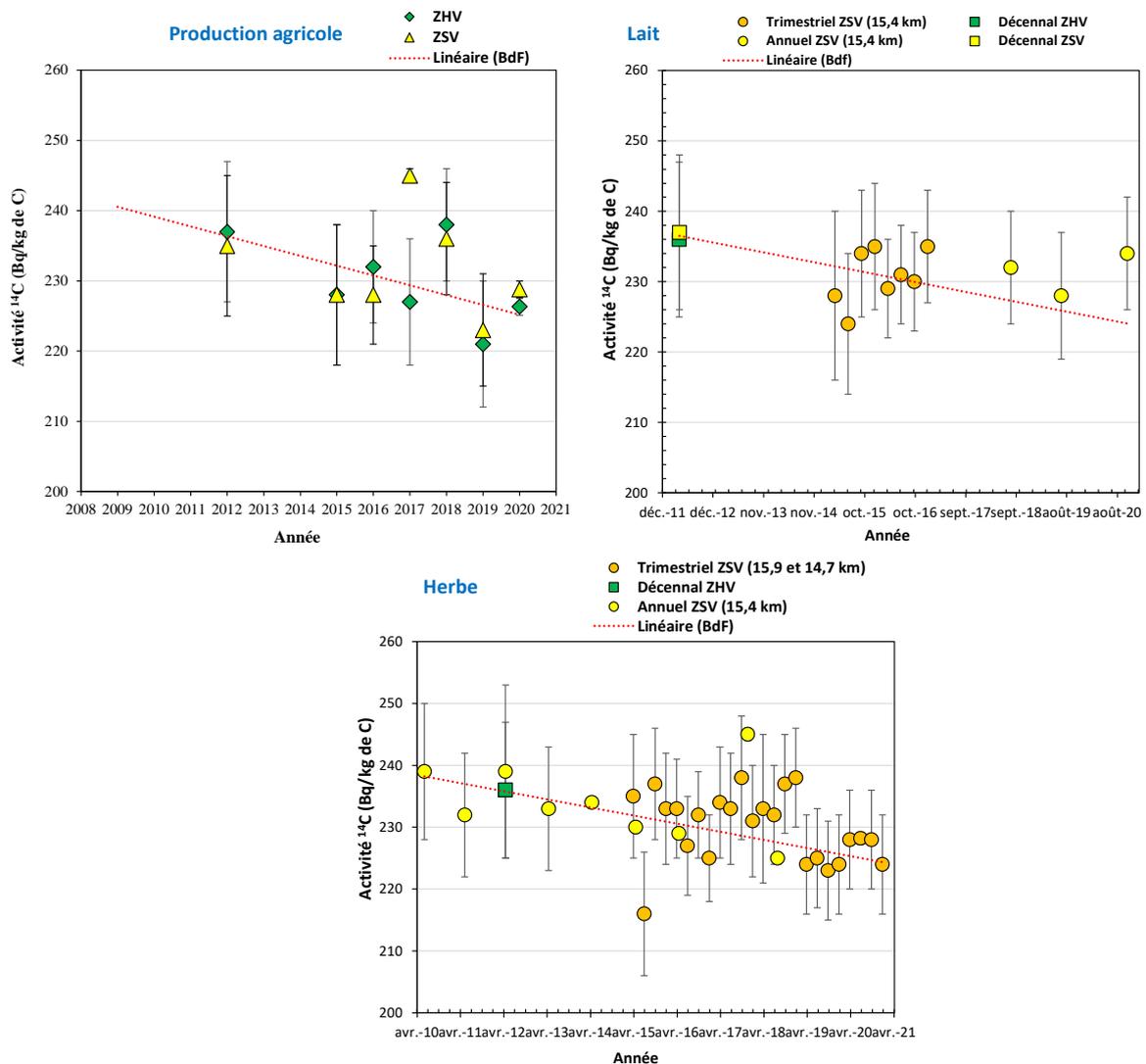


Figure 6-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2020.

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

6.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique

6.3.1. *Stratégie d'échantillonnage*

Le Tableau 6-2 (page 108) 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 6-7 (page 109) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Les prélèvements ont lieu en amont, en aval proche de l'ouvrage de rejet et en aval lointain. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, de même nature. Dans la continuité des études antérieures, les prélèvements 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 2020, 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 sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E.

Les autres échantillons sont des bioindicateurs végétaux (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	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	22/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,75	-
Benne Rive droite	4,1 km aval	47,75556	2,47306	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,85	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,98	-
Gien Rive droite	9,7 km amont	47,68556	2,62500	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	22/09/20	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	7,72	4,87
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,16	-
Benne Rive droite	4,1 km aval	47,75556	2,47306	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	22/09/20	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	8,68	3,08
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,15	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	22/09/20	Spectrométrie γ	8,36	3,61
La Boyauterie Rives gauche et droite	1 km amont	47,72500	2,53194	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	3,64	12,60
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	11,7 km aval lointain	47,77111	2,37083	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,37	15,13
Ouzouer-sur-Loire	4,6 km aval	47,76667	2,48028	Eau	Eau de boisson	Entier	14/10/20	Tritium libre	-	-
St-Père-sur-Loire	11,5 km aval lointain	47,77444	2,37681	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/09/20	Tritium libre	-	-

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 2020.

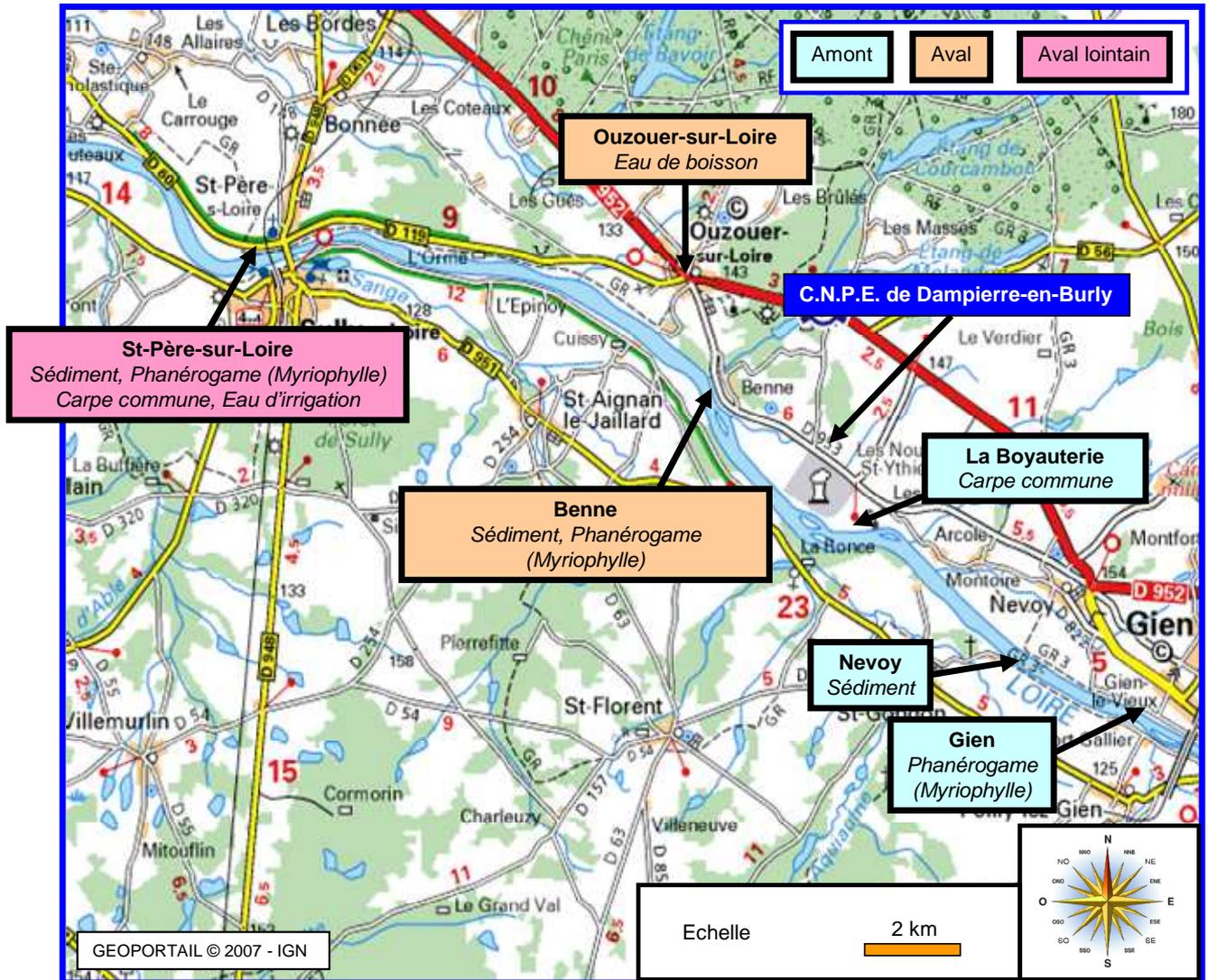


Figure 6-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

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 2020, 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 ^{238}U (Tableau 6-21, page 141). 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 ^7Be est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux.

6.3.2.1.2. Radionucléides émetteur gamma d'origine artificielle

En 2020, la radioactivité artificielle est caractérisée dans le milieu aquatique par la présence de plusieurs radionucléides : le ^{137}Cs , le ^{58}Co , le ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et le ^{54}Mn (Tableau 6-22, page 142).

Le ^{137}Cs est présent dans les huit échantillons analysés (sédiments, végétaux et poissons). Dans les sédiments, les activités mesurées à l'amont et à l'aval sont équivalentes aux incertitudes de mesure près. Dans les végétaux, les activités sont plus élevées à l'aval. En 2020, les activités en ^{137}Cs résultent de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly. Dans les sédiments, les spectrométries gamma réalisées en 2020 mettent également en évidence la présence de ^{60}Co dans les échantillons prélevés à l'aval et à l'aval lointain ainsi que de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ à l'aval lointain. Les radionucléides ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{54}Mn sont systématiquement détectés dans les myriophylles prélevées à l'aval et à l'aval lointain. Le ^{58}Co est également mesuré dans les myriophylles prélevées à l'amont. Ces résultats montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly sur l'environnement aquatique et, d'autre part, l'influence de ceux du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire.

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, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. sur le milieu aquatique a été mise en évidence par la détection de ^{134}Cs et de ^{137}Cs avec des rapports d'activités $^{137}\text{Cs} / ^{134}\text{Cs}$, 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 de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn dans ces matrices confirme ce constat. Par ailleurs, la détection ponctuelle de ^{58}Co , de ^{60}Co et/ou de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 2020, les activités de ^{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 ^{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 de ^{131}I en amont et en aval de l'installation provient probablement de centres de médecine nucléaire ou universitaires situés en amont de l'installation.

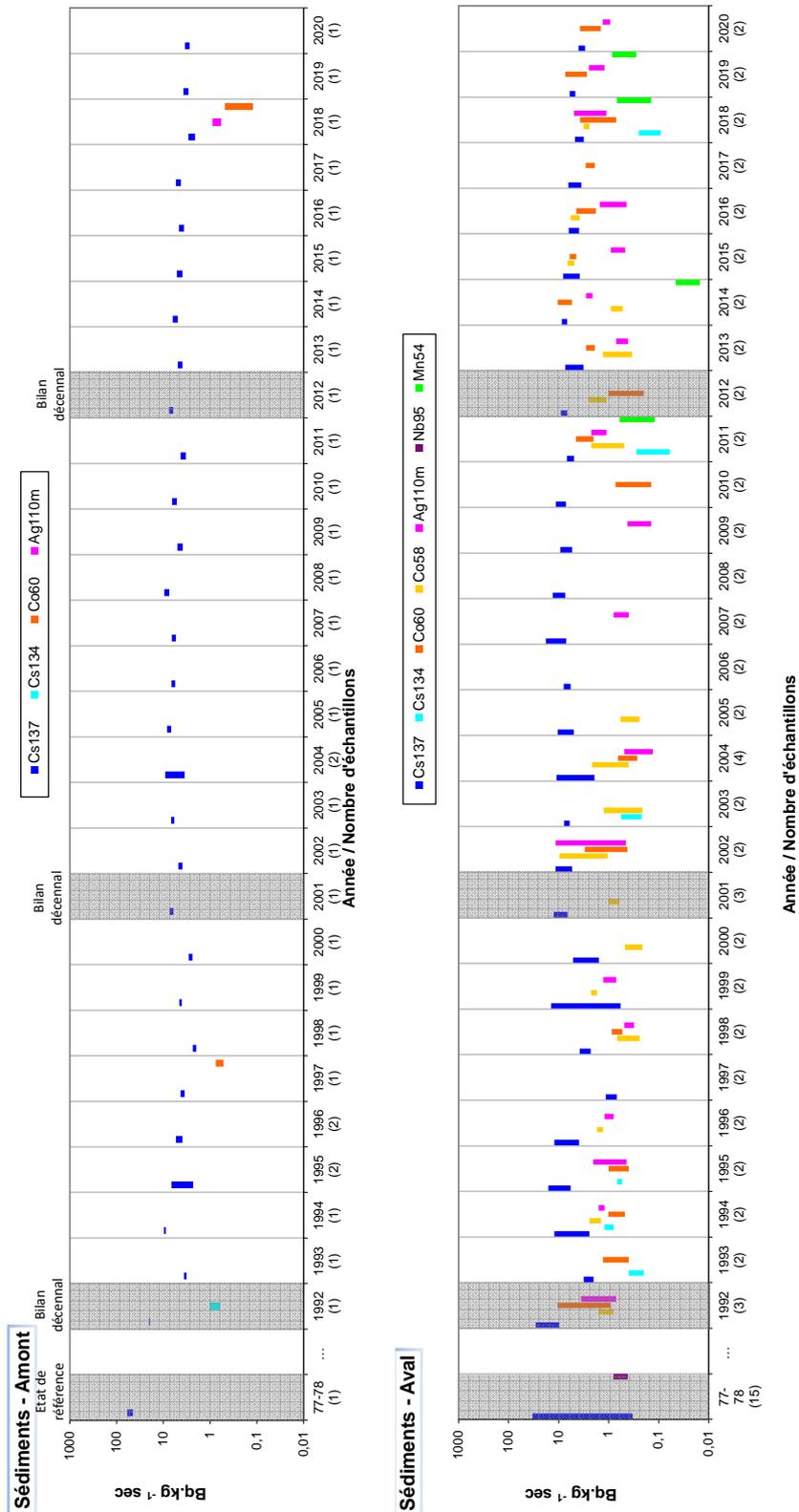


Figure 6-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.

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

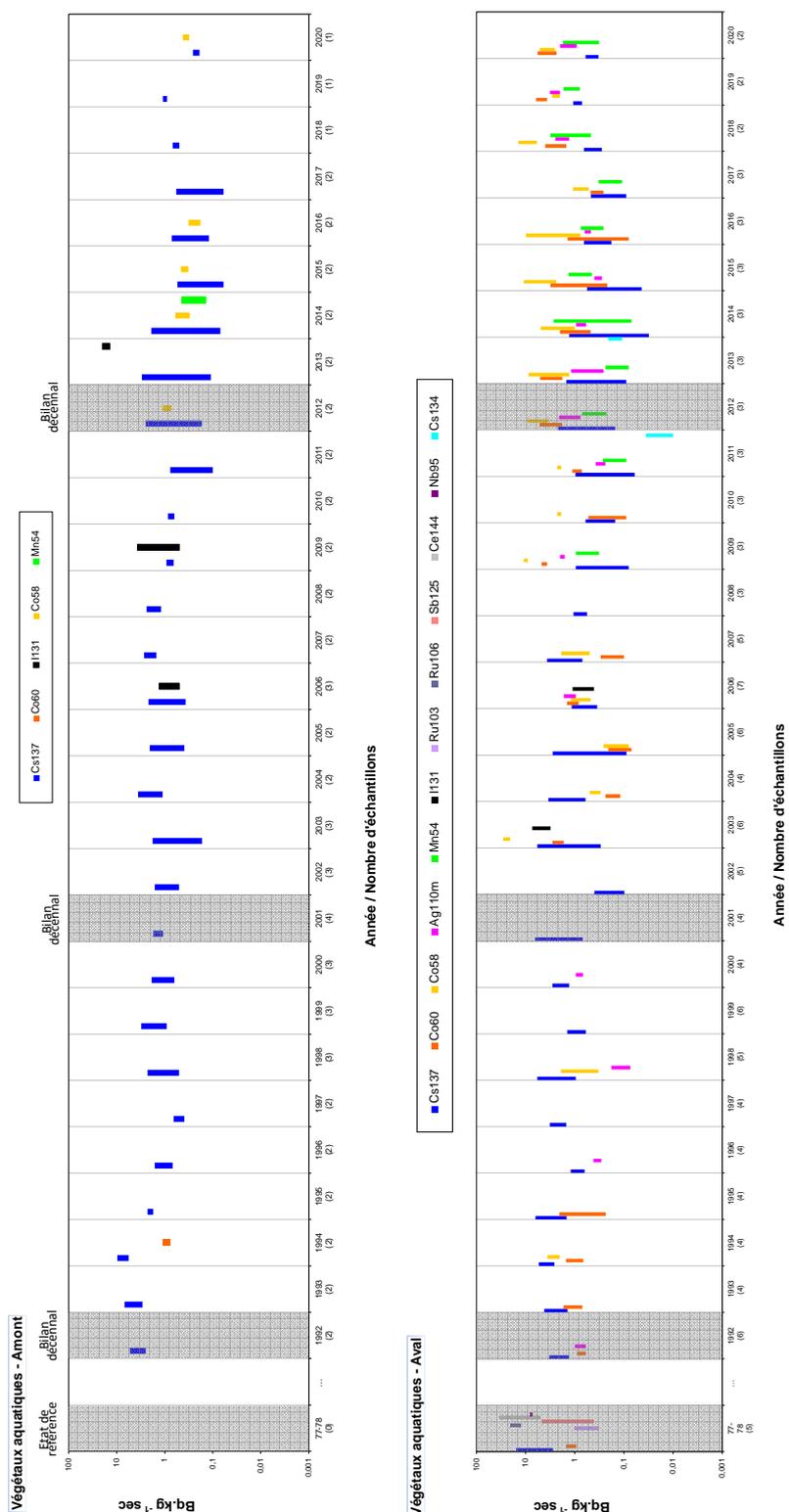


Figure 6-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.

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

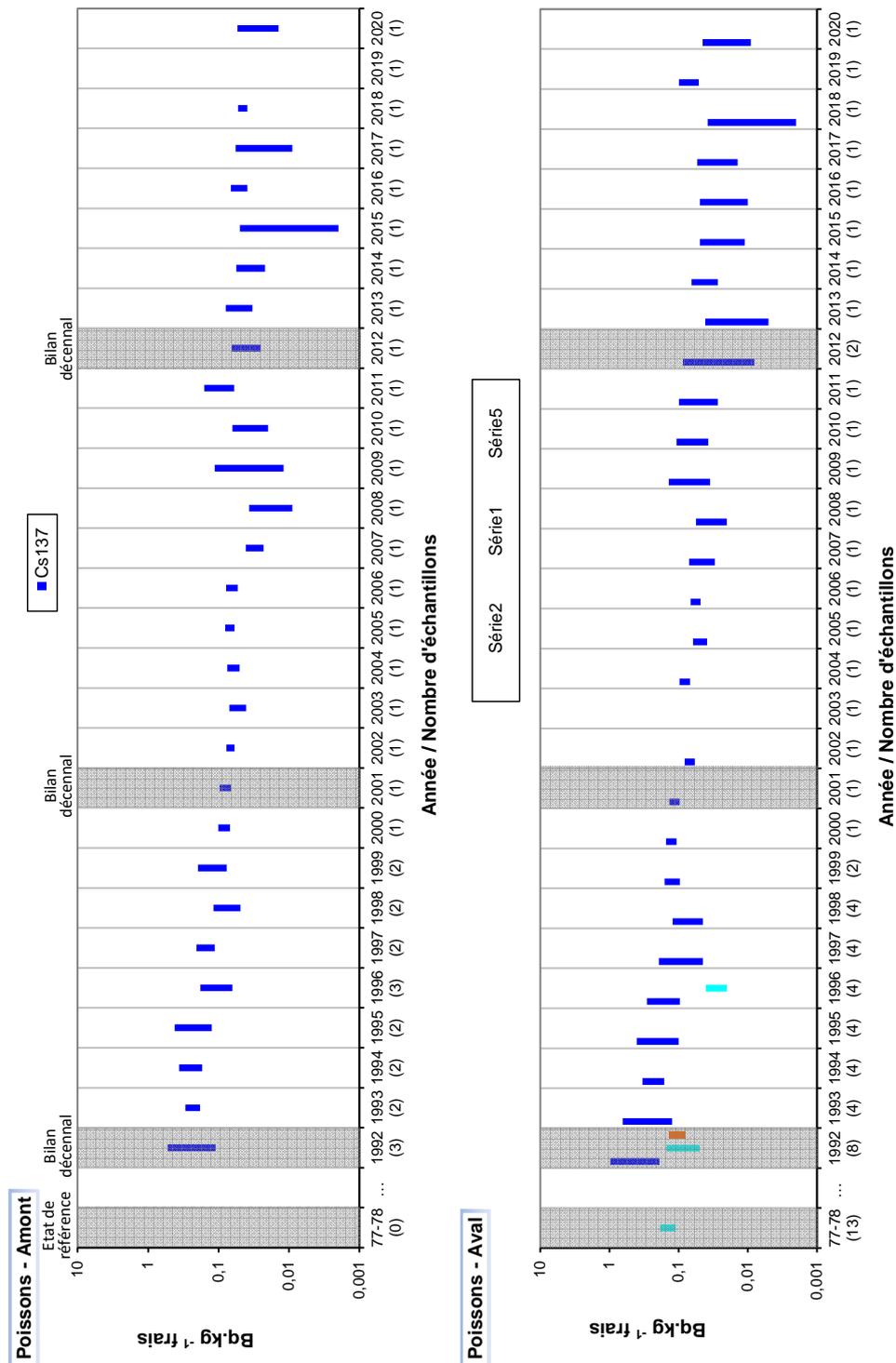


Figure 6-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi radioécologique de 2020.

(*) 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 ^3H libre mesurées dans les myriophylles en 2020 montrent une augmentation de l'activité à l'aval liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly ($12,4 \pm 1,8 \text{ Bq.L}^{-1}$) (Tableau 6-24, page 143). Dans les eaux, les activités mesurées sont inférieures au seuil de décision pour l'eau d'irrigation et dans la variabilité environnementale pour l'eau de boisson.

Les activités de ^3H 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 ^3H au sein de ces milieux récepteurs [7]. Depuis 2015, l'activité du ^3H 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.

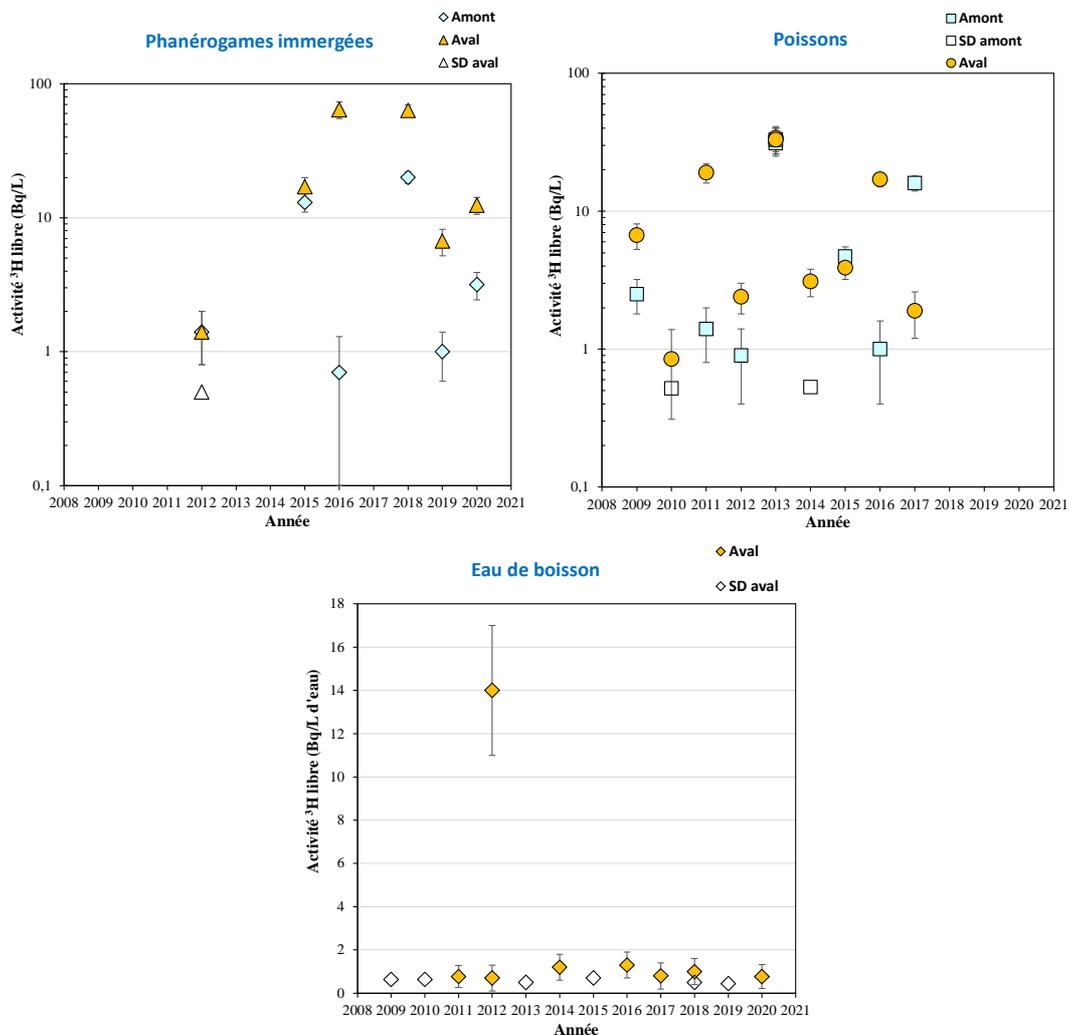


Figure 6-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2009 à 2020.

En 2020, les activités du ^3H 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 myriophylles et de 14 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 ($29,6 \pm 4,2 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion) (Tableau 6-25, page 144). Dans les poissons, le marquage constaté à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.

Ces résultats sont cohérents avec ceux observés depuis l'intégration de la mesure du ^3H organiquement lié dans le cadre du suivi radioécologique de 2010.

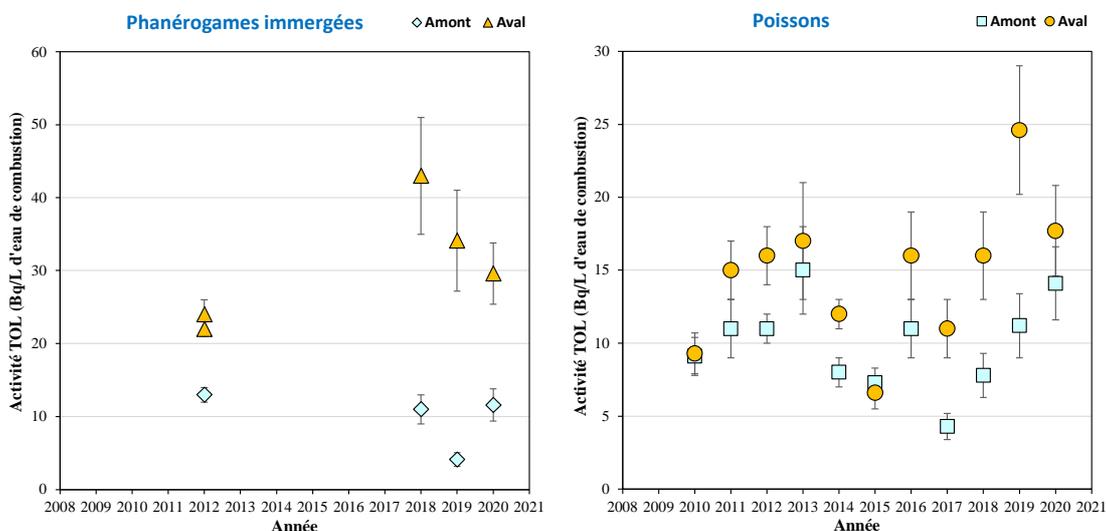


Figure 6-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2010 à 2020.

6.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le tableau 6-26 (page 144). En 2020, 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 $341,2 \pm 1,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C (dans les myriophylles) et de $402,3 \pm 2,0 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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 ($1043,7 \pm 4,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) et les poissons ($614,8 \pm 2,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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.

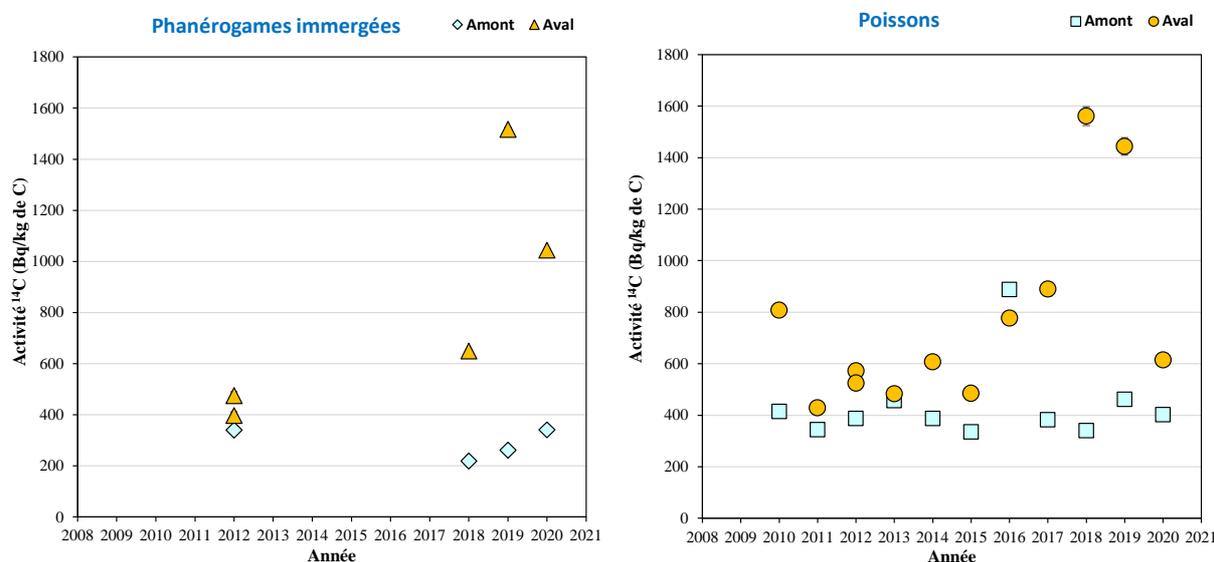


Figure 6-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Dampierre-en-Burly de 2010 à 2020.

6.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2020, l'activité du ^{63}Ni est inférieure au seuil de décision à l'amont et elle est de $2,9 \pm 0,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec dans les myriophylles prélevées à l'aval. Cette détection est liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly (Tableau 6-27, page 145).

Les analyses de ^{55}Fe réalisées en 2020 montrent des activités inférieures aux seuils 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. n'est mise en évidence pour ce radionucléide (Tableau 6-28, page 145).

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

Le suivi radioécologique établi en 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de 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 activités en ^3H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec le niveau ambiant hors influence industrielle et 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. Les analyses de ^{14}C sont également cohérentes en 2020 aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant.

En 2020, 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 dans les sédiments et les poissons. Dans les végétaux, on constate une augmentation à l'aval du C.N.P.E. Le ^{137}Cs provient donc de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et des rejets d'effluents liquides du site. Ce constat est confirmé par la détection de traces de ^{58}Co , de ^{60}Co , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn à l'aval du C.N.P.E. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire est également mise en évidence par la détection de ^{58}Co à l'amont. En 2020, les analyses de ^3H libre et organiquement lié dans les phanérogames et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire situé en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly. Dans les poissons, le marquage en ^3H organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly pour ce radionucléide.



LISTE DES FIGURES

Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....	98
Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....	101
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 2020.	103
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 2020.	104
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 2020.	105
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 2020.	106
Figure 6-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly.....	109
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 2020.	111
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 2020.....	112
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 2020.	113
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 2020.	114
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 2010 à 2020.	115
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 2010 à 2020.	116



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 2020.....	100
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 2020.....	108
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 2011 à 2019 ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).....	123
Tableau 6-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020.....	124
Tableau 6-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020.....	125
Tableau 6-6. Activités du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2021.....	126
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 2011 à 2020 ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).....	127
Tableau 6-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (Bq.L^{-1}).....	128
Tableau 6-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2017 (Bq.kg^{-1} de carbone).....	129
Tableau 6-10. 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 2020.....	131
Tableau 6-11. 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 2020.....	132
Tableau 6-12. 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 2020.....	133
Tableau 6-13. 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 2020.....	133
Tableau 6-14. 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 2020.....	134
Tableau 6-15. 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 2020.....	134
Tableau 6-16. 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 2020.....	135

Tableau 6-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.L^{-1}).....	137
Tableau 6-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2011 à 2020 (spectrométrie γ et ^3H : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).....	138
Tableau 6-19. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2011 à 2020.....	139
Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).....	140
Tableau 6-21. 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 2020.....	141
Tableau 6-22. 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 2020.....	142
Tableau 6-23. 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 2020.....	143
Tableau 6-24. 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 2020.....	143
Tableau 6-25. 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 2020.....	144
Tableau 6-26. 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 2020.....	144
Tableau 6-27. 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 2020.....	145
Tableau 6-28. 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 2020.....	145
Tableau 6-29. 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 2020.....	146

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	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	oct. 2020
Distance par rapport au site	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	8,5 à 15,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	2,20-2,38 (3/3)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 6-4. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020.
(spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1})

Année de prélèvement	juil. 2011	sept./oct. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juin 2015	juil. 2016	sept. 2017	juil. 2018	juin 2019	oct. 2020
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,27-0,41 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	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)	226,3-228,8 (2/2)
^3H libre	n.a.	0,9 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,8 (1/1)	1,0 (1/1)	1,73 (1/1)	0,83 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	1,6 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 6-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020.
(spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1})

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	nov. 2017	août 2018	juil. 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	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	15,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	0,082 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,066 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	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.	n.a.
^3H libre	n.a.	1,2 (1/2)	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	1,2 (1/1)	2,8 (1/1)	-	-	0,56 (1/1)
^3H organiquement lié	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

Tableau 6-6. Activités du ¹⁴C, du ³H libre et du ³H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2021.
(spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ³H : 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	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.												
³ H organiquement lié	n.a.	1,4 (1/1)	n.a.	n.a.												

Année de prélèvement	avril 2019	juil. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	juil. 2020	oct. 2020	janv. 2021
Distance par rapport au site	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	224 (1/1)	225 (1/1)	223 (1/1)	224 (1/1)	228 (1/1)	228 (1/1)	228 (1/1)	224 (1/1)
³ H libre	n.a.	0,56 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	0,56 (1/1)	n.a.	n.a.
³ H organiquement lié	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.

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

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril et oct. 2012		avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	juil. 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	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	4,2 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	2,7 (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

Tableau 6-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	août 2018	juil. 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	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	15,4 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,0392 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	236-237 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	237 (1/1)	232 (1/1)	228,0 (1/1)	234 (1/1)
^3H libre	-	-	-	-	-	-	0,6 (1/1)	-	-	0,53 (1/1)
^3H organiquement lié	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

Tableau 6-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2015 à 2016 (Bq.kg^{-1} de carbone).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017
Distance par rapport au site	15,4 km	14,7 km	14,7 km					
Emetteurs β ^{14}C	228 (1/1)	224 (1/1)	234 (1/1)	235 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)	230 (1/1)	235 (1/1)



Tableau 6-10. 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 2020.

Hors vents		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		
Bois de la Noue Buisson Réau	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	15/10/20	16/10/20	Frais	215 ± 36	< 3,4	< 13	n.a.	586 ± 91	810 ± 93	
Poilly-lez-Gien	Sol cultivé	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	23/11/20	Sec	970 ± 140	81 ± 11	n.a.	79 ± 24	n.a.	< 2,5	
Charleuzy	Sol cultivé	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	09/11/20	Sec	606 ± 87	25,4 ± 3,3	n.a.	33 ± 15	n.a.	< 1,3	
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	22/01/21	Cendres	1640 ± 230	4,36 ± 0,77	6,8 ± 1,3	n.a.	27,6 ± 4,6	252 ± 29	
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	06/11/20	Cendres	1790 ± 260	1,15 ± 0,46	< 1,3	n.a.	25,6 ± 4,2	191 ± 21	
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	25/11/20	Sec	690 ± 99	29,8 ± 3,8	n.a.	< 17	n.a.	< 1,8	
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/10/20	20/11/20	Cendres	790 ± 110	1,33 ± 0,24	< 0,77	n.a.	29,3 ± 4,3	375 ± 42	
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	11/01/21	Cendres	46,7 ± 6,8	< 0,028	< 0,073	n.a.	< 0,11	< 0,15	

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

Tableau 6-11. 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 2020.

Hors vents		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine artificielle									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	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 <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	15/10/20	16/10/20	Frais	< 0,96	2,7 ± 1,0	< 0,76	< 0,87	< 1,0	< 0,80	< 0,94
Poilly-lez-Gien	Sol cultivé	Sol de salade Horizon 0 - 20 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	23/11/20	Sec	< 0,20	2,20 ± 0,27	< 0,25	< 0,18	< 0,25	< 0,24	n.a.
Charleuzy	Sol cultivé	Sol de salade Horizon 0 - 20 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	09/11/20	Sec	< 0,12	2,38 ± 0,28	< 0,13	< 0,12	< 0,14	< 0,13	n.a.
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	22/01/21	Cendres	< 0,12	0,27 ± 0,12	< 0,28	< 0,14	< 0,16	< 0,14	n.a.
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	06/11/20	Cendres	< 0,091	0,41 ± 0,11	< 0,12	< 0,13	< 0,11	< 0,10	n.a.
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/10/20	25/11/20	Sec	< 0,14	2,30 ± 0,28	< 0,19	< 0,15	< 0,18	< 0,15	n.a.
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/10/20	20/11/20	Cendres	< 0,033	0,066 ± 0,040	< 0,052	< 0,043	< 0,036	< 0,040	n.a.
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	11/01/21	Cendres	< 0,0073	0,0392 ± 0,0091	< 0,016	< 0,0087	< 0,0098	< 0,0080	n.a.

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

Sous les vents

							¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais
Bois de la Noue Buisson Réau	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	15/10/20	03/12/20	Lyophilisée	< 8

Tableau 6-12. 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 2020.

Sous les vents

							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	16/12/20	Eau de lyophilisation	0,83 ± 0,54	0,76 ± 0,50
Le Moulin Rose (commune de Montereau)	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/20	16/07/20	Eau de lyophilisation	0,56 ± 0,43	0,44 ± 0,34
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	17/12/20	Eau de lyophilisation	0,53 ± 0,52	0,45 ± 0,44

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

Tableau 6-13. 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 2020.

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 <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	25/01/21	Lyophilisé	< 0,76	< 0,034	< 0,46
Le Moulin Rose (commune de Montereau)	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	02/07/20	25/09/20	Lyophilisé	< 0,71	< 0,087	< 0,43
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	07/01/21	Lyophilisé	< 0,66	< 0,063	< 0,51

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

Tableau 6-14. 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 2020.

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			
Poilly-lez-Gien	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	30/07/21	Lyophilisée	226,3 ± 1,2	7,192 ± 0,038	32	-30,32	101
Charleuzy	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	15/10/20	08/06/21	Lyophilisée	228,8 ± 1,2	8,097 ± 0,042	35	-29,29	102
La Cocherie (commune de Langesse)	Lait	Lait de vache	Entier	14/10/20	03/03/21	Lyophilisée	234,0 ± 8,0	16,11 ± 0,55	69	-17,77	102

Tableau 6-15. Activité du ¹⁴C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Poilly-lez-Gien	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	15/10/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	6,87
				Limons fins	7,90
				Limons grossiers	5,64
				Sables fins	54,46
				Sables grossiers	25,13
Teneur en matières organiques	1,90				
Charleuzy	Sol de salade <i>Horizon 0 - 20 cm</i>	15/10/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	7,34
				Limons fins	11,82
				Limons grossiers	7,14
				Sables fins	7,85
				Sables grossiers	65,85
Teneur en matières organiques	1,50				
Le Moulin Pellerin (commune de Langesse)	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	15/10/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	11,55
				Limons fins	13,77
				Limons grossiers	10,40
				Sables fins	13,31
				Sables grossiers	50,98
Teneur en matières organiques	3,82				

Tableau 6-16. 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 2020.



Tableau 6-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	juil./août 2018	juil./sept. 2019	sept./oct. 2020
Distance par rapport au site	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	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.
^{137}Cs	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	0,0012 (1/4)	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.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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.
Emetteurs β										
^3H 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)	0,77 (1/2)

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

Tableau 6-18. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2011 à 2020 (spectrométrie γ et ^3H : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone).

Année de prélèvement	sept 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
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	-	0,17 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/1)	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	3,07 (1/1)	3,40- 3,59 (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	-	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)	-	1,84- 3,15 (2/2)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	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)	-	1,12 (1/2)
^{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.	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.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	0,43 (1/1)	0,46- 0,51 (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.

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

Tableau 6-19. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ sec ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement	juil./sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept. 2014		juil./oct. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	0,023 (1/3)	-	-	-	0,16 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,225 (1/1)	0,388- 0,532 (2/2)
^{58}Co	-	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)	0,365 (1/1)	2,86-4,65 (2/2)
^{60}Co	-	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)	-	2,77-4,97 (2/2)
^{110m}Ag	-	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)	-	1,05-1,80 (2/2)
^{54}Mn	-	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)	-	0,65-1,17 (2/2)
^{131}I	-	-	-	-	17 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	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)	341,2 (1/1)	1043,7 (1/1)
^3H libre	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)	3,17 (1/1)	12,4 (1/1)
^3H organiquement lié	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)	11,6 (1/1)	29,6 (1/1)

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

Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		oct. 2019		oct. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,034 (1/1)	0,027 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	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)	402,3 (1/1)	614,8 (1/1)
^3H libre	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.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	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)	14,1 (1/1)	17,7 (1/1)

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

Tableau 6-21. 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 2020.

			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	
Nevo y Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	21/12/20	Sec	729 ± 100	65,2 ± 8,5	n.a.	49 ± 25	n.a.	34,8 ± 7
Benne Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	08/02/21	Sec	698 ± 100	62,5 ± 8,1	n.a.	84 ± 30	n.a.	41 ± 12
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	08/02/21	Sec	720 ± 100	63,1 ± 8,2	n.a.	50 ± 27	n.a.	49,4 ± 7,7
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	19/10/20	Cendres	422 ± 60	16,5 ± 2,1	6,7 ± 1,6	n.a.	32,1 ± 4,9	99 ± 11
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	19/10/20	Cendres	433 ± 62	20,9 ± 2,7	7,8 ± 2,2	n.a.	31,1 ± 4,9	91 ± 10
St-Père-sur-Loire Rive droite	Phanérogame semi-aquatique	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	08/01/21	Cendres	469 ± 67	18,3 ± 2,4	8,5 ± 2,0	n.a.	34,7 ± 5,3	109 ± 13
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	20/01/21	Cendres	99 ± 14	< 0,074	< 0,17	n.a.	< 0,26	< 0,51
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	20/01/21	Cendres	106 ± 15	< 0,070	< 0,15	n.a.	< 0,23	< 0,44

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

Tableau 6-22. 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 2020.

			Emetteurs γ d'origine artificielle										
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Nevoy Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	21/12/20	Sec	< 0,22	3,07 ± 0,37	< 0,44	< 0,22	< 0,30	< 0,30	n.a.
Benne Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	08/02/21	Sec	< 0,27	3,40 ± 0,42	< 0,80	1,84 ± 0,39	< 0,40	< 0,34	n.a.
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/09/20	08/02/21	Sec	< 0,25	3,59 ± 0,43	< 0,76	3,15 ± 0,54	1,12 ± 0,20	< 0,37	n.a.
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	19/10/20	Cendres	< 0,059	0,225 ± 0,036	0,365 ± 0,055	< 0,064	< 0,070	< 0,078	n.a.
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	24/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,5
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	19/10/20	Cendres	< 0,085	0,532 ± 0,075	4,65 ± 0,53	4,97 ± 0,72	1,80 ± 0,21	1,17 ± 0,58	n.a.
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	24/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,8
St-Père-sur-Loire Rive droite	Phanérogame semi-aquatique	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	22/09/20	08/01/21	Cendres	< 0,065	0,388 ± 0,055	2,86 ± 0,34	2,77 ± 0,41	1,05 ± 0,13	0,65 ± 0,33	n.a.
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	20/01/21	Cendres	< 0,022	0,034 ± 0,020	< 0,048	< 0,023	< 0,029	< 0,023	n.a.
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	20/01/21	Cendres	< 0,020	0,027 ± 0,018	< 0,046	< 0,023	< 0,028	< 0,021	n.a.

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

Amont		Aval						¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais	
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	16/04/21	Lyophilisée	< 6,0	
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	16/04/21	Lyophilisée	< 5,8	

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

Tableau 6-23. 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 2020.

Amont		Aval		Aval lointain		³ H libre		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	08/02/21	Eau de lyophilisation	3,17 ± 0,73	2,73 ± 0,63
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	11/02/21	Eau de lyophilisation	12,4 ± 1,8	10,7 ± 1,6
Ouzouer-sur-Loire Rive droite	Eau	Eau de boisson	Entier	14/10/20	16/11/20	Entier	0,77 ± 0,55	-
St-Père-sur-Loire Rive droite	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/09/20	06/10/20	Entier	< 0,46	-

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

Tableau 6-24. 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 2020.

						³ H organiquement lié			
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	18/02/21	Eau de combustion	11,6 ± 2,2	0,73 ± 0,17	6,9 ± 1,6
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	13/02/21	Eau de combustion	29,6 ± 4,2	1,87 ± 0,37	18,5 ± 3,7
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	27/02/21	Eau de combustion	14,1 ± 2,5	2,66 ± 0,56	10,2 ± 2,2
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	28/02/21	Eau de combustion	17,7 ± 3,1	2,79 ± 0,58	13,0 ± 2,7

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

Tableau 6-25. 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 2020.

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 <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	30/07/21	Lyophilisée	341,2 ± 1,7	17,284 ± 0,086	51	-20,54	143
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	30/07/21	Lyophilisée	1043,7 ± 4,7	45,38 ± 0,20	43	-19,44	439
La Boyauterie Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	30/07/21	Lyophilisée	402,3 ± 2,0	62,61 ± 0,31	156	-26,20	169
St-Père-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	07/10/20	30/07/21	Lyophilisée	614,8 ± 2,8	69,99 ± 0,32	114	-22,83	258

Tableau 6-26. Activités du ¹⁴C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval						⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	05/04/21	Eau de lyophilisation	< 0,55	
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	06/04/21	Eau de lyophilisation	2,9 ± 0,9	

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

Tableau 6-27. Activités du ⁶³Ni dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval						⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Gien Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	16/03/21	Eau de lyophilisation	< 0,60	
Benne Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	22/09/20	18/03/21	Eau de lyophilisation	< 0,52	

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

Tableau 6-28. Activités du ⁵⁵Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly lors du suivi radioécologique de 2020.

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

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Nevoiy Rive droite	Sédiment	22/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	22,89
				Limons fins	16,35
				Limons grossiers	10,03
				Sables fins	19,62
				Sables grossiers	31,12
Teneur en matières organiques	10,10				
Benne Rive droite	Sédiment	22/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	24,27
				Limons fins	28,30
				Limons grossiers	13,65
				Sables fins	14,65
				Sables grossiers	19,13
Teneur en matières organiques	9,40				
St-Père-sur-Loire Rive droite	Sédiment	22/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	21,64
				Limons fins	17,49
				Limons grossiers	10,76
				Sables fins	23,32
				Sables grossiers	26,79
Teneur en matières organiques	9,80				

Tableau 6-29. 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 2020.

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 CO₂, 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. 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] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.

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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

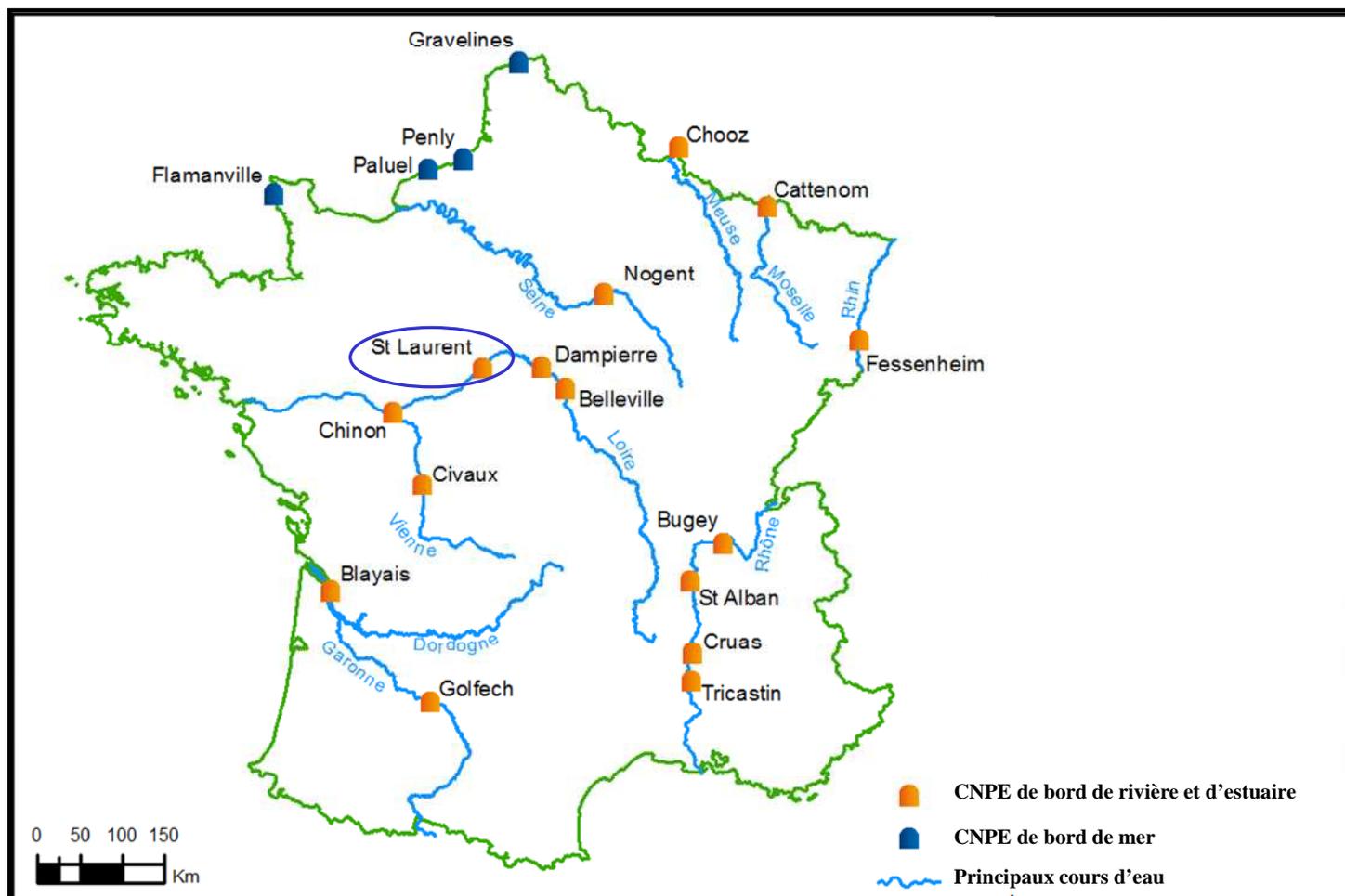
Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux



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



Source : EDF/DIPDE.



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



Résumé

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

Le suivi radioécologique établi en 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Saint-Laurent-des-Eaux.

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

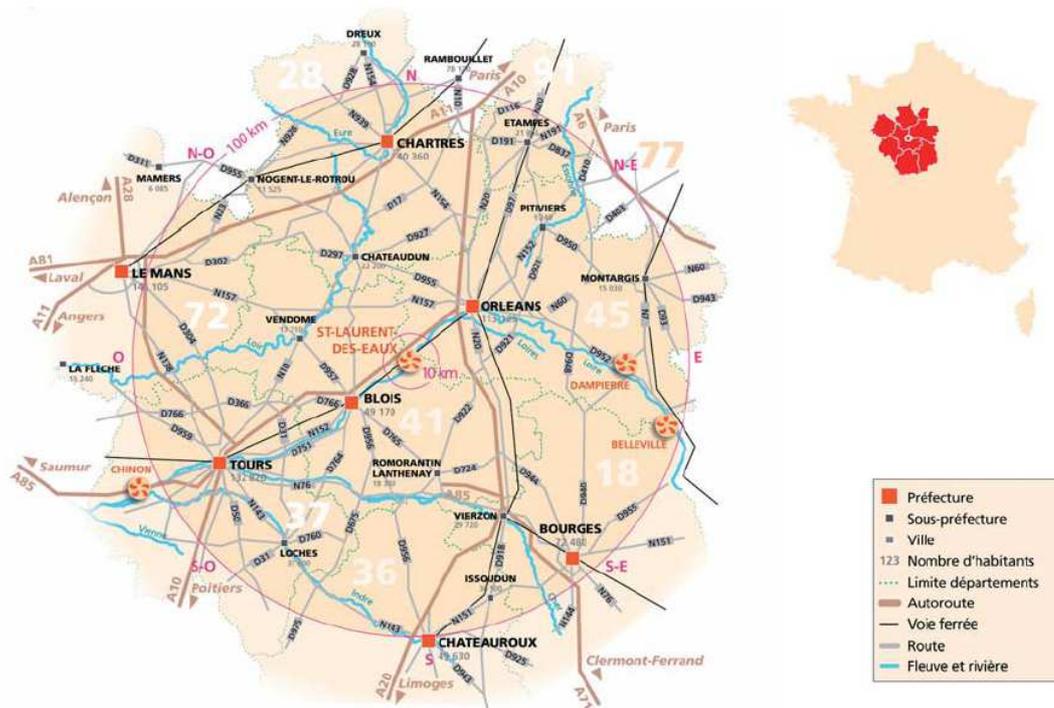
Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Seules, les activités détectées dans les myriophylles montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2020, la présence de ^{137}Cs résulte 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 et de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés à l'amont et, d'autre part, la contribution spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2020, les analyses de ^3H libre et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons et de ^3H organiquement lié dans les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogames, le marquage en ^3H organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide.



7. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux

7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Saint-Laurent-des-Eaux est implanté sur la commune de Saint-Laurent-Nouan à l'est du département de Loir-et-Cher (41), à 23 km de Blois et 30 km d'Orléans. L'installation se situe sur la rive gauche de la Loire à environ 90 et 130 km en aval des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire [1-3].



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



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

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

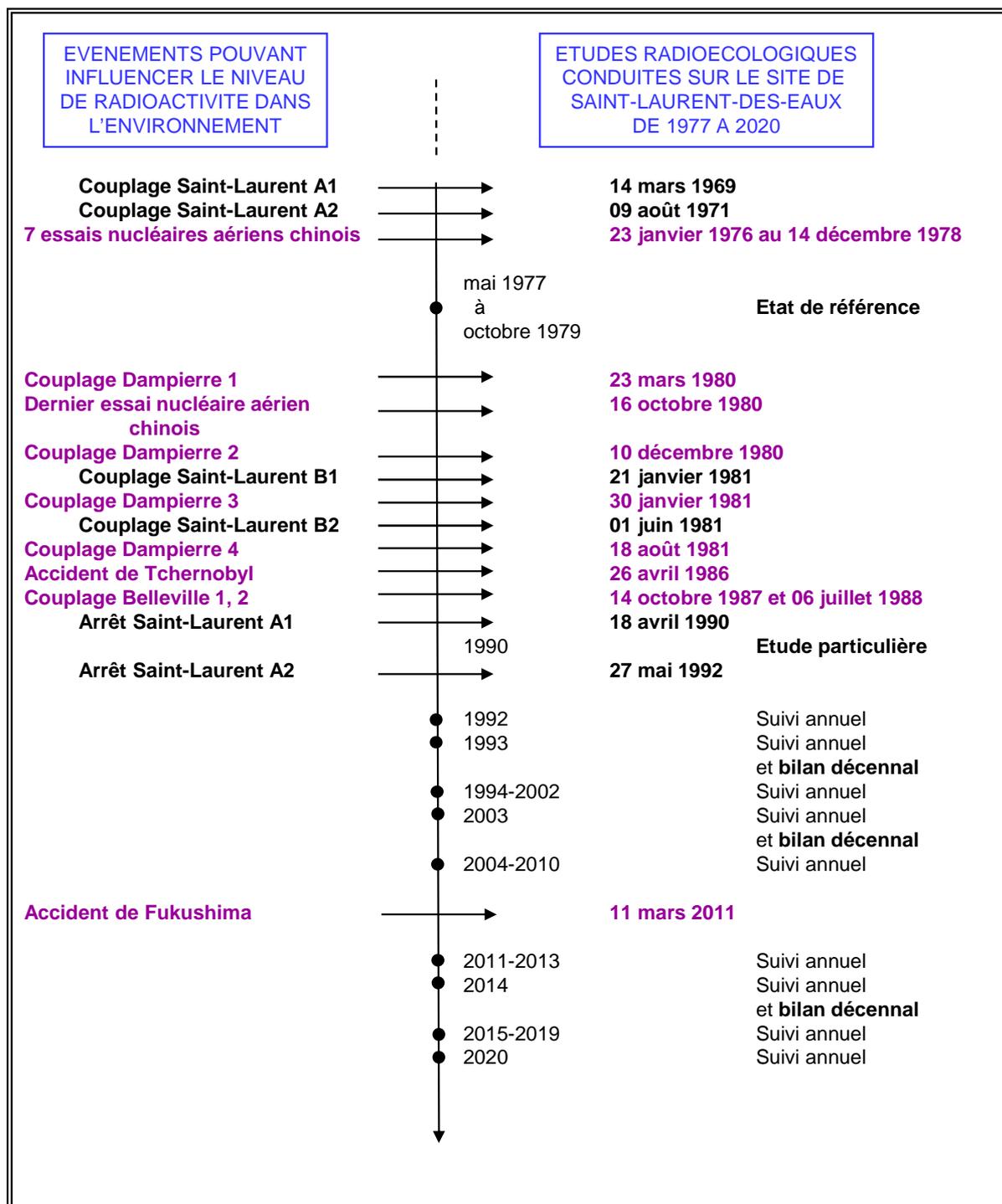


Figure 7-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1. *Stratégie d'échantillonnage*

Le Tableau 7-1 (page 160) regroupe l'identification des échantillons (station, nature, date de prélèvement...) ainsi que leurs rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 7-2 (page 161) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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

D'après la rose des vents, présentée sur la Figure 7-2 (page 161), les zones hors vents et donc non influencées par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. (désignées par « ZHV » dans la suite du texte) sont situées au Nord-Ouest, au Sud-Est et au Sud Sud-Ouest de l'installation. Les zones sous les vents dominants et donc potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) se situent le long de la Loire.

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

En 2020, quatre prélèvements de feuilles de lierre ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AS1 du site dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

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

Station	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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	Spectrométrie α	6,97	11,29
Courbouzon	1,9 km SO	47,70472	1,57083	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Strontium 90 Fer 55 Spectrométrie α	4,12	6,93
Mer	6,1 km SO	47,69361	1,51056	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	Spectrométrie γ	7,04	4,82
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,12	-
Cheverny	27,0 km SO	47,49447	1,44922	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/10/20	Spectrométrie α Granulométrie, TMO	1,33	1,17
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	07/10/20	Spectrométrie γ Spectrométrie α Strontium 90 Fer 55 Granulométrie, TMO	1,26	1,05
Station AS1	1,7 km E	47,72667	1,60028	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	Spectrométrie γ	1,99	9,98
								Tritium libre Tritium organiquement lié	1,99	-
Muides-sur-Loire	7,6 km SO	47,66111	1,52444	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,21	16,64

Hors vents Sous les vents

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

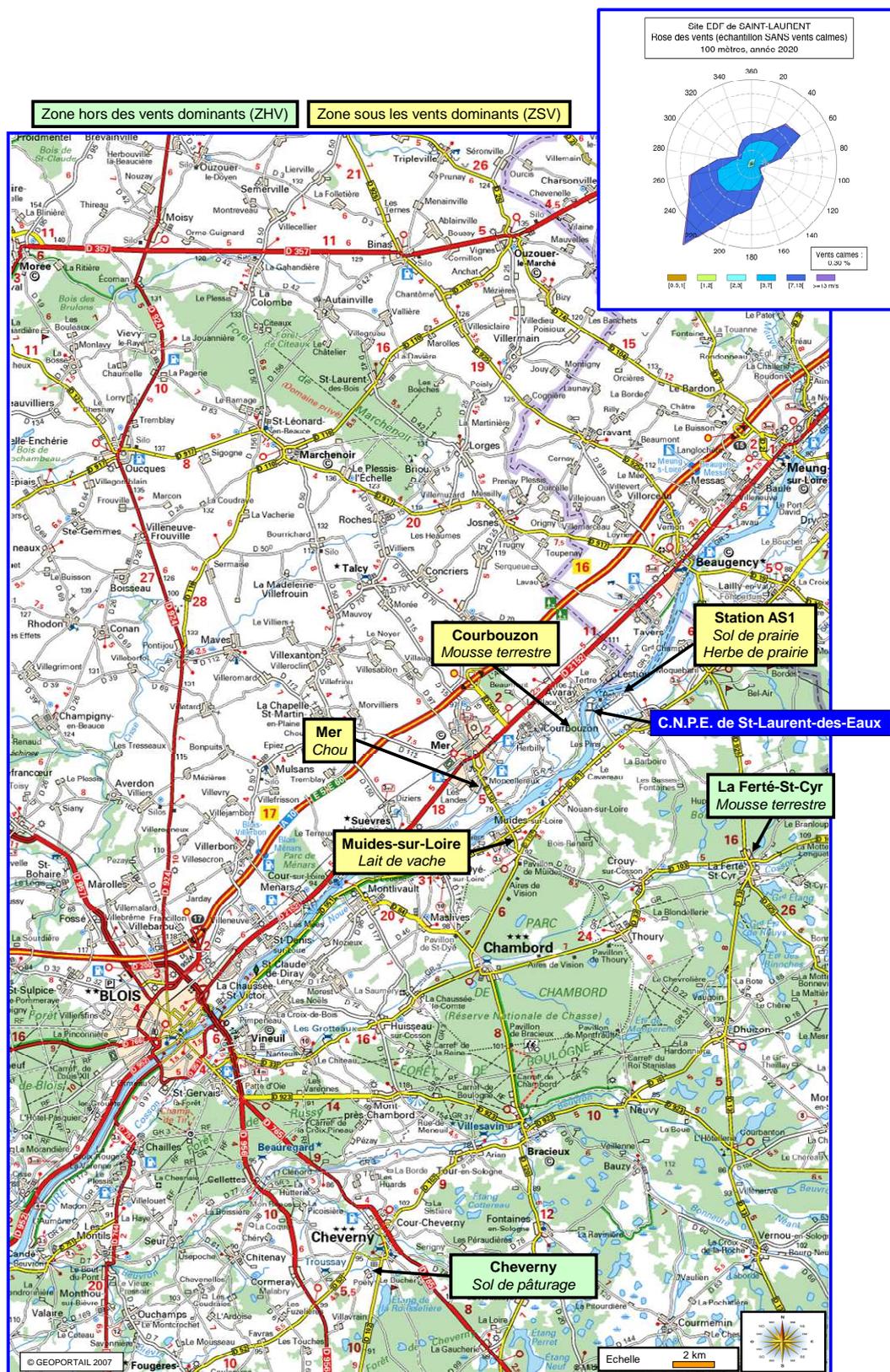


Figure 7-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.2.2. Résultats et interprétation

7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

7.2.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2020, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis l'état de référence de 1978-1979. La radioactivité d'origine tellurique est essentiellement due au ^{40}K dans l'ensemble des matrices, et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th (^{228}Ac) et de l' ^{238}U ($^{234\text{m}}\text{Pa}$). 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 ^7Be est détecté dans la mousse terrestre, les choux et l'herbe de prairie. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be retombe de manière plus ou moins homogène sur les sols et les végétaux. En particulier, la forte capacité des mousses terrestres à capter les dépôts atmosphériques de ce type de radionucléides montre l'intérêt d'analyser des bryophytes.

7.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

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

Les études menées lors de l'état de référence (1978-1979) mettaient en évidence la présence de ^{137}Cs dans l'ensemble des compartiments échantillonnés (Figure 7-3, page 163). Elle était liée aux retombées des essais aériens nucléaires. De 1992 à 1996, la présence de ^{134}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 2020, ce qui est cohérent avec les observations menées depuis 1992. Lors de l'état de référence, le $^{144}\text{Ce-Pr}$ et le $^{103}\text{Ru-Rh}$ avaient été quantifiés dans les végétaux cultivés. Leur origine provenait des essais aériens nucléaires.

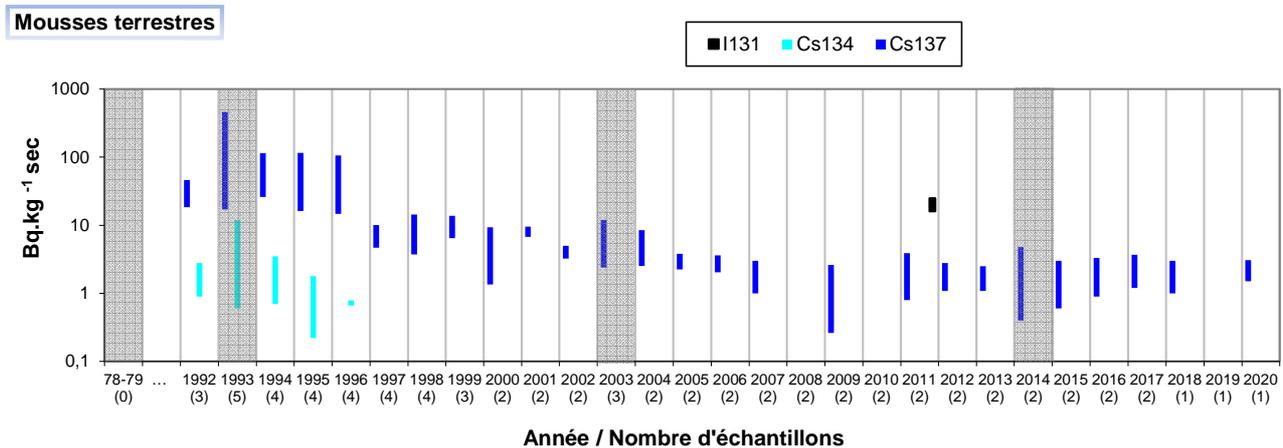
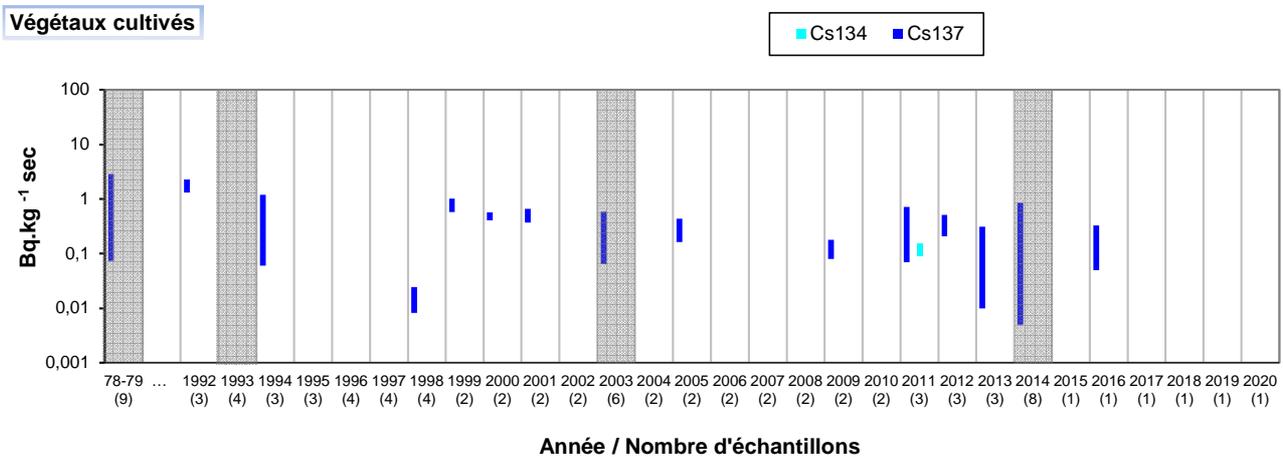
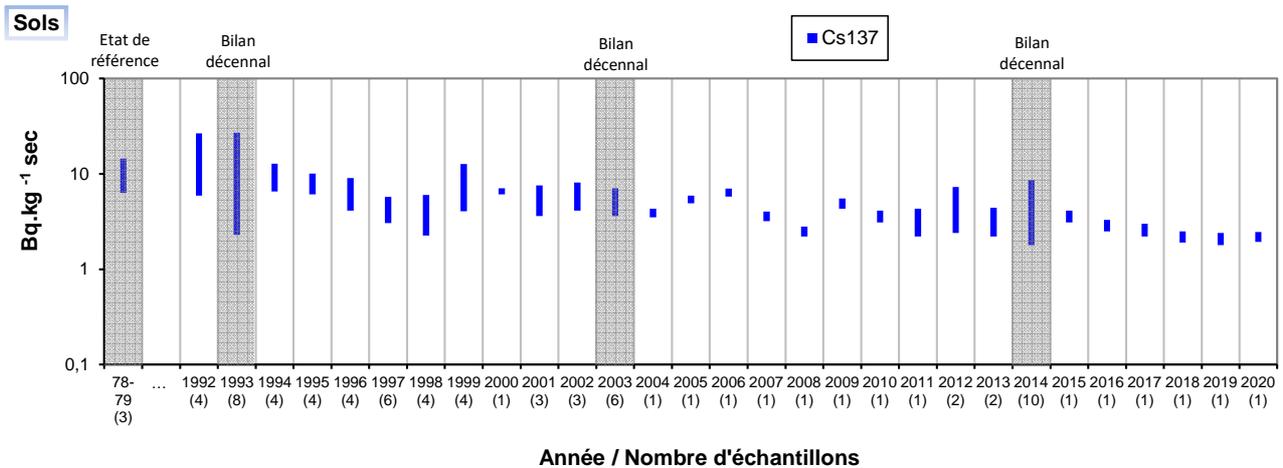


Figure 7-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1978/1979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

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

7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

7.2.2.2.1. Tritium

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

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

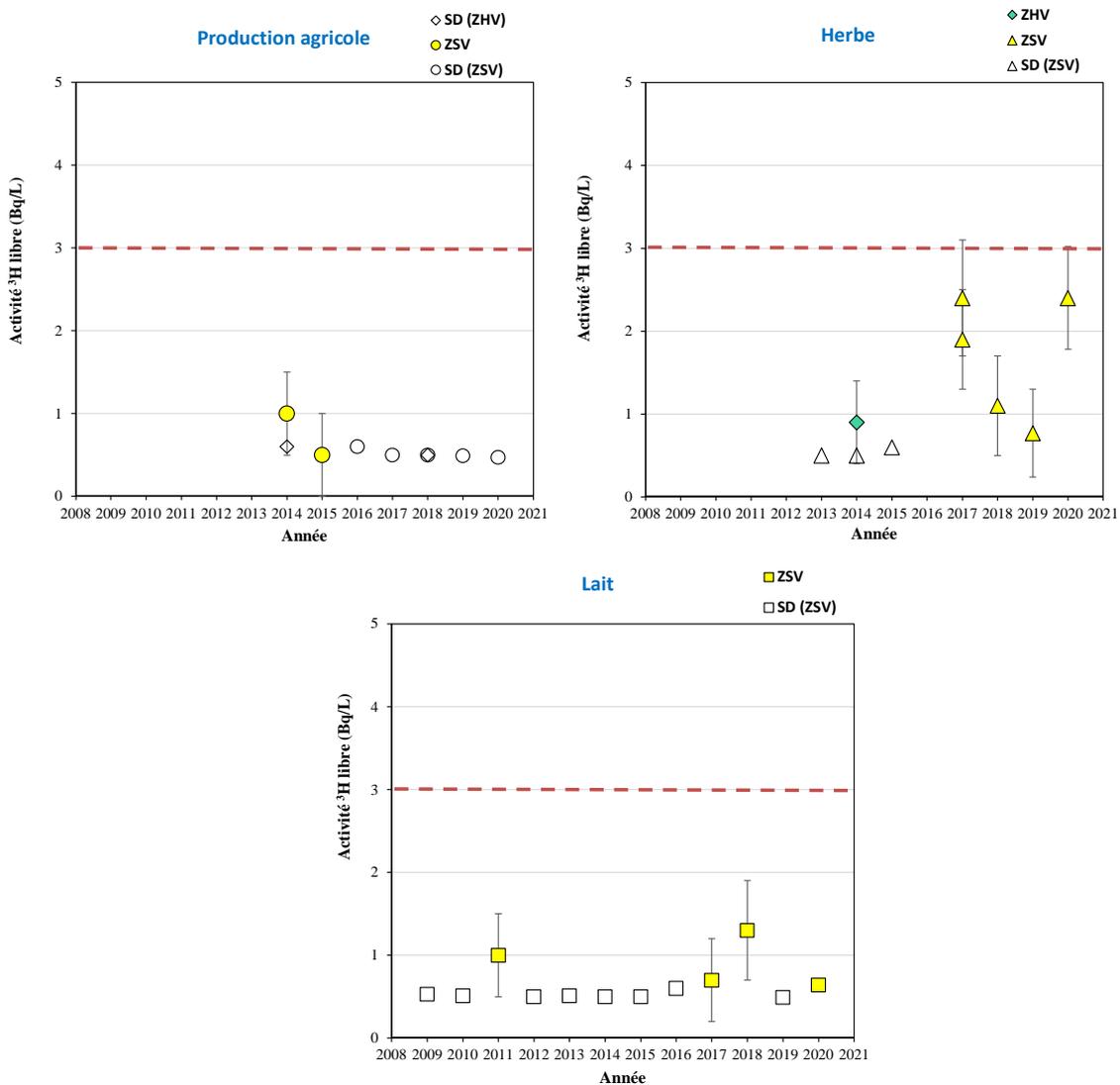


Figure 7-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [4,6].

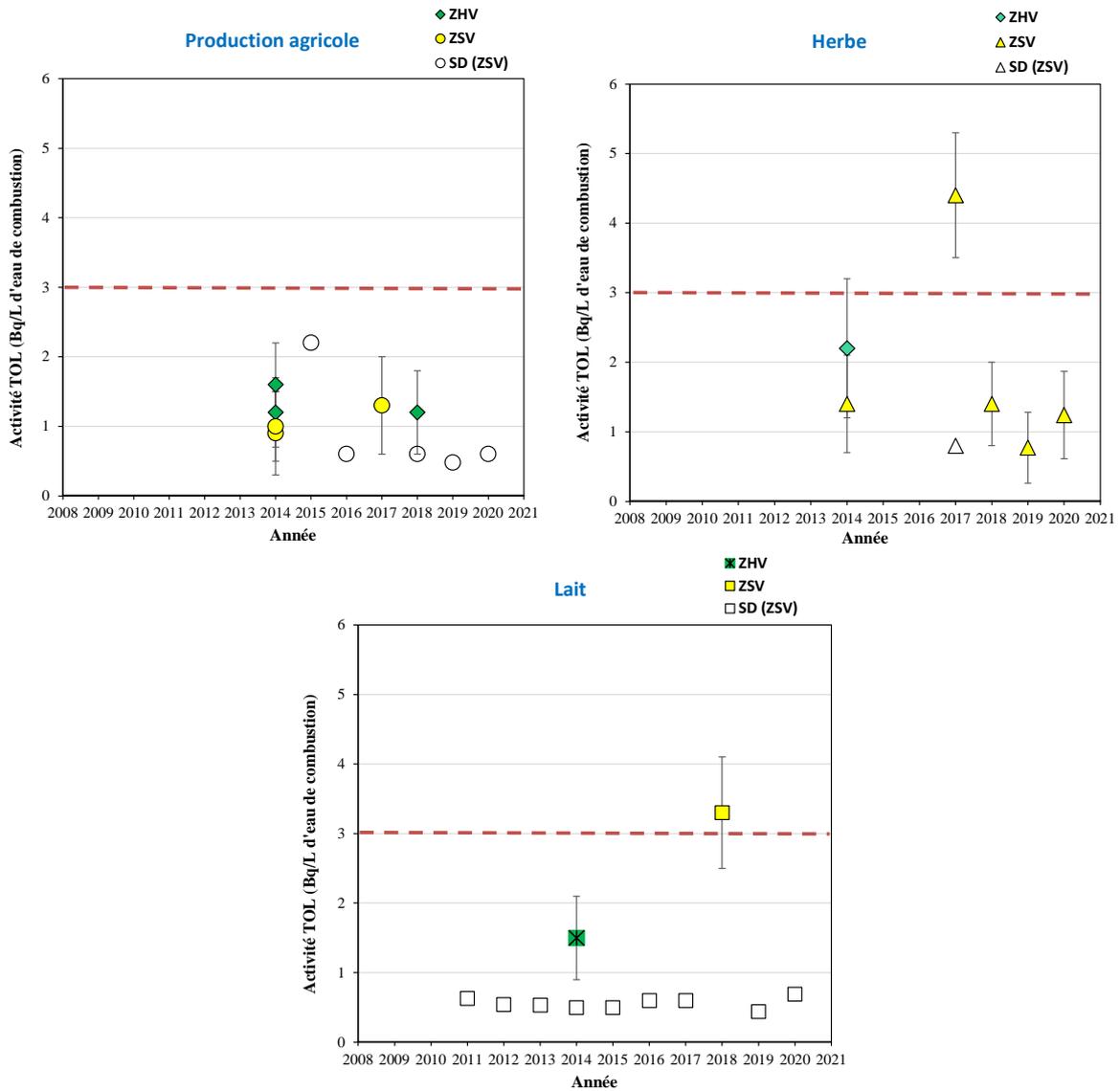


Figure 7-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

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

Les résultats des années antérieures montraient des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant, à l'exception du prélèvement d'herbe réalisé lors du suivi radiologique de 2012 qui témoignait d'un marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents atmosphériques de l'installation. Ce marquage ponctuel est également observé sur certains prélèvements trimestriels de lierre réalisés depuis 2015 par le C.N.P.E.

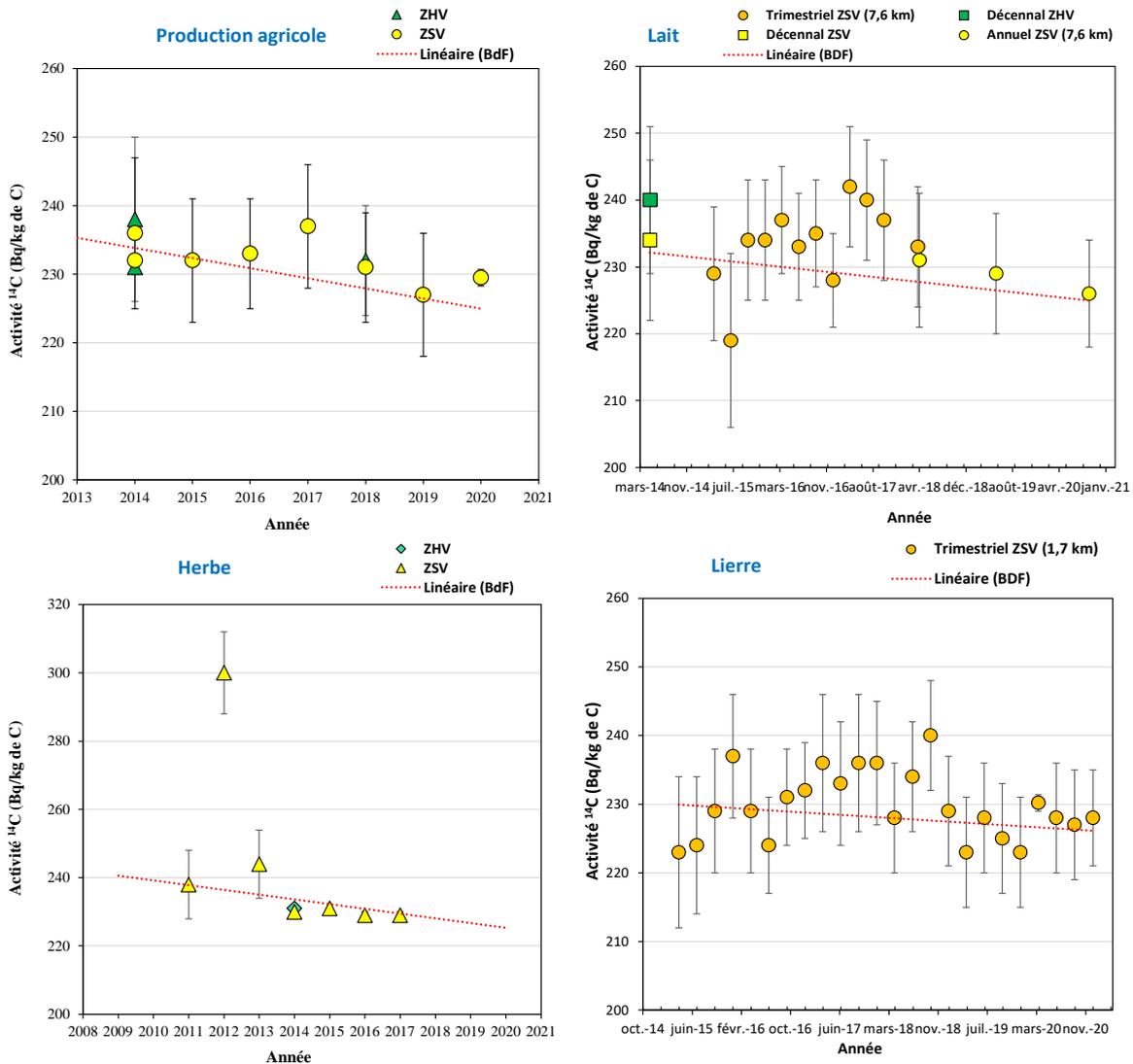


Figure 7-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

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

7.2.2.2.3. *Strontium 90*

En 2020, les résultats d'analyse du ^{90}Sr dans la mousse terrestre ($1,97\pm 0,47$ Bq.kg⁻¹ sec) et le sol de prairie ($0,87\pm 0,25$ 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 7-16, page 196) [8]. Ils sont cohérents avec ceux obtenus depuis 2018 dans le cadre du suivi radioécologique annuel.

7.2.2.2.4. *Fer 55*

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

7.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le ^{238}Pu , le $^{239+240}\text{Pu}$ et l' ^{241}Am sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols à l'exception du ^{238}Pu dans la mousse terrestre prélevée à La Ferté Saint-Cyr (ZHV) (Tableau 7-18, page 197). Les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, lorsqu'ils sont calculables, permettent de préciser l'origine de ces éléments, avec des rapports isotopiques respectifs de l'ordre de 0,03-0,08 et d'environ 0,4-0,5 pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (retraitement du combustible) [9]. Les rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ déterminés en 2020 dans les prélèvements de sols et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les mousses sont caractéristiques aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des essais aériens nucléaires. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des bilans décennaux de 1993, 2003 et 2014. Compte tenu de l'incertitude élevée de l'activité du ^{238}Pu dans l'échantillon de mousse (ZSV), le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ calculé n'est pas exploitable.

7.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 7-2 (page 169) regroupe l'identification des échantillons (station, nature, date de prélèvement...) ainsi que leurs rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 7-7 (page 170) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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

Trois prélèvements d'eaux sont réalisés sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. Dans la continuité des années antérieures, les eaux de boisson proviennent de la mairie de Muides-sur-Loire et de la mairie de Blois. A Muides-sur-Loire, les forages sont réalisés dans la nappe des calcaires de Beauce à 45 et 67 mètres de profondeur. Cette nappe communique avec la nappe alluviale et elle est donc potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. Dans la continuité des études antérieures, un second prélèvement est réalisé à la mairie de Blois pour laquelle l'eau distribuée est produite à partir d'eau prélevée en Loire ainsi que, potentiellement, dans la nappe alluviale sur la commune de Vineuil. Ce prélèvement a débuté en 2005 à l'occasion d'une étude hydrogéologique sur la vulnérabilité des captages d'alimentation en eau potable. En 2020, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Courbouzon.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Coordonnées WGS84								
		Latitude	Longitude							
Tavers Rive droite	4,2 km amont	47,74333	1,61944	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,54	-
Pont de Muides Rive gauche	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,71	-
Ménars Rive gauche	17,3 km aval lointain	47,62333	1,39806	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,78	-
Beaugency Rive droite	6,7 km amont	47,76944	1,63111	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	23/09/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Spectrométrie α Nickel 63 Fer 55	7,39	3,63
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	6,81	-
Pont de Muides Rive gauche	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	23/09/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Spectrométrie α Nickel 63 Fer 55	7,35	2,71
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	5,65	-
Ménars Rive gauche	17,3 km aval lointain	47,62333	1,39806	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	23/09/20	Spectrométrie γ	9,22	2,13
Tavers Rives gauche et droite	4,2 km amont	47,74333	1,61944	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,37	27,38
Pont de Muides Rives gauche et droite	6,5 km aval	47,67361	1,52667	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,71	24,75
Muides-sur-Loire	7,1 km aval	47,66917	1,52306	Eau	Eau de boisson	Entier	07/10/20	Tritium libre	-	-
Blois	23,3 km aval	47,58861	1,33694	Eau	Eau de boisson	Entier	06/10/20	Tritium libre	-	-
Courbouzon	2,0 km aval	47,70969	1,55814	Eau	Eau d'irrigation	Entier	04/11/20	Tritium libre	-	-

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

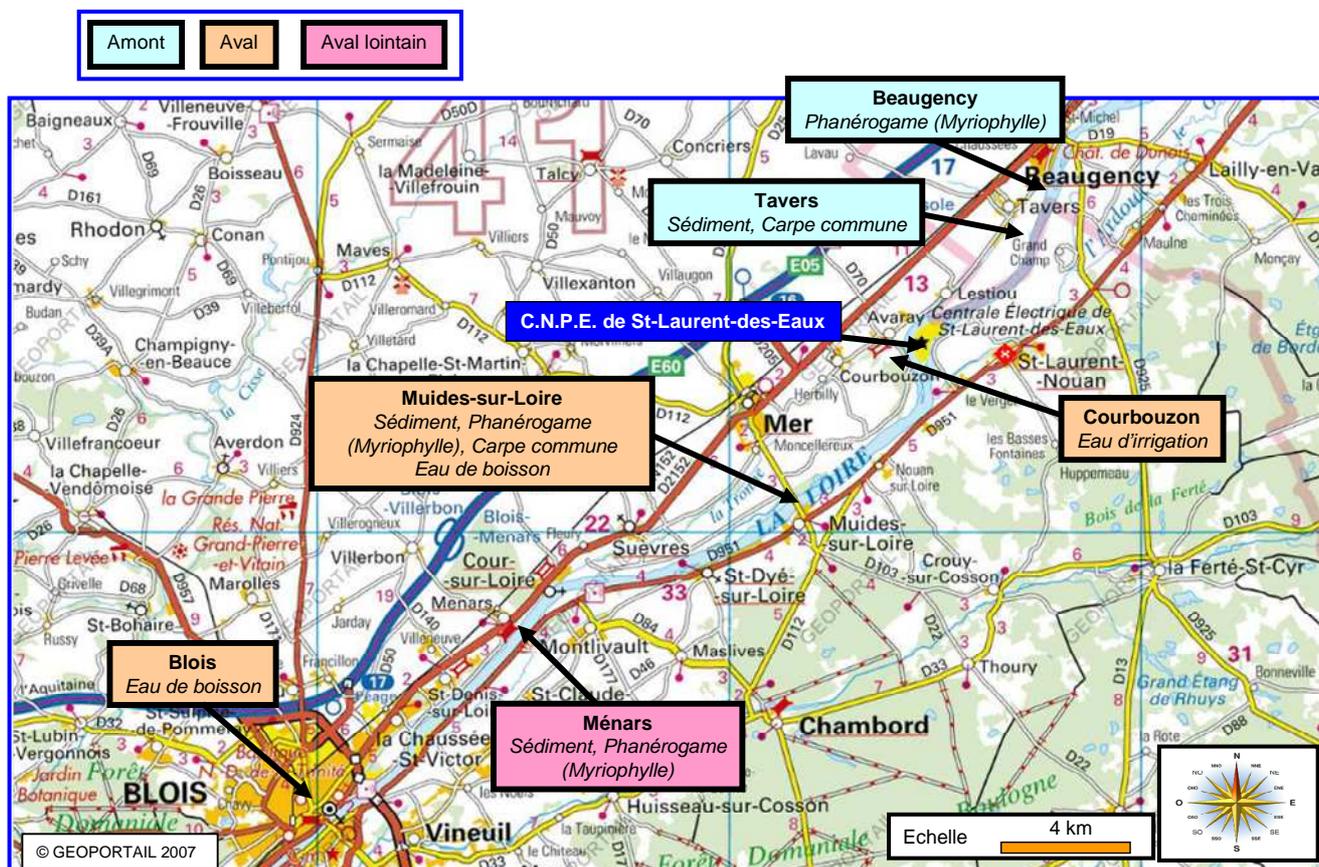


Figure 7-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

7.3.2. Résultats et interprétation

7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

7.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

En 2020, le niveau de radioactivité d'origine naturelle observé dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celles observées lors des études menées les années antérieures. Elle est cohérente avec celle mesurée lors de l'état de référence (1977-1978). Dans l'ensemble des matrices, la radioactivité naturelle d'origine tellurique est principalement due au ^{40}K et à un degré moindre aux chaînes naturelles du ^{232}Th et de ^{238}U . Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [4].

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

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

7.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

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

En 2020, 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 en 2020 de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl ainsi que des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. En 2020, la radioactivité artificielle est également caractérisée par la détection de traces de ^{60}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' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans les myriophylles prélevées à l'aval ainsi que d' ^{131}I dans les myriophylles prélevées à l'amont à l'aval. La détection de traces de ^{58}Co (myriophylles) et de ^{60}Co (sédiment) à l'amont de l'installation ne permet pas de distinguer avec certitude l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ces radionucléides. Seule l'augmentation de l'activité du ^{60}Co constatée en aval dans les myriophylles de l'installation témoigne en revanche de l'influence des rejets d'effluents liquides de l'installation. Ces résultats montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et/ou de Belleville-sur-Loire situés en amont sur la Loire et, d'autre part, celui lié à ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux.

Lors de l'état de référence, plusieurs radionucléides d'origine artificielle ont été détectés dans le milieu aquatique, ^{137}Cs , $^{144}\text{Ce-Pr}$, ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{65}Zn , ^{125}Sb , $^{106}\text{Ru-Rh}$, liés aux retombées des essais aériens nucléaires et, ^{60}Co et ^{54}Mn , dus à l'influence des rejets d'effluents de Saint-Laurent-des-Eaux A (Figure 7-8, page 173, Figure 7-9, page 174, et Figure 7-10, page 175). Depuis 1992, l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. a été mise en évidence par l'augmentation de l'activité du ^{137}Cs à l'aval et par la détection régulière de ^{60}Co et de façon plus sporadique de ^{134}Cs , de ^{58}Co et d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en aval de l'installation. Par ailleurs, la détection en amont des radiocésiums, en 1993 et en 1994, avec des rapports d'activités $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ inférieurs au rapport caractéristique des retombées de l'accident de Tchernobyl démontrait l'influence des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Cette influence des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire est régulièrement mise en évidence par la détection de ^{134}Cs , de ^{60}Co , d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et/ou de ^{54}Mn . En 2011, la spectrométrie gamma mettait également en évidence la présence de ^{134}Cs dans le sédiment prélevé à Tavers (amont) liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

En 2020, les analyses d' ^{131}I , dans les végétaux aquatiques immergés, montrent des activités équivalentes aux incertitudes de mesure près entre l'amont et l'aval. Depuis 1997, les activités de ^{131}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.

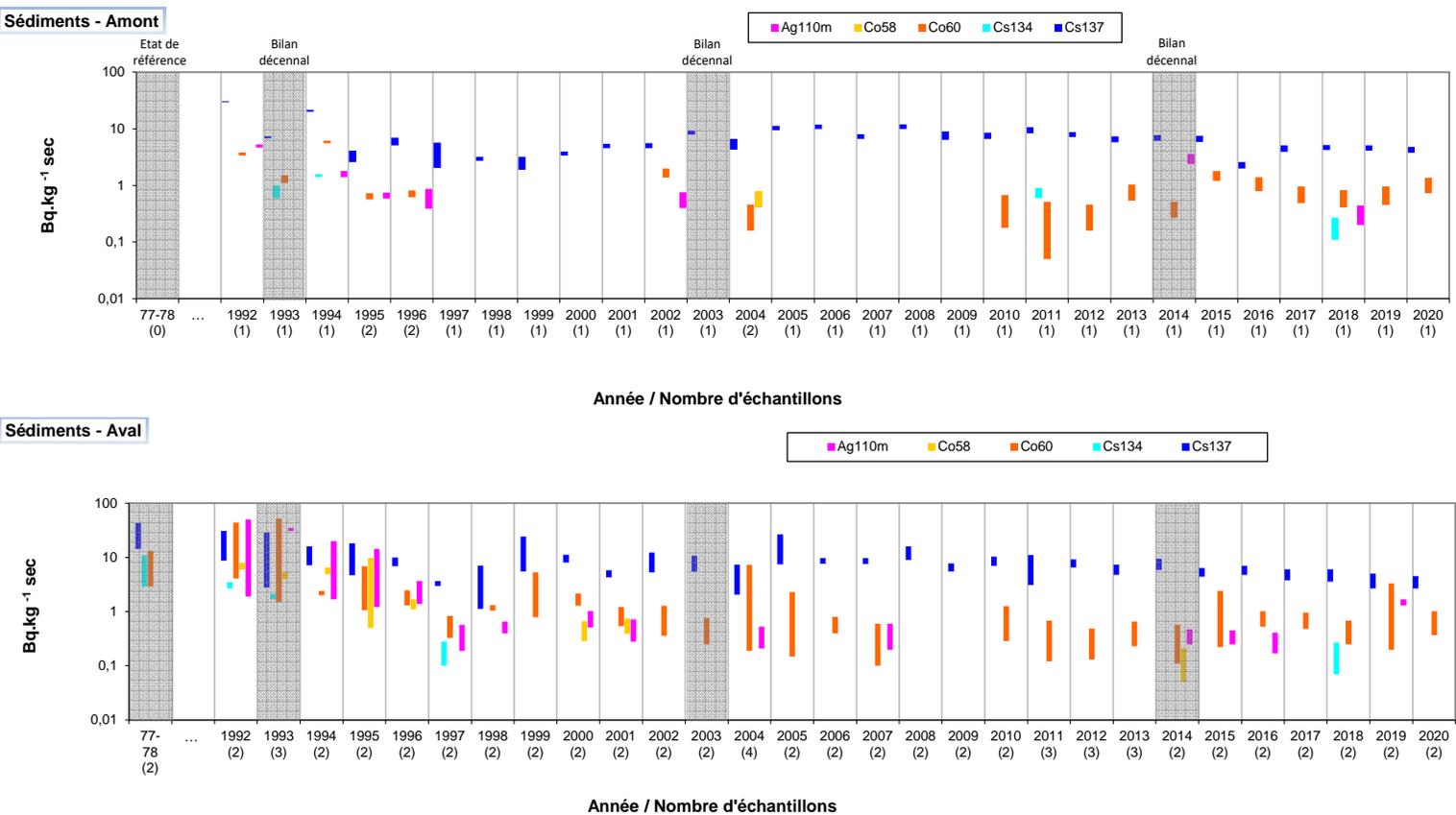


Figure 7-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence 1977/1978 au suivi radioécologique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

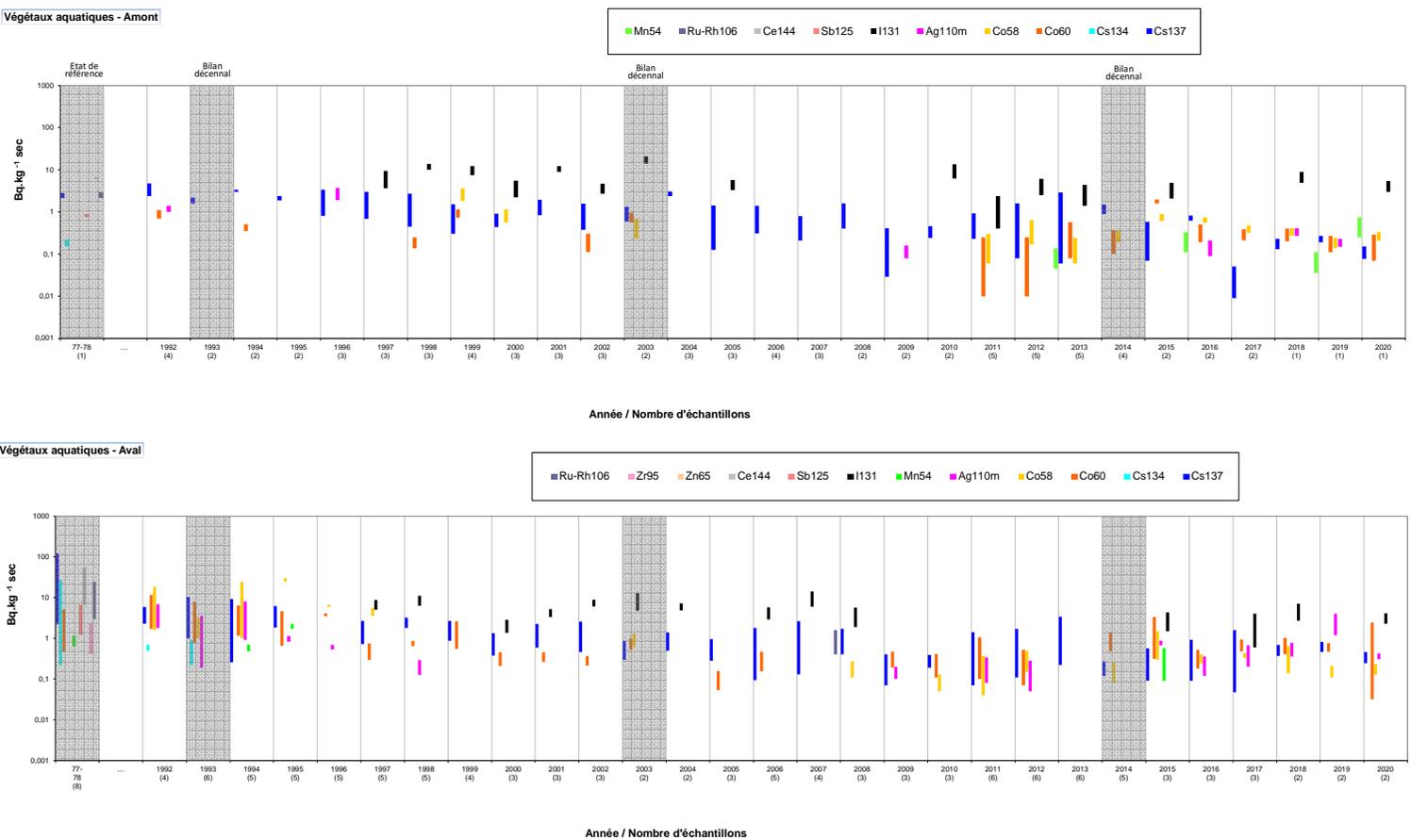


Figure 7-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames semi-aquatiques et immergées (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des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

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

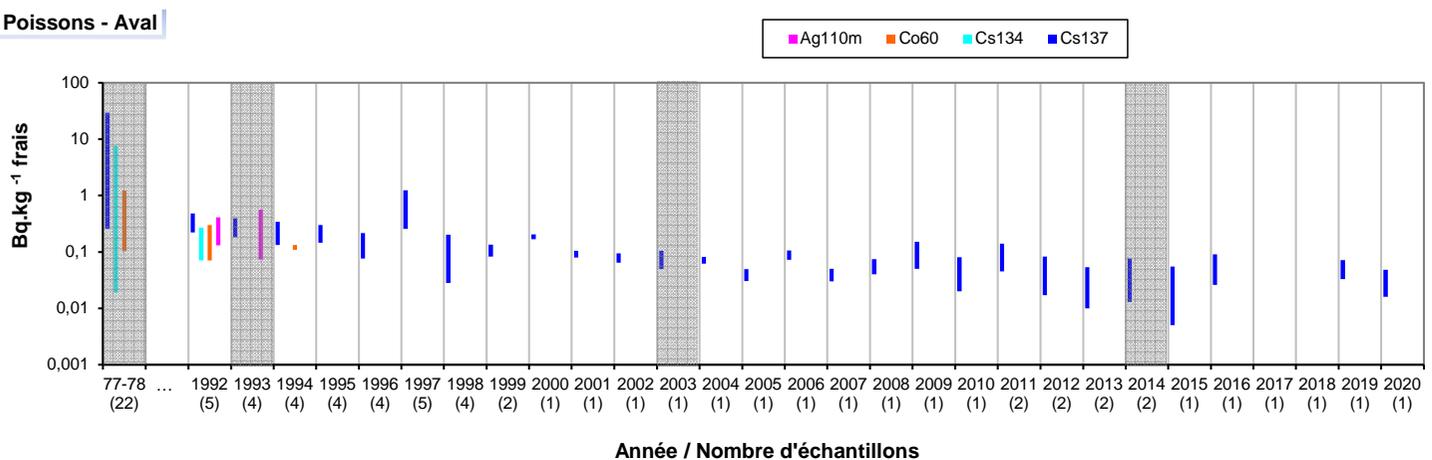
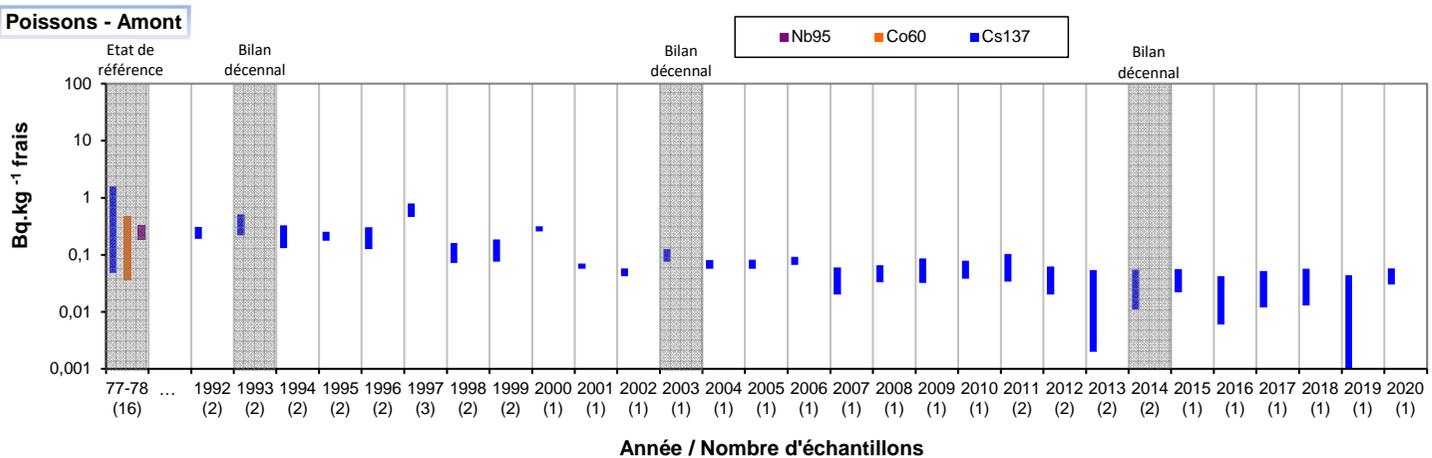


Figure 7-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1978 au suivi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

7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

7.3.2.2.1. Tritium

En 2020, les activités volumiques du ^3H libre mesurées dans les phanérogames immergées et les poissons varient de 10,7 à 44,8 Bq.L⁻¹ (Tableau 7-27, page 205). Les activités mesurées à l'amont sont liées à l'apport des rejets d'effluents liquides tritiés des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly et l'augmentation observée à l'aval témoigne de l'apport spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. La détection de ^3H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^3H au sein de ces milieux récepteurs [6]. En 2020, les activités sont cohérentes avec les données obtenues dans le cadre des études radioécologiques antérieures.

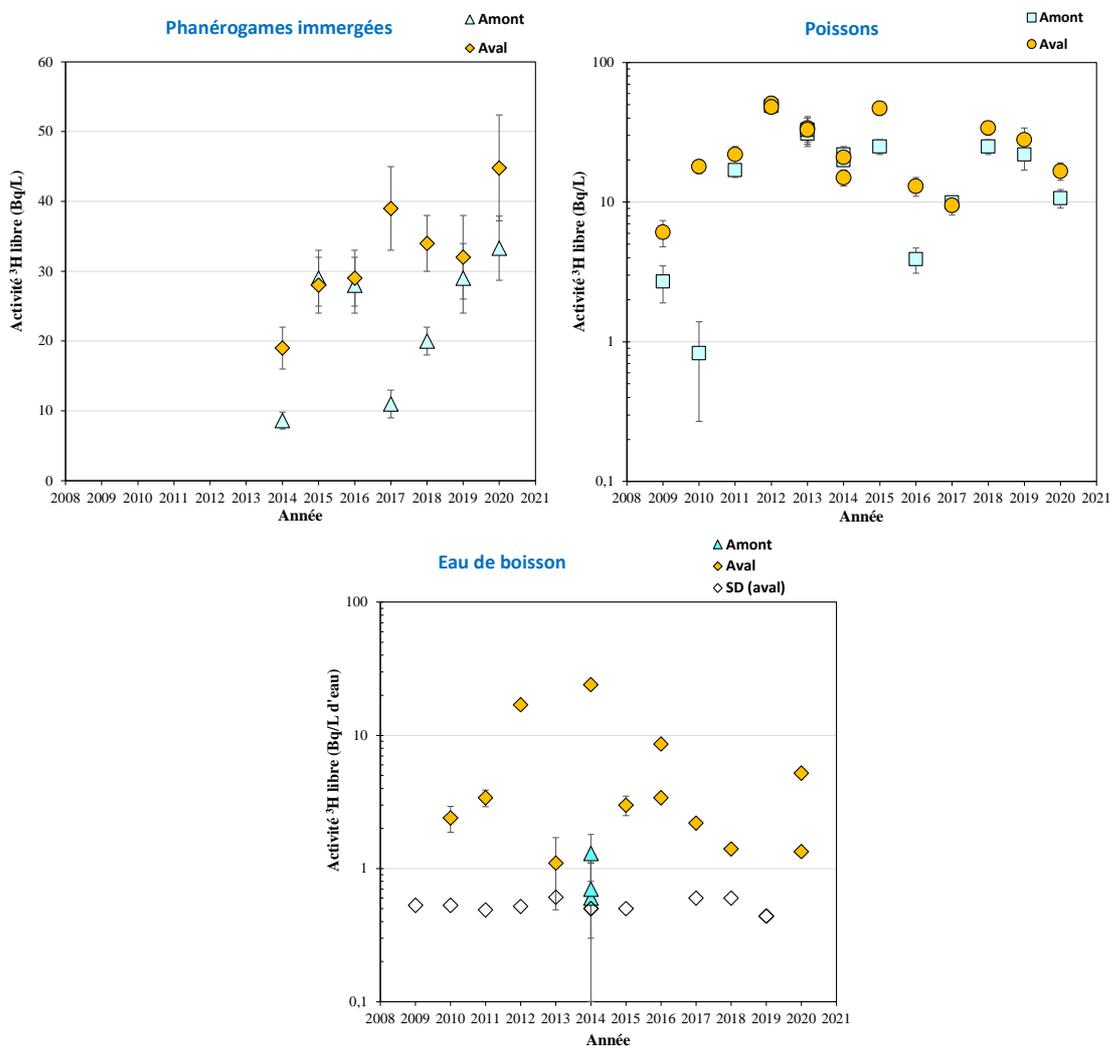


Figure 7-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

Dans l'eau de boisson de Muides-sur-Loire et l'eau d'irrigation, les activités volumiques du ^3H libre sont proches de 1 Bq.L^{-1} . Elles sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle [6]. L'activité est proche de 5 Bq.L^{-1} dans l'eau de boisson de Blois. Depuis 2005, la présence de ^3H libre est régulièrement mise en évidence dans cette eau à des niveaux d'activité qui fluctuent entre le seuil de décision analytique et la vingtaine de Bq.L^{-1} en fonction de la concomitance du prélèvement avec une période de rejet ou non. Ce marquage temporaire en tritium libre est lié aux rejets d'effluents liquides tritiés du 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 2020, les activités du ^3H organiquement lié les phanérogames immergées (myriophylles) et les poissons varient de $11,8$ à $23,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion (Tableau 7-28, page 206). Les activités mesurées à l'amont (myriophylles et poissons) montrent le marquage du milieu aquatique par les rejets de tritium des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés en amont sur la Loire. En revanche, l'augmentation de l'activité observée dans les poissons pêchés à l'aval est liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogames, le marquage constaté à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. pour ce radionucléide.

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

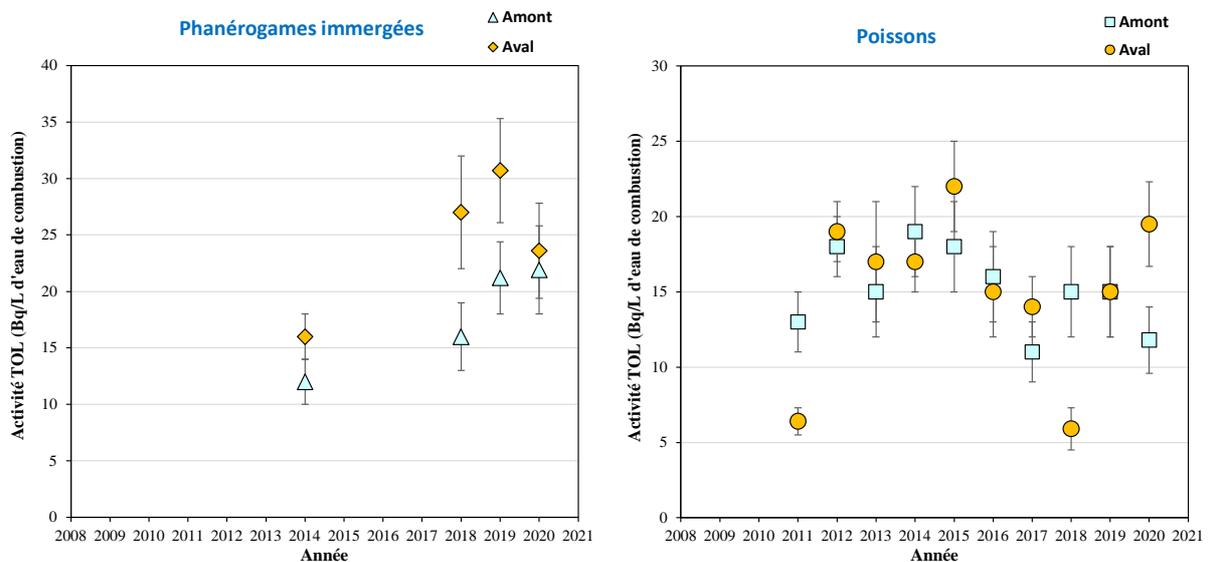


Figure 7-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

7.3.2.2.2. Carbone 14

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

Ces observations sont cohérentes avec les données des années antérieures.

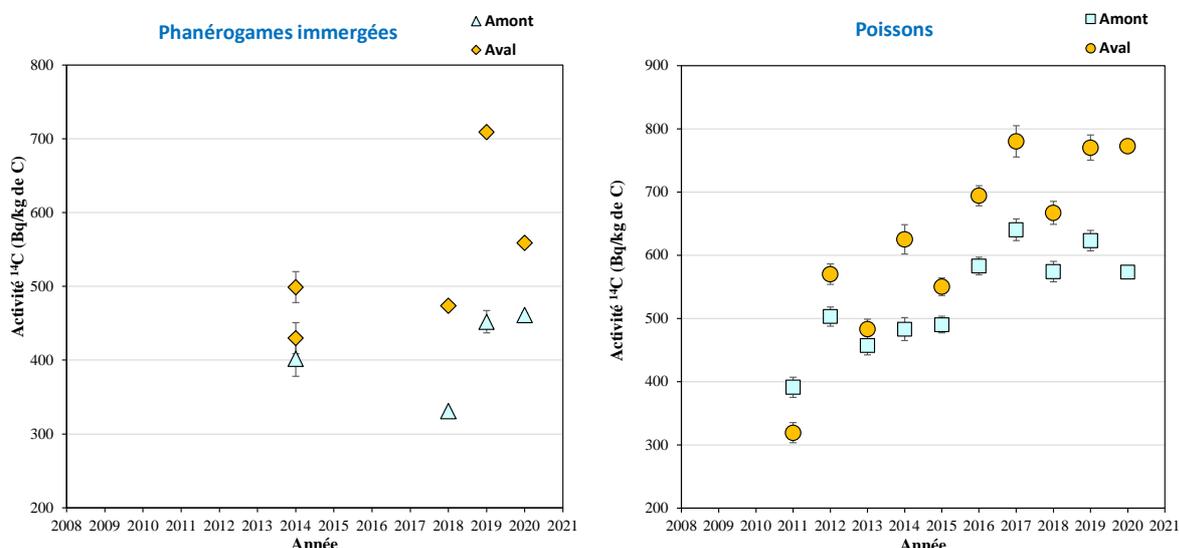


Figure 7-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Saint-Laurent-des-Eaux de 2009 à 2020.

7.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

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

7.3.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

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

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

Le suivi radioécologique établi en 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Saint-Laurent-des-Eaux.

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

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Seules, les activités détectées dans les myriophylles montrent l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. pour ce radionucléide. En 2020, la présence de ^{137}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 et de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ à l'amont et/ou à l'aval de l'installation. Ces observations montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire situés à l'amont et, d'autre part, la contribution spécifique de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. En 2020, les analyses de ^3H libre et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons et de ^3H organiquement lié dans les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly situés en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux. Dans les phanérogames, le marquage en ^3H organiquement lié observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux pour ce radionucléide.



LISTE DES FIGURES

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



LISTE DES TABLEAUX

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

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

Tableau 7-3. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie 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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	mai/oct. 2011	avril 2012	avril 2013	avril/juil. 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	1,7 et 7,6 km	1,7 et 7,6 km	1,7 et 7,6 km	1,7 à 27 km	7,6 km	7,6 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,6-3,7 (2/2)	2,7-6,4 (2/2)	2,5-3,9 (2/2)	2,1-7,7 (10/10)	3,6 (1/1)	2,9 (1/1)	2,6 (1/1)	2,2 (1/1)	2,07 (1/1)	2,19 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril/oct. 2014		juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	8,2 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 et 9,1 km	1,9 km	1 km	1 km
Nature	mousse	mousse	mousse	mousse	champignon	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse	mousse
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,7-2,4 (2/2)	1,5-2,0 (2/2)	1,8 (1/2)	1,2-4,0 (2/2)	38 (1/1)	1,3-2,3 (2/2)	2,1 (1/2)	1,9-2,9 (2/2)	2 (1/1)	-	2,28 (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

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

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																
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)
^3H libre	n.a.	1,3 (1/1)	n.a.														
^3H organiquement lié	n.a.	-	n.a.														

Année de prélèvement	avril 2019	juil. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	juil. 2020	oct. 2020	janv. 2021
Distance par rapport au site	1,7 km							
Emetteurs β								
^{14}C	223 (1/1)	228 (1/1)	225 (1/1)	223 (1/1)	230 (1/1)	228 (1/1)	227 (1/1)	228 (1/1)
^3H libre	n.a.							
^3H organiquement lié	n.a.							

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

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

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

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

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

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avr 2018	mai 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 et 27 km	7,6 km	7,6 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km	1,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	0,12 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,12 (1/1)	-	-	0,072 (1/2)	0,078 (1/1)	0,11 (1/1)	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	238 (1/1)	300 (1/1)	244 (1/1)	230-231 (2/2)	231 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/2)	-	-	1,9 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)	2,40 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	4,4 (1/1)	n.a.	0,77 (1/1)	1,24 (1/1)

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

Tableau 7-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ et ^3H : Bq.L $^{-1}$; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril 2018	mai 2019	oct. 2020
Distance par rapport au site	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 et 27,0 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km	7,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,015 (1/1)	0,017 (1/1)	0,012 (1/1)	0,023 (1/2)	0,013 (1/1)	0,015 (1/1)	0,0088 (1/1)	0,0150 (1/1)	0,0155 (1/1)	0,0200 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	-	-	-	234-240 (2/2)	-	-	-	231 (1/1)	229,0 (1/1)	226,0 (1/1)
^3H libre	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,7 (1/1)	-	-	0,64 (1/1)
^3H organiquement lié	-	-	-	1,5 (1/1)	-	-	-	3,8 (1/1)	-	-

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

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

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	juil. 2017	oct. 2017	janv. 2018
Distance par rapport au site	1,7 km											
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)



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

							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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	08/10/20	Frais	609 ± 93	30,7 ± 6,0	< 16	n.a.	354 ± 56	477 ± 56	
Mer	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	22/10/20	Cendres	920 ± 130	2,18 ± 0,47	< 1,1	n.a.	14,3 ± 2,7	104 ± 12	
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	09/11/20	Sec	870 ± 130	68,7 ± 8,9	n.a.	67 ± 22	n.a.	< 2,2	
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	13/11/20	Cendres	270 ± 39	1,47 ± 0,24	< 0,60	n.a.	43,0 ± 6,2	292 ± 33	
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	05/01/21	Cendres	45,9 ± 6,6	< 0,030	< 0,073	n.a.	< 0,11	< 0,15	

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

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

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
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	08/10/20	Frais	< 1,3	2,28 ± 0,77	< 0,94	< 1,2	< 1,3	< 1,1	< 1,2
Mer	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	22/10/20	Cendres	< 0,082	< 0,078	< 0,092	< 0,10	< 0,094	< 0,085	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	09/11/20	Sec	< 0,18	2,19 ± 0,27	< 0,22	< 0,17	< 0,22	< 0,22	n.a.
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	13/11/20	Cendres	< 0,031	< 0,030	< 0,040	< 0,036	< 0,038	< 0,032	n.a.
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	05/01/21	Cendres	< 0,0080	0,0200 ± 0,0044	< 0,018	< 0,0095	< 0,011	< 0,0091	n.a.

« n.a. » : non analysé. Les activités sont présentées \pm 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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	03/12/20	sec	< 7,0

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	³ H libre	
							Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Mer	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	14/01/21	Eau de lyophilisation	< 0,47	< 0,41
Station AS1	Pâtûre, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	15/01/21	Eau de lyophilisation	2,40 ± 0,62	1,20 ± 0,31
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	07/12/20	Eau de lyophilisation	0,64 ± 0,57	0,55 ± 0,49

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

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	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
Mer	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	13/02/21	Lyophilisée	< 0,60	< 0,046	< 0,39
Station AS1	Pâtûre, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/10/20	07/02/21	Lyophilisée	1,24 ± 0,63	0,35 ± 0,18	0,76 ± 0,39
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	04/02/21	Lyophilisée	< 0,69	< 0,060	< 0,54

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

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	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	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	07/10/20	30/07/21	Lyophilisé	229,5 ± 1,2	12,597 ± 0,066	55	-30,01	103
Muides-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	07/10/20	27/02/21	Lyophilisé	226,0 ± 8,0	13,48 ± 0,48	60	-20,30	99

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr/Ca	Ca
							Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.g ⁻¹ Ca	g.kg ⁻¹ sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	26/03/21	Cendres	1,97 ± 0,47	0,201 ± 0,048	9,8
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	26/03/21	Calciné	0,87 ± 0,25	0,295 ± 0,084	3,0

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

Tableau 7-16. Activité du ⁹⁰Sr des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁵⁵ Fe
							Bq.kg ⁻¹ sec
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	09/03/21	Cendres	< 5,6
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	10/03/21	Calciné	< 4,5

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

Tableau 7-17. Activité du ⁵⁵Fe des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux - Suivi annuel 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α			Rapports	
					mBq.kg ⁻¹ sec							
					²³⁸ Pu ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am		²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
La Ferté Saint-Cyr	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	10/12/20	04/12/20	Cendres	< 0,13	11,2 ± 5,6	4,2 ± 3,7	-	0,4 ± 0,2
Courbouzon	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	07/10/20	10/12/20	04/12/20	Cendres	4,8 ± 3,5	29,1 ± 8,7	6,8 ± 3,3	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,2
Cheverny	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	06/10/20	21/12/20	12/01/21	Cendres	7,0 ± 2,6	283 ± 28	88 ± 23	0,02 ± 0,01	0,3 ± 0,1
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	07/10/20	21/12/20	12/01/21	Cendres	1,6 ± 1,5	87,5 ± 12,6	24 ± 11	0,02 ± 0,02	0,3 ± 0,2

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

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

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Station AS1	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	07/10/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	13,40
				Limons fins	12,36
				Limons grossiers	11,31
				Sables fins	40,10
				Sables grossiers	22,83
Teneur en matières organiques	3,90				

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



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

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril, juil. et août 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	avril/juil. 2018	mai 2019	oct./nov. 2020
Distance par rapport au site	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 52,1 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	7,1 et 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km	2,0 à 23,3 km
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.
^{137}Cs	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.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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.
Emetteurs β										
^3H libre	3,4 (1/2)	17 (1/2)	1,1 (1/2)	0,56-24 (4/7)	3 (1/2)	3,4-8,6 (2/2)	2,2 (1/2)	0,8-1,4 (2/3)	1,10-28,9 (3/5)	0,83-5,2 (3/5)

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

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

Année de prélèvement	juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	0,75 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19 (1/1)	0,17 (1/2)	-	-	-	-
^{137}Cs	9,6 (1/1)	6,8-10 (3/3)	8 (1/1)	7,4-8,3 (3/3)	6,6 (1/1)	5,5-6,6 (3/3)	6,9 (1/1)	6,7-8,4 (2/2)	6,7 (1/1)	5,1-5,7 (2/2)	2,3 (1/1)	5,5-6,2 (2/2)	4,5 (1/1)	4,4-5,4 (2/2)	4,7 (1/1)	3,8-5,5 (2/2)	4,56 (1/1)	3,09-4,51 (2/2)	4,31 (1/1)	3,07-4,05 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,13 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,28 (1/1)	0,31-0,42 (2/3)	0,31 (1/1)	0,31 (1/3)	0,79 (1/1)	0,42-0,45 (2/3)	0,36 (1/1)	0,37 (2/2)	1,5 (1/1)	0,42-2 (2/2)	1,1 (1/1)	0,77 (1/2)	0,73 (1/1)	0,72 (1/2)	0,62 (1/1)	0,47 (1/2)	0,71 (1/1)	0,30-2,74 (2/2)	1,05 (1/1)	0,69 (2/2)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	0,37 (1/1)	0,36 (1/2)	-	0,35 (1/2)	-	0,29 (1/2)	-	-	0,32 (1/1)	-	-	1,51 (1/2)	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	344 (1/1)	350-366 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	293,0 (1/1)	422,2 (1/1)	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (1/1)	0,7-1,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,31 (1/1)	15,4 (1/1)	n.a.	n.a.

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

Tableau 7-22. Activités des principaux radionucléides détectés par spectrométrie γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les végétaux aquatiques prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ sec ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement	mai/sept. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept./oct. 2014		juil./sept. 2015		sept.2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
	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	0,28-0,71 (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)	0,114 (1/1)	0,296-0,405 (2/2)
^{58}Co	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)	0,270 (1/1)	0,181 (1/2)
^{60}Co	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)	0,18 (1/1)	0,121-2,14 (2/2)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	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)	-	0,366 (1/2)
^{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	1,4 (1/1)	-	4,3 (1/1)	-	2,9 (1/1)	-	-	-	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)	-	-	-	2,3 (1/1)	6,9 (1/1)	4,9 (1/1)	-	-	4,2 (1/1)	3,21 (1/1)
Emetteurs β																				
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	402 (1/1)	430-499 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	331 (1/1)	474 (1/1)	452 (1/1)	709,2 (1/1)	461,4 (1/1)	559,0 (1/1)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6 (1/1)	19-23 (2/2)	29 (1/1)	28 (1/1)	28 (1/1)	29 (1/1)	11 (1/1)	39 (1/1)	20 (1/1)	34 (1/1)	28,9 (1/1)	31,7 (1/1)	33,3 (1/1)	44,8 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	12 (1/1)	15-16 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	16 (1/1)	27 (1/1)	21,2 (1/1)	30,7 (1/1)	21,9 (1/1)	23,6 (1/1)

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

Tableau 7-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

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

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

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

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	23/09/20	21/12/20	Sec	577 ± 83	70,4 ± 9,2	n.a.	49 ± 30	n.a.	190 ± 71	
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	06/01/21	Sec	666 ± 96	61,2 ± 8,0	n.a.	54 ± 27	n.a.	27,7 ± 4,6	
Ménars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	06/01/21	Sec	596 ± 86	68,6 ± 8,9	n.a.	68 ± 33	n.a.	71 ± 12	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	23/10/20	Cendres	345 ± 50	16,8 ± 2,2	12,0 ± 2,5	n.a.	21,0 ± 3,6	84,6 ± 9,6	
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	30/11/20	Cendres	385 ± 55	18,9 ± 2,5	14,1 ± 2,2	n.a.	25,8 ± 4,3	68,1 ± 7,9	
Ménars Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	03/11/20	Cendres	378 ± 54	11,1 ± 1,5	8,3 ± 2,1	n.a.	15,2 ± 2,9	30,0 ± 3,6	
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	15/01/21	Cendres	102 ± 15	< 0,050	< 0,12	n.a.	< 0,17	< 0,30	
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	18/01/21	Cendres	100 ± 14	< 0,061	< 0,15	n.a.	< 0,21	< 0,38	

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

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

			Emetteurs γ d'origine artificielle										
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Tavers Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	21/12/20	Sec	< 0,27	4,31 ± 0,52	< 0,53	1,05 ± 0,32	< 0,36	< 0,32	n.a.
Pont de Muides Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	06/01/21	Sec	< 0,25	3,07 ± 0,38	< 0,56	0,69 ± 0,27	< 0,35	< 0,30	n.a.
Ménars Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/09/20	06/01/21	Sec	< 0,30	4,05 ± 0,50	< 0,68	0,69 ± 0,32	< 0,42	< 0,39	n.a.
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	23/10/20	Cendres	< 0,110	0,114 ± 0,037	0,270 ± 0,064	0,18 ± 0,11	< 0,083	< 0,10	n.a.
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	24/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,2 ± 1,2
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	30/11/20	Cendres	< 0,078	0,405 ± 0,058	0,181 ± 0,053	2,14 ± 0,32	0,366 ± 0,060	< 0,10	n.a.
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	25/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,21 ± 0,92
Ménars Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	03/11/20	Cendres	< 0,080	0,296 ± 0,050	< 0,10	0,121 ± 0,089	< 0,087	< 0,084	n.a.
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	15/01/21	Cendres	< 0,014	0,044 ± 0,014	< 0,310	< 0,017	< 0,019	< 0,015	n.a.
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	18/01/21	Cendres	< 0,017	0,032 ± 0,016	< 0,038	< 0,020	< 0,024	< 0,018	n.a.

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

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

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

Amont		Aval						³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais	
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	08/12/20	Eau de lyophilisation	33,3 ± 4,6	28,2 ± 3,9	
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	28/10/20	Eau de lyophilisation	44,8 ± 7,6	36,9 ± 6,3	
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	13/01/21	Eau de lyophilisation	10,7 ± 1,6	7,5 ± 1,1	
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	12/01/21	Eau de lyophilisation	16,7 ± 2,4	12,2 ± 1,8	
Muides-sur-Loire	Eau	Eau de boisson	Entier	07/10/20	15/11/20	Entier	1,34 ± 0,59	-	
Blois	Eau	Eau de boisson	Entier	06/10/20	16/10/20	Entier	5,2 ± 1,3	-	
Courbouzon	Eau	Eau d'irrigation	Entier	04/11/20	13/11/20	Entier	0,83 ± 0,53	-	

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

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

Amont	Aval
-------	------

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
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	05/01/21	Eau de combustion	21,9 ± 3,9	1,46 ± 0,33	12,4 ± 2,8
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	06/01/21	Eau de combustion	23,6 ± 4,2	1,89 ± 0,43	15,4 ± 3,5
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	11/02/21	Eau de combustion	11,8 ± 2,2	2,39 ± 0,52	8,4 ± 1,8
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	17/02/21	Eau de combustion	19,5 ± 2,8	3,61 ± 0,65	14,2 ± 2,6

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

Tableau 7-28. Activités du tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont	Aval
-------	------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot g.kg ⁻¹ frais	¹³ C/ ¹² C ‰	PMC %
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais			
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	08/06/21	Lyophilisé	461,4 ± 2,7	26,02 ± 0,15	56	-24,38	194
Pont de Muides Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	08/06/21	Lyophilisé	559,0 ± 3,4	31,66 ± 0,19	57	-20,39	235
Tavers Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	08/10/20	30/07/21	Lyophilisé	573,2 ± 2,7	100,30 ± 0,47	175	-27,60	241
Pont de Muides Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	09/10/20	30/07/21	Lyophilisé	772,2 ± 3,5	118,89 ± 0,54	154	-26,14	325

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

Amont	Aval
-------	------

							⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	04/04/21	Cendres	< 0,54
Pont de Muides Rive gauche							< 0,60

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

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

Amont	Aval
-------	------

							⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	12/03/21	Cendres	< 0,15
Pont de Muides Rive gauche							< 0,28

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

Tableau 7-31. Activités du ⁵⁵Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux – Suivi annuel 2020.

Amont	Aval
-------	------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α			Rapports	
					238Pu 239+240Pu	241Am		Activité mBq.kg ⁻¹ sec (sols, végétaux)			Rapports	
								238Pu	239+240Pu	241Am	238Pu/239+240Pu	241Am/239+240Pu
Beaugency Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	23/09/20	19/01/21	04/01/21	Cendres	< 1,1	13,1 ± 0,71	< 0,84	-	-
Pont de Muides Rive gauche					04/01/21	04/01/21		Cendres	< 1,8	16,5 ± 5,6	3,7 ± 2,4	-

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

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

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

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

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

Bibliographie

- [1] Electricité de France. Site internet : <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-saint-laurent-des-eaux/presentation>.
- [2] EDF. Rapport sur la sûreté nucléaire et la radioprotection des installations nucléaires de Saint-Laurent-des-Eaux. 2011.
- [3] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Saint-Laurent, au service d'une production d'électricité sûre, compétitive et sans CO₂, au cœur de la région Centre. Février 2011.
- [4] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.
- [5] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEI/2011-01. Février 2012.
- [6] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [7] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>.
- [8] IRSN : Fiche radionucléide – Strontium 90 et environnement. <https://www.irsn.fr/Strontium90.pdf>.
- [9] IRSN : Fiche radionucléide – Plutonium et environnement. http://www.irsn.fr/Plutonium_Pu239_v2.pdf.

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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

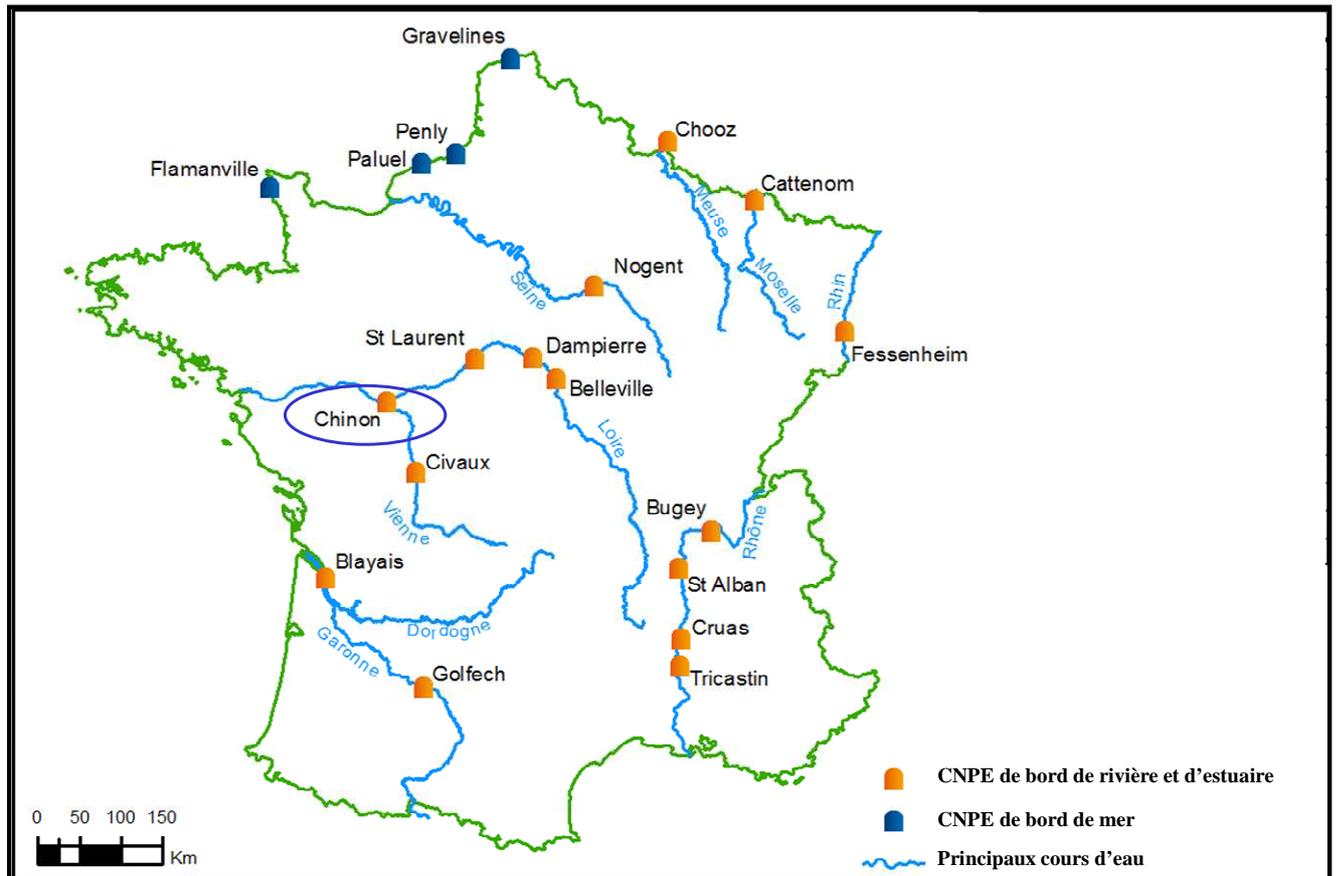
Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux



C.N.P.E. de 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	233
8.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma	233
8.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta	237
8.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine	240



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 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Chinon-Avoine.

En 2020, 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 activités du ^3H (libre et organiquement lié) mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant à l'exception de l'activité du ^3H organiquement lié mesurée dans les salades prélevées sous les vents dominants qui témoigne d'un léger marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Les analyses de ^{14}C réalisées en 2020 sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

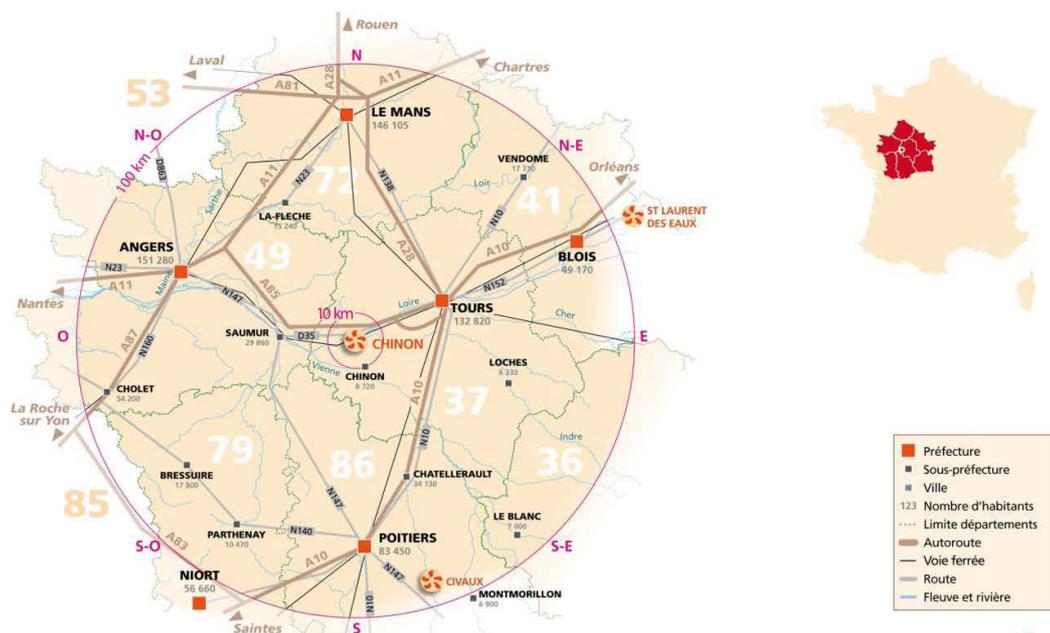
Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent en 2020 à l'amont et à l'aval dans tous les échantillons (sédiments, végétaux et poissons) à des niveaux d'activités équivalents aux incertitudes de mesure près entre l'amont et l'aval pour une matrice donnée. En 2020, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. La détection de traces de ^{60}Co à l'amont montre l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire. Ces détections en amont masquent l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine à l'apport de ce radionucléide dans le milieu aquatique. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine est en revanche mise en évidence par la détection de traces de ^{58}Co , d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn uniquement à l'aval de l'installation. En 2020, les analyses de ^3H libre dans les poissons, de ^3H organiquement lié et de ^{14}C dans les phanérogame et les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Dans les phanérogame, le marquage en ^3H libre observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine pour ce radionucléide.



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.

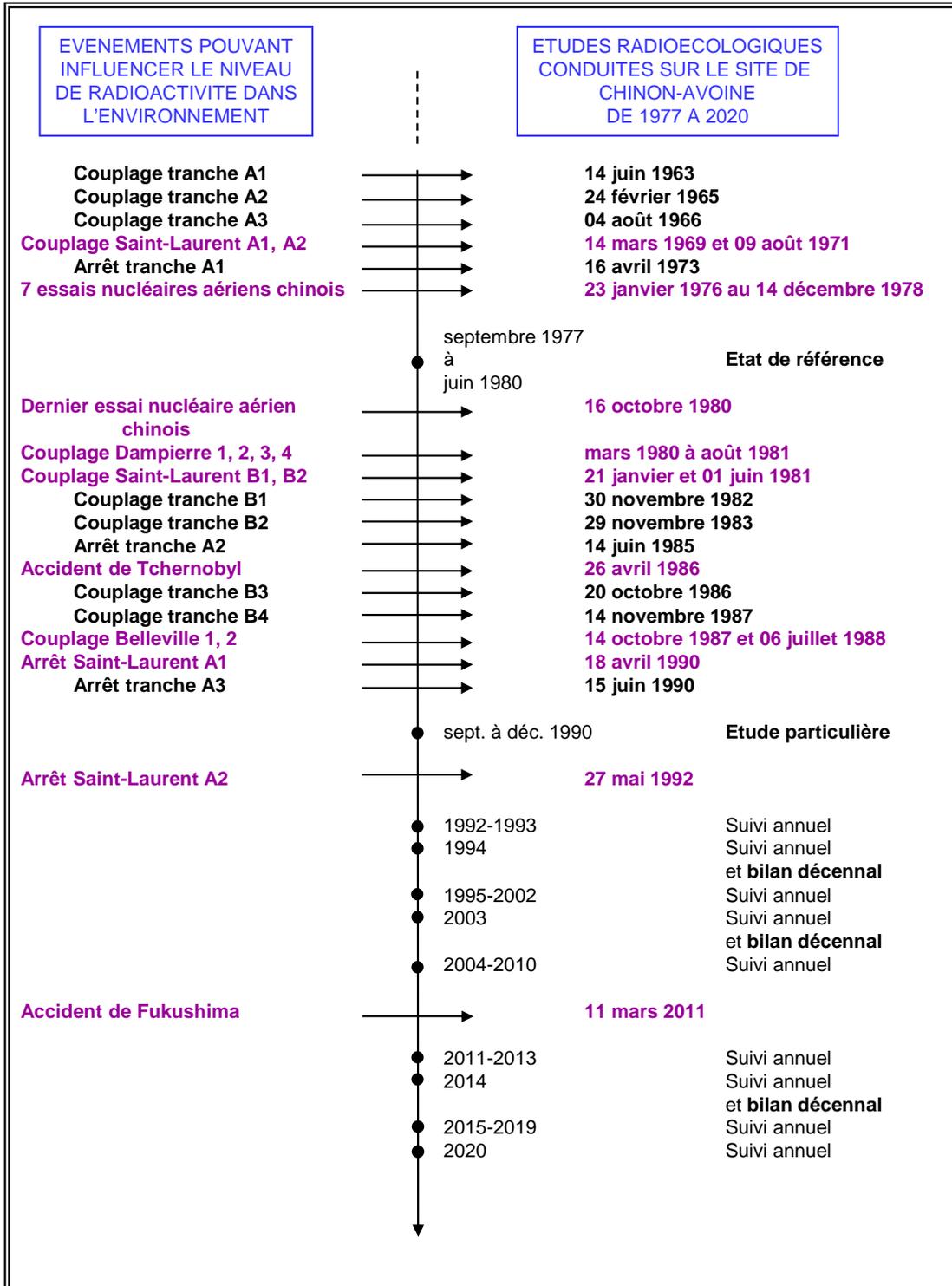


Figure 8-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

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 2020.

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

D'après la rose des vents, présentée sur la Figure 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 2020, 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.

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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	29/09/20	Spectrométrie α	2,37	11,00
Huismes	6,6 km E	47,23889	0,25611	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie α Strontium 90 Fer 55	2,61	7,78
Allonnes	12,2 km NO	47,26972	0,02028	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	Spectrométrie γ	27,09	2,89
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	19,17	-
Saint-Patrice	12,3 km ENE	47,28222	0,31250	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	Spectrométrie γ	26,23	4,45
Cravant	11,3 km SE	47,16250	0,28972	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	29/09/20	Spectrométrie α	1,27	1,17
								Spectrométrie γ Strontium 90 Fer 55 Spectrométrie α Granulométrie, TMO	1,28	1,09
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	28/09/20	Spectrométrie γ Strontium 90 Fer 55 Spectrométrie α Granulométrie, TMO	1,28	1,09
La Chapelle-sur-Loire	1,5 km NE	47,23917	0,17972	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	28/09/20	Spectrométrie γ	3,28	10,46
Musoir	1,0 km	47,23294	0,18042	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/20	Tritium libre Tritium organiquement lié	2,31	-
Chouzé-sur-Loire	4,9 km NO	47,25583	0,12000	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,69	16,42

Tableau 8-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

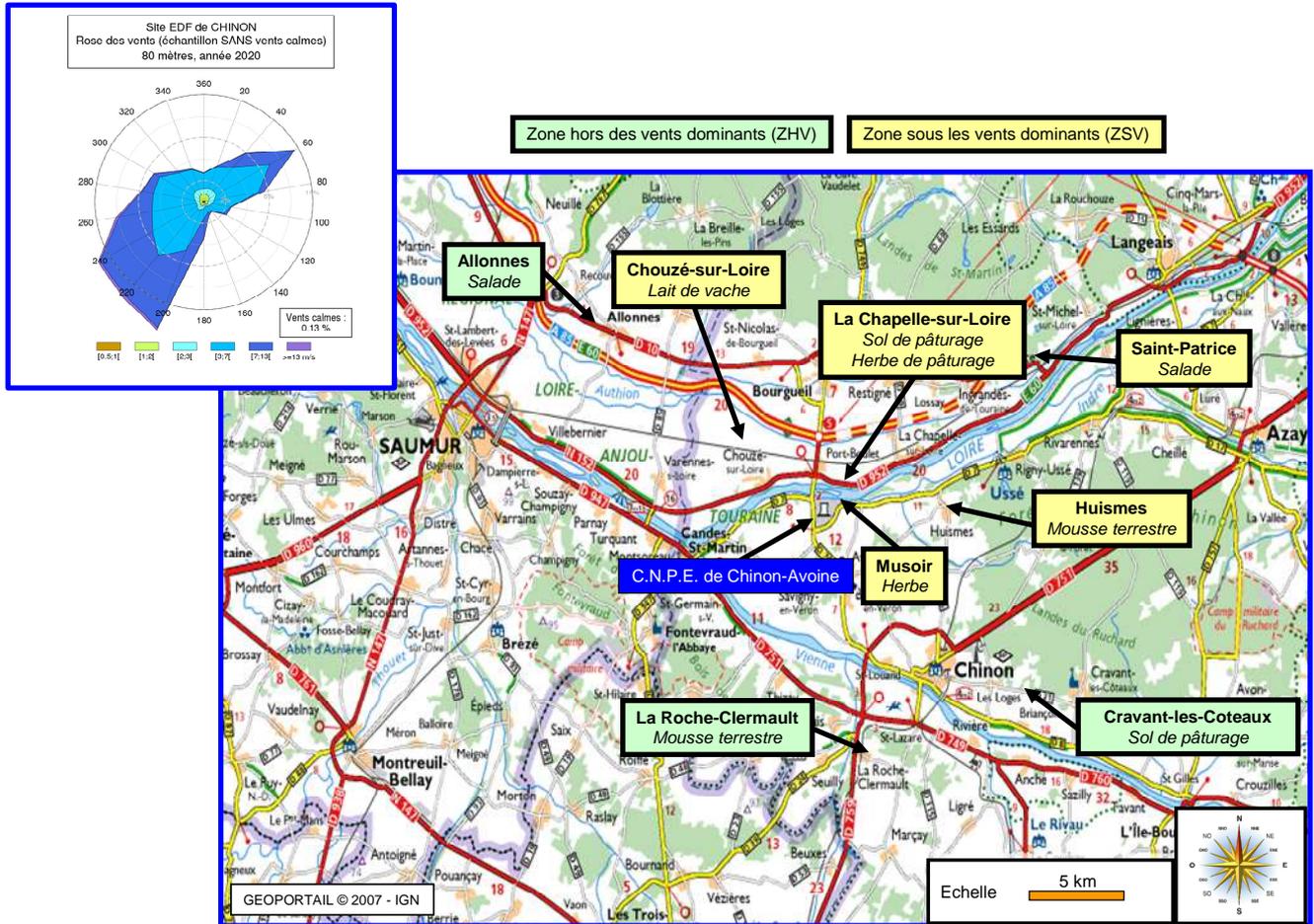


Figure 8-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

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 2020, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis 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 ^{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 Bq.L^{-1}) quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement.

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

8.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2020, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de traces de ^{137}Cs dans tous les compartiments du milieu terrestre (Tableau 8-11, page 254). Il a été mesuré dans cinq des 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 2020 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 2020, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de 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 de ^{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 de ^{241}Am dans un sol de pâturage et un sol forestier en 2014.

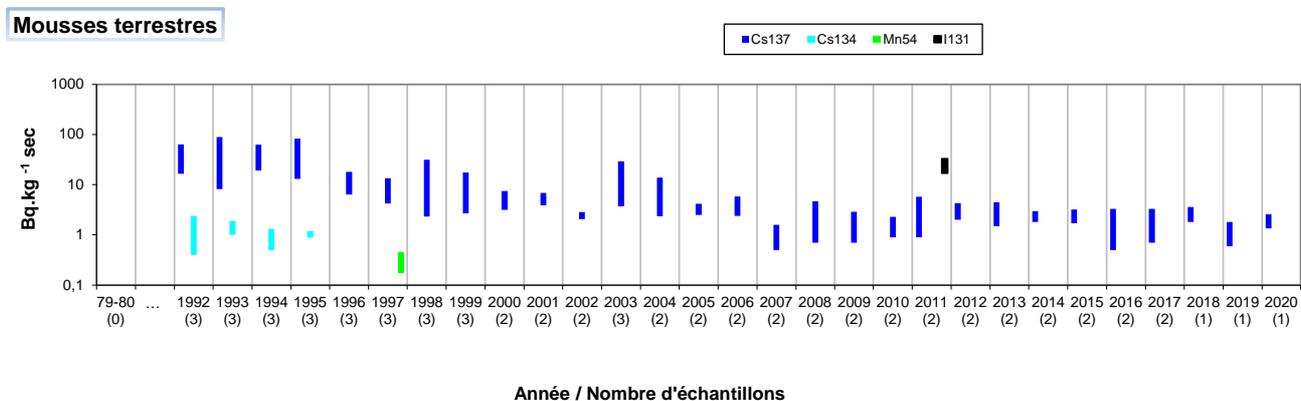
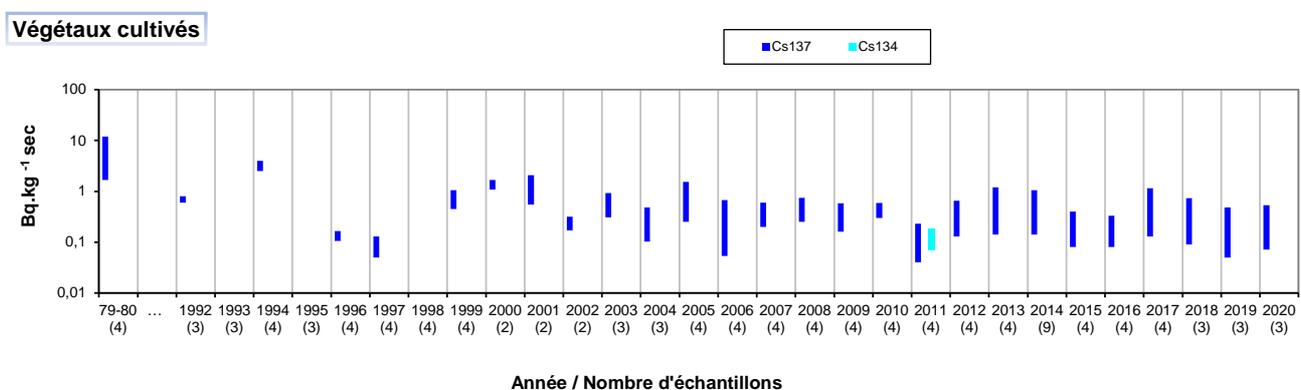
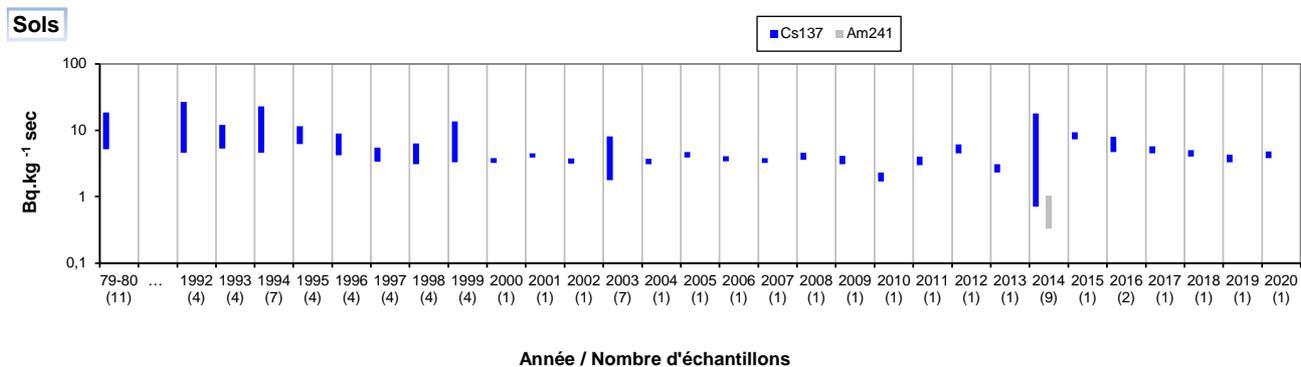


Figure 8-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1979/1980 au suivi radioécologique de 2020.
 (*) 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 8-13 et Tableau 8-14 (page 255). En 2020, les activités en ^3H libre mesurées dans les salades prélevées à Saint-Patrice (ZSV) et le lait de vache sont inférieures aux seuils de décision. Les activités mesurées dans les salades prélevées hors des vents dominants et l'herbe sont proches aux incertitudes de mesure près du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [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 ce radionucléide. Le ^3H organiquement lié est détecté dans tous les échantillons analysés (salades, herbe et lait). Les activités sont proches de 1 Bq.L^{-1} à l'exception de celle mesurée dans les salades prélevées sous les vents dominants ($4,2 \pm 1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion). Cette activité est probablement liée aux rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

Ces observations sont cohérentes avec les mesures de ^3H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures à l'exception de l'activité du ^3H libre mesurée dans les salades prélevées sous les vents dominants lors du suivi radioécologique de 2017.

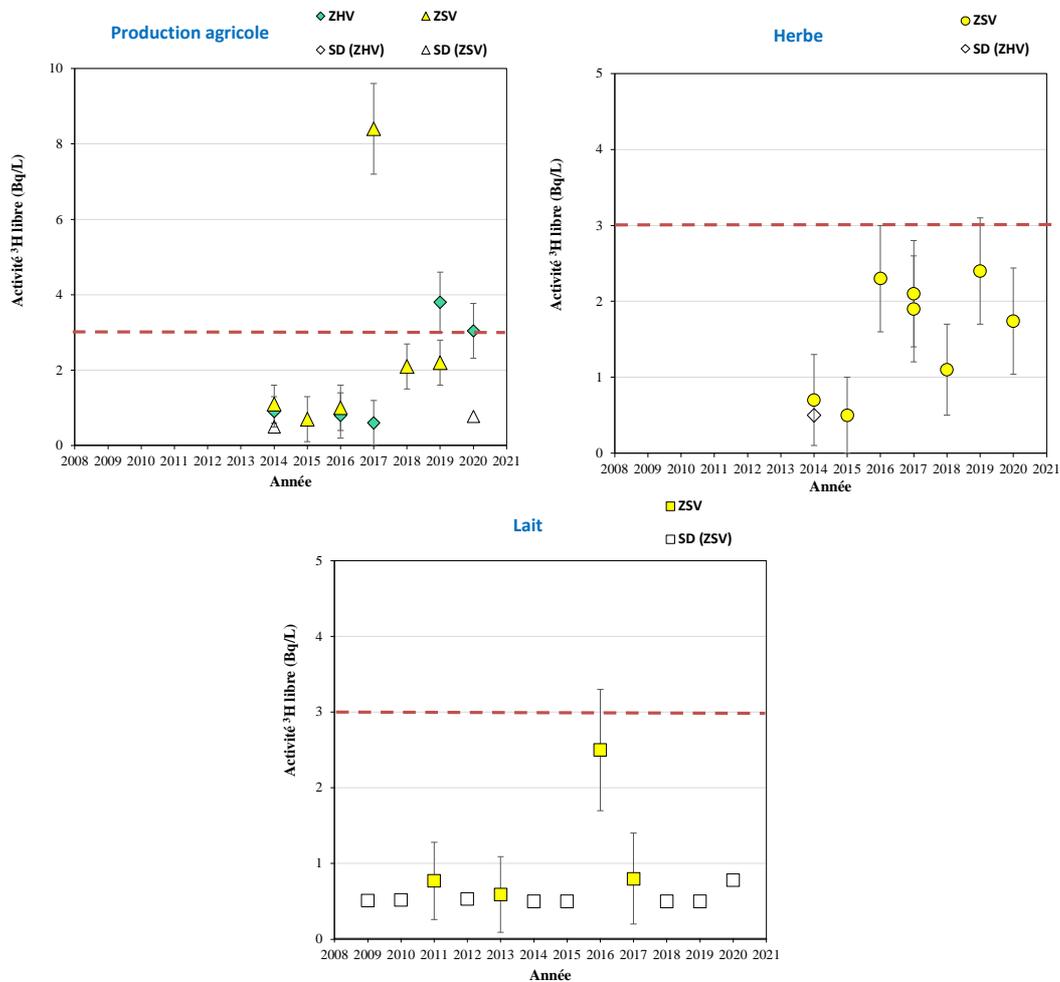


Figure 8-4. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].

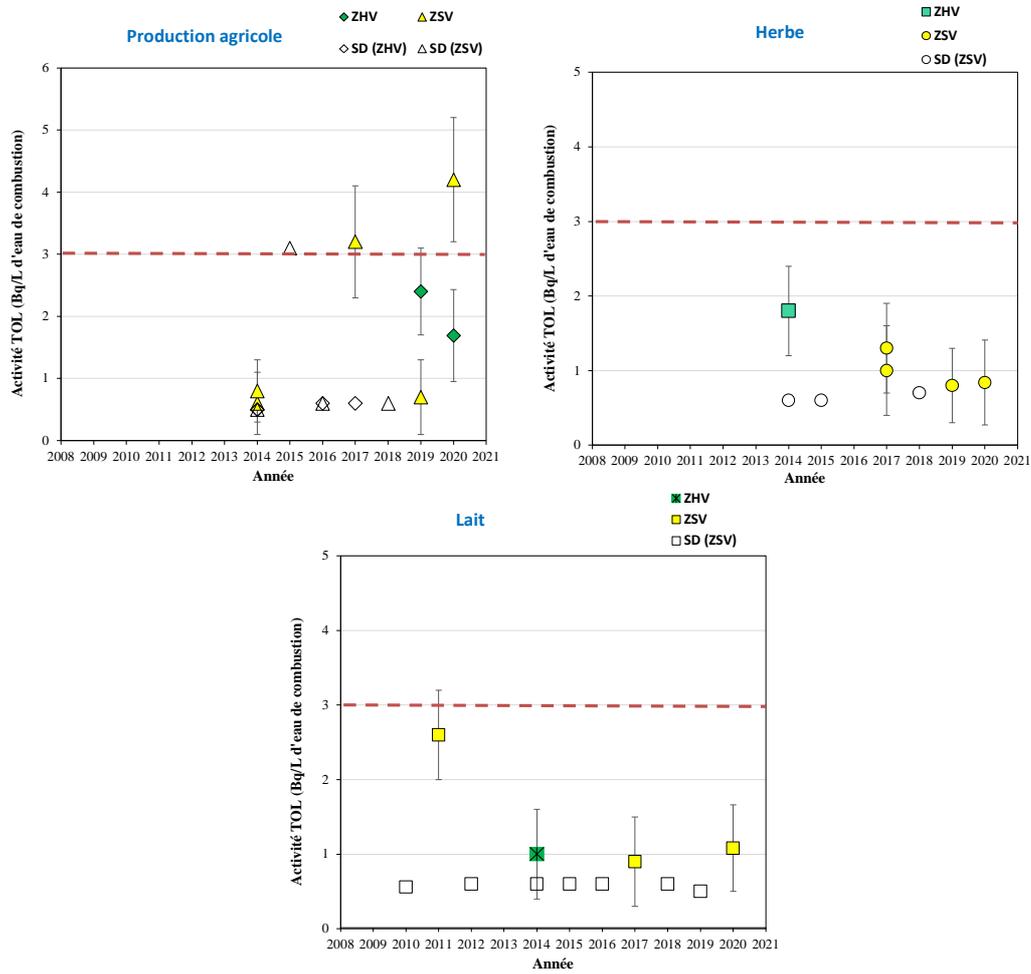


Figure 8-5. Activités en tritium organiquement lié détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 Bq.L⁻¹) [3,5].

8.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 8-15 (page 256). 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 2020 [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 2020.

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.

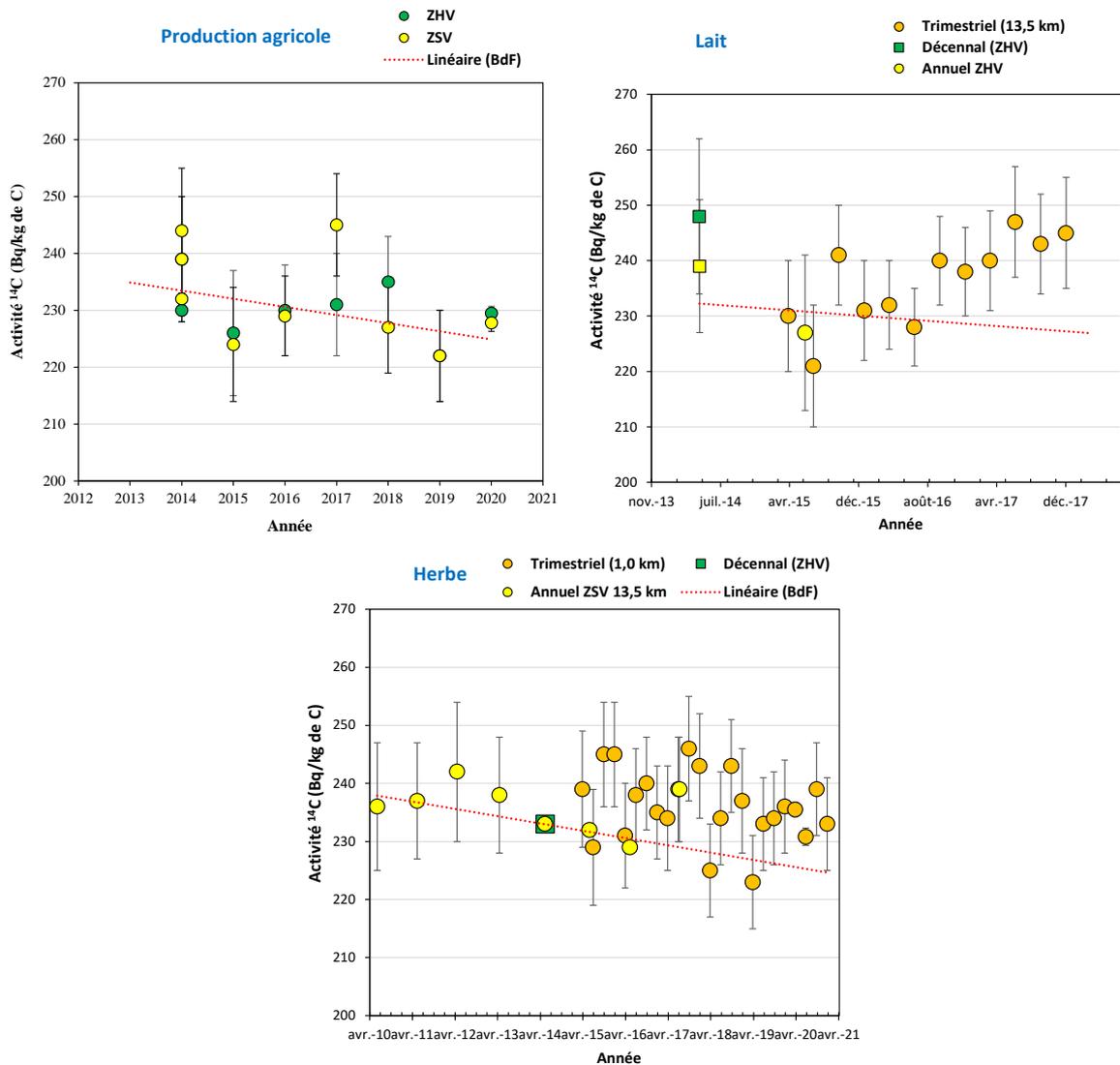


Figure 8-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2020.

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

8.2.2.2.3. *Strontium 90*

En 2020, les résultats d'analyse du ^{90}Sr dans la mousse terrestre ($1,75 \pm 0,39 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et le sol de pâturage ($0,337 \pm 0,093 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) prélevés sous les vents dominants montrent des activités cohérentes avec les niveaux observés habituellement en lien avec les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens (Tableau 8-16, page 256) [7].

8.2.2.2.4. *Fer 55*

Les résultats de ^{55}Fe sont inférieurs aux seuils de décision dans la mousse terrestre ($< 1,2 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et le sol ($< 6,6 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) (Tableau 8-17, page 256).

8.2.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

Le ^{238}Pu , le $^{239+240}\text{Pu}$ et l' ^{241}Am sont systématiquement détectés dans les mousses terrestres et les sols (Tableau 8-18, page 257). Les rapports d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, lorsqu'ils sont calculables, permettent de préciser l'origine de ces éléments, avec des rapports isotopiques respectifs de l'ordre de 0,03-0,08 et d'environ 0,4-0,5 pour les retombées des essais aériens nucléaires et supérieur à 1 pour les rejets d'effluents industriels (retraitement du combustible) [8]. Les rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ déterminés en 2020 dans les prélèvements de sols et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les mousses sont caractéristiques aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des bilans décennaux de 1994, 2003 et 2014. Compte tenu des incertitudes élevées des activités du ^{238}Pu , les rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ calculés dans les échantillons de mousses ne sont pas exploitables.

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 2020.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Les prélèvements ont lieu en amont, en aval proche de l'ouvrage de rejet et en aval lointain, 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.

Deux prélèvements d'eaux sont réalisés sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. 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 2020, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Chouzé-sur-Loire.

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

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Bréhémont Rive gauche	15,6 km amont	47,29528	0,35167	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,42	-
Bertignolles Rive gauche	5,1 km aval	47,22111	0,10278	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,92	-
Port de Varennes Rive droite	9,9 km aval lointain	47,23083	0,03917	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,69	-
Bréhémont Rive gauche	15,6 km amont	47,29528	0,35167	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	24/09/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	10,28	3,49
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,10	-
Bertignolles Rive gauche	5,1 km aval	47,22111	0,10278	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	24/09/20	Spectrométrie γ en frais (lode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	9,17	2,59
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,80	-
Port de Varennes Rive droite	9,9 km aval lointain	47,23083	0,03917	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Parties aériennes	24/09/20	Spectrométrie γ	11,46	3,20
L'île Saint-Martin Rives gauche et droite	10 km amont	47,26000	0,27444	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,44	19,65
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	3 km aval	47,23611	0,12722	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,33	19,75
Saumur, Station du Petit-Puy	16 km aval	47,25000	0,05278	Eau	Eau de boisson	Entier	29/09/20	Tritium libre	-	-
Chouzé-sur-Loire	5,8 km aval	47,24778	0,09897	Eau	Eau d'irrigation	Entier	28/09/20	Tritium libre	-	-

Tableau 8-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

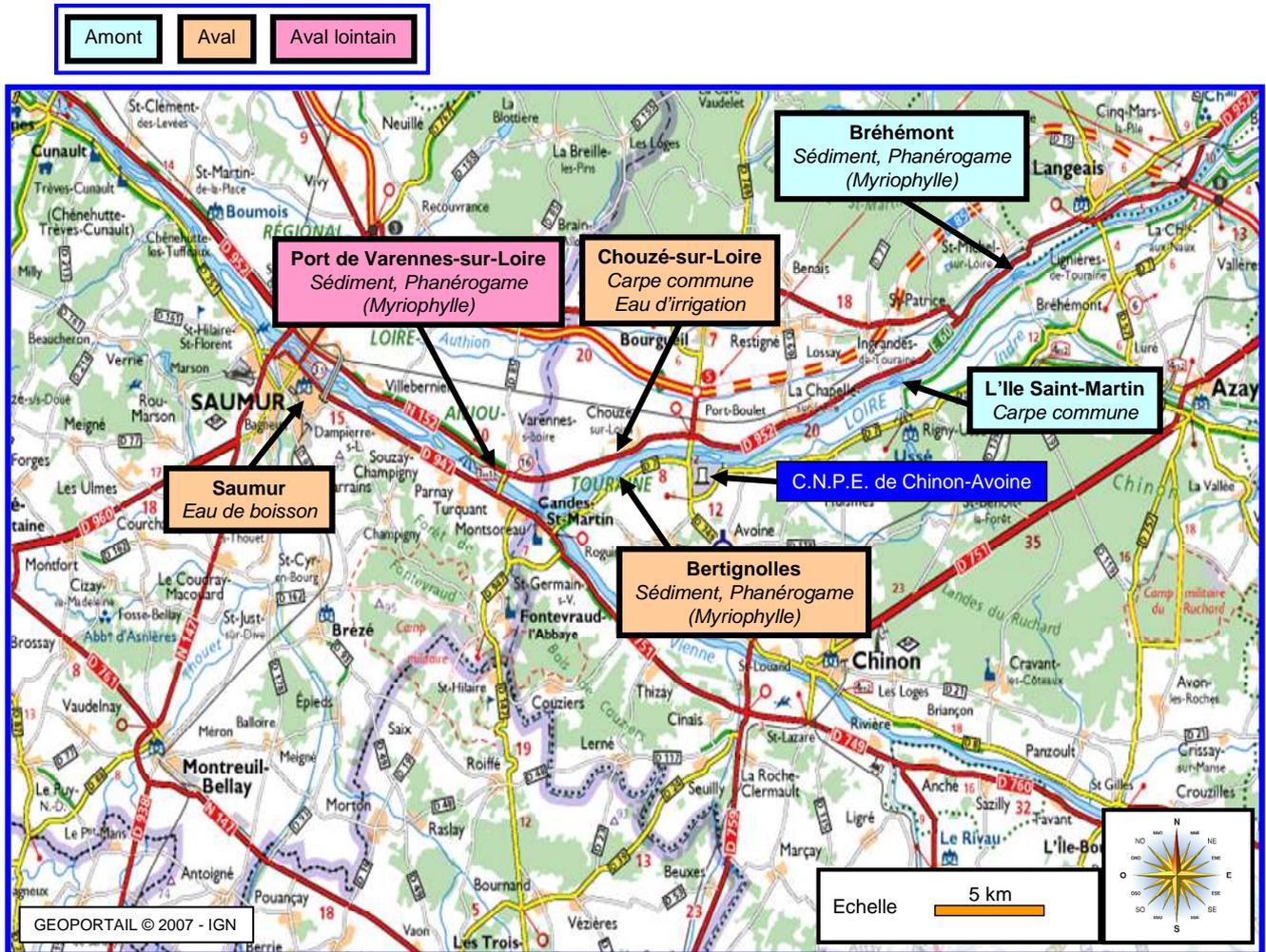


Figure 8-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Chinon-Avoine.

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 2020, 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 ^{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 (Tableau 8-24, page 263). Les activités sont conformes aux valeurs attendues (environ 100 Bq.kg^{-1} frais), la teneur en potassium étant physiologiquement régulée.

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

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 2020 par la présence de ^{137}Cs , de ^{58}Co , de ^{60}Co , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$, de ^{54}Mn et de ^{131}I (Tableau 8-25, page 264).

L'activité du ^{137}Cs a été mesurée dans les huit échantillons analysés. Dans toutes les matrices (sédiments, myriophylles et poissons), les activités détectées sont équivalentes aux incertitudes de mesures près entre l'amont et l'aval. En 2020, les activités en ^{137}Cs résultent de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2020, la détection de ^{60}Co dans le sédiment prélevé à l'amont est liée aux rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire. Cette détection en amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine pour ce radionucléide. En revanche, la détection uniquement en aval de l'installation de traces de ^{58}Co (phanérogames aval), de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (sédiment et myriophylle aval) et de ^{54}Mn (sédiment aval) montre l'influence spécifique des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. sur le milieu aquatique environnant.

Lors de l'état de référence de 1977/1978, la présence de traces de ^{137}Cs , de ^{144}Ce et de $^{106}\text{Ru-Rh}$ 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 , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 ^{131}I . Les détections successives en 2005, 2006, 2008, 2009, 2012, 2014, 2017, 2018 et 2019 ont montré que les activités en amont étaient supérieures à celles détectées à l'aval, témoignant ainsi de l'existence de points de rejets de ^{131}I en amont (centre hospitalier de Tours). Les analyses de 2020 confirment ce constat.

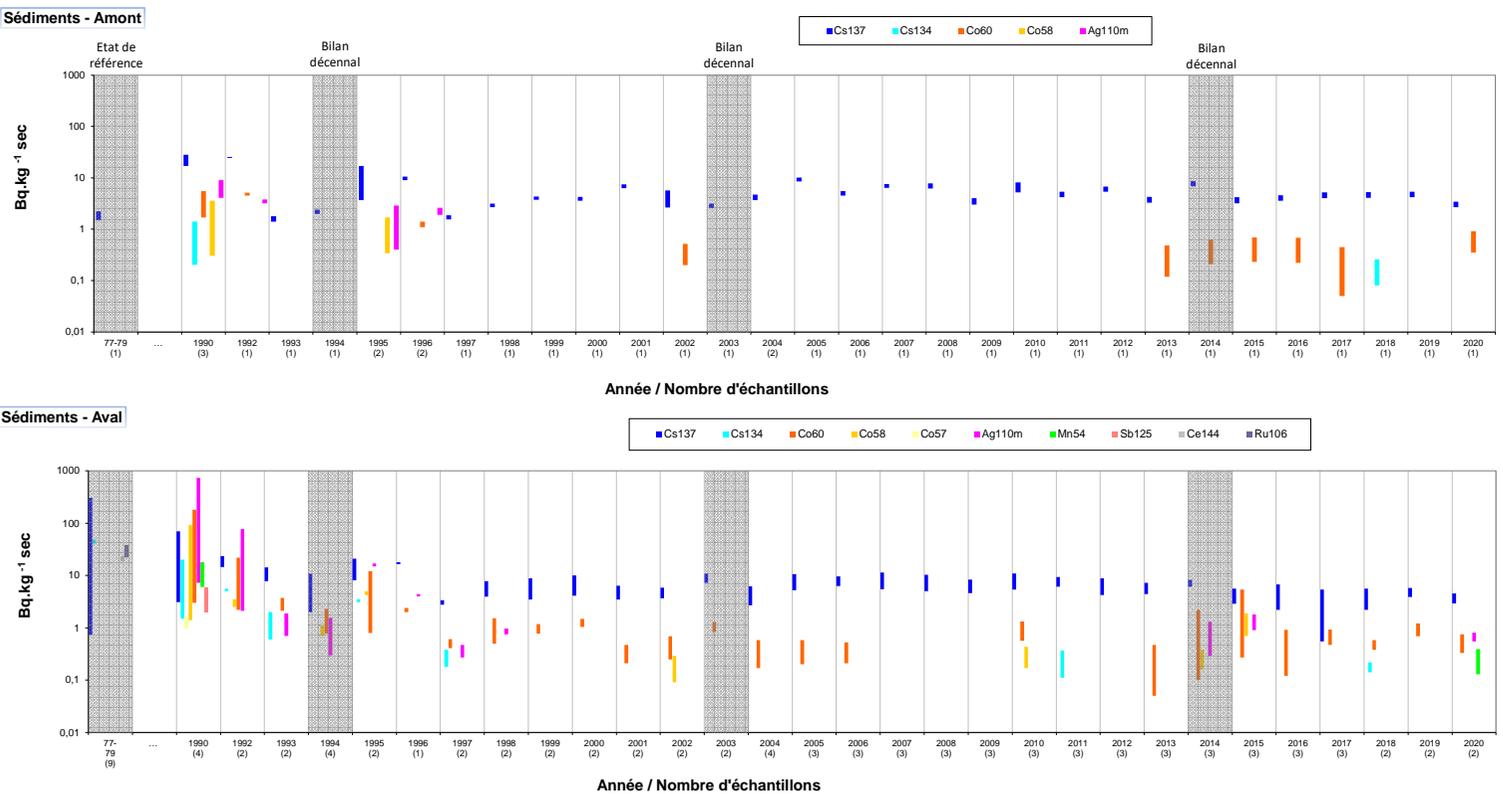


Figure 8-8: Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2020.

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

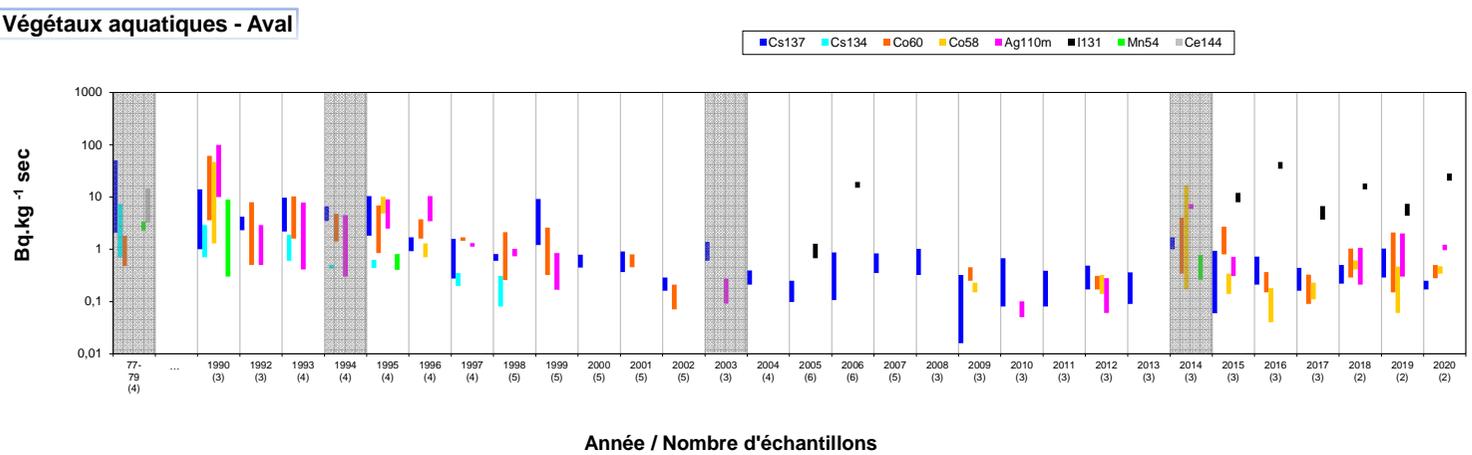
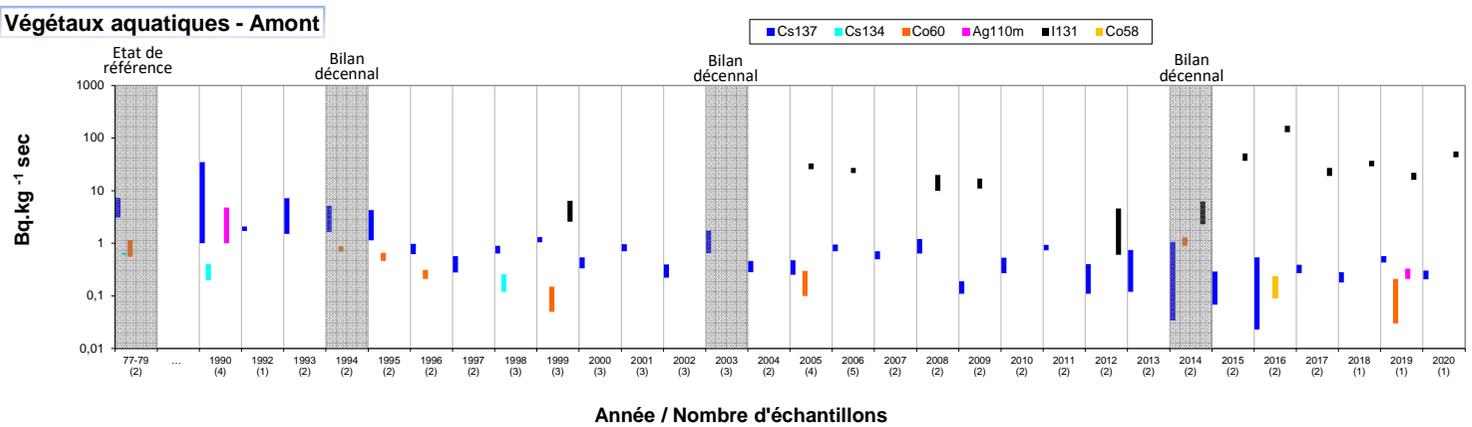


Figure 8-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de

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

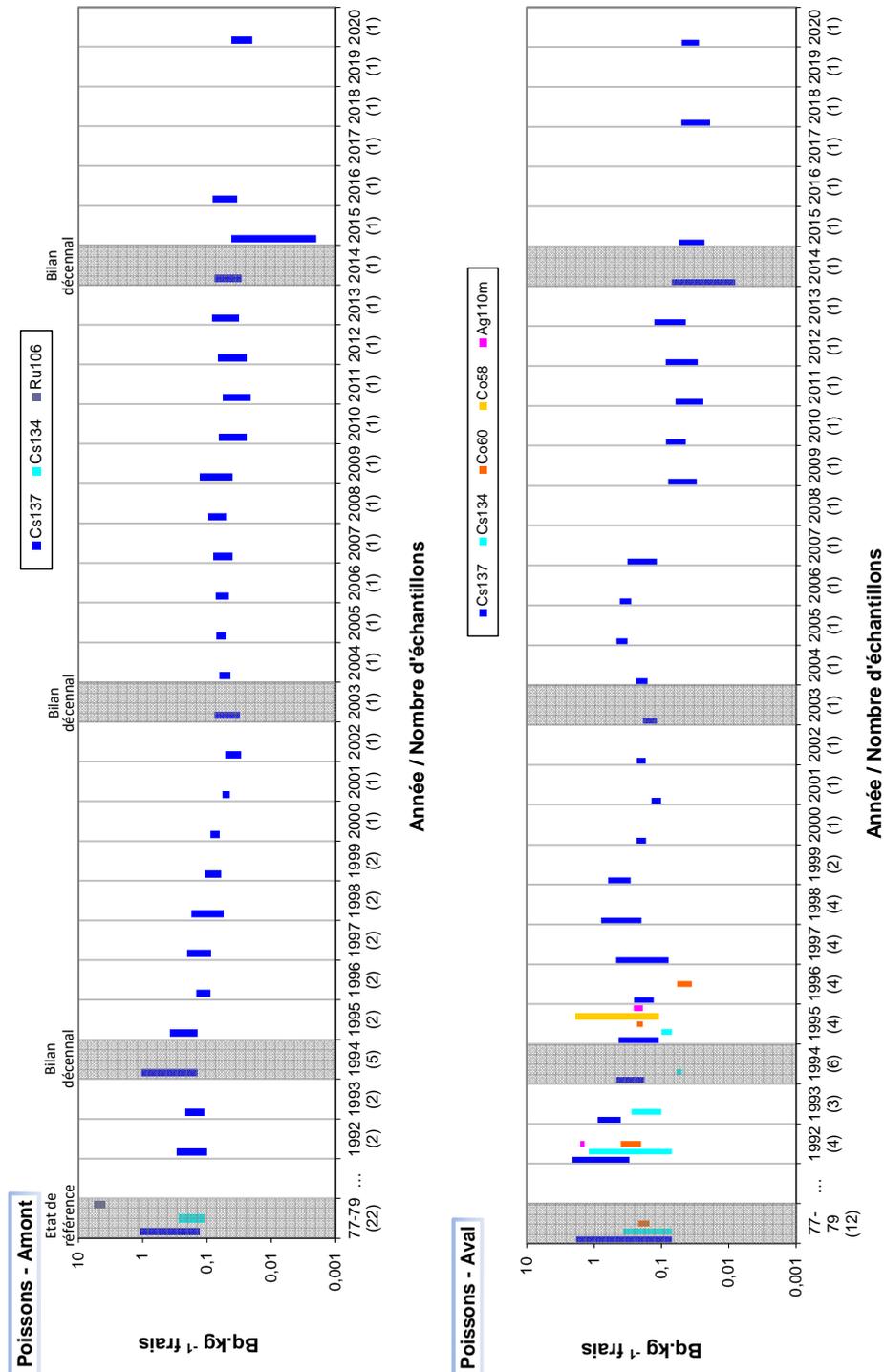


Figure 8-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des études menées depuis l'état de référence de 1977/1979 au suivi radioécologique de 2020.
 (*) 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 2020, les activités volumiques du ^3H libre mesurées dans le milieu aquatique (phanérogames immergées, poissons et eaux) varient de 2,40 à 28,1 Bq.L⁻¹ (Tableau 8-27, page 265). Le marquage observé à l'amont du C.N.P.E. dans les myriophylles est lié aux rejets d'effluents tritiés des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire. 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. Dans les poissons, l'activité augmente à l'aval traduisant l'influence des rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. La détection de ^3H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^3H au sein de ces milieux récepteurs [5].

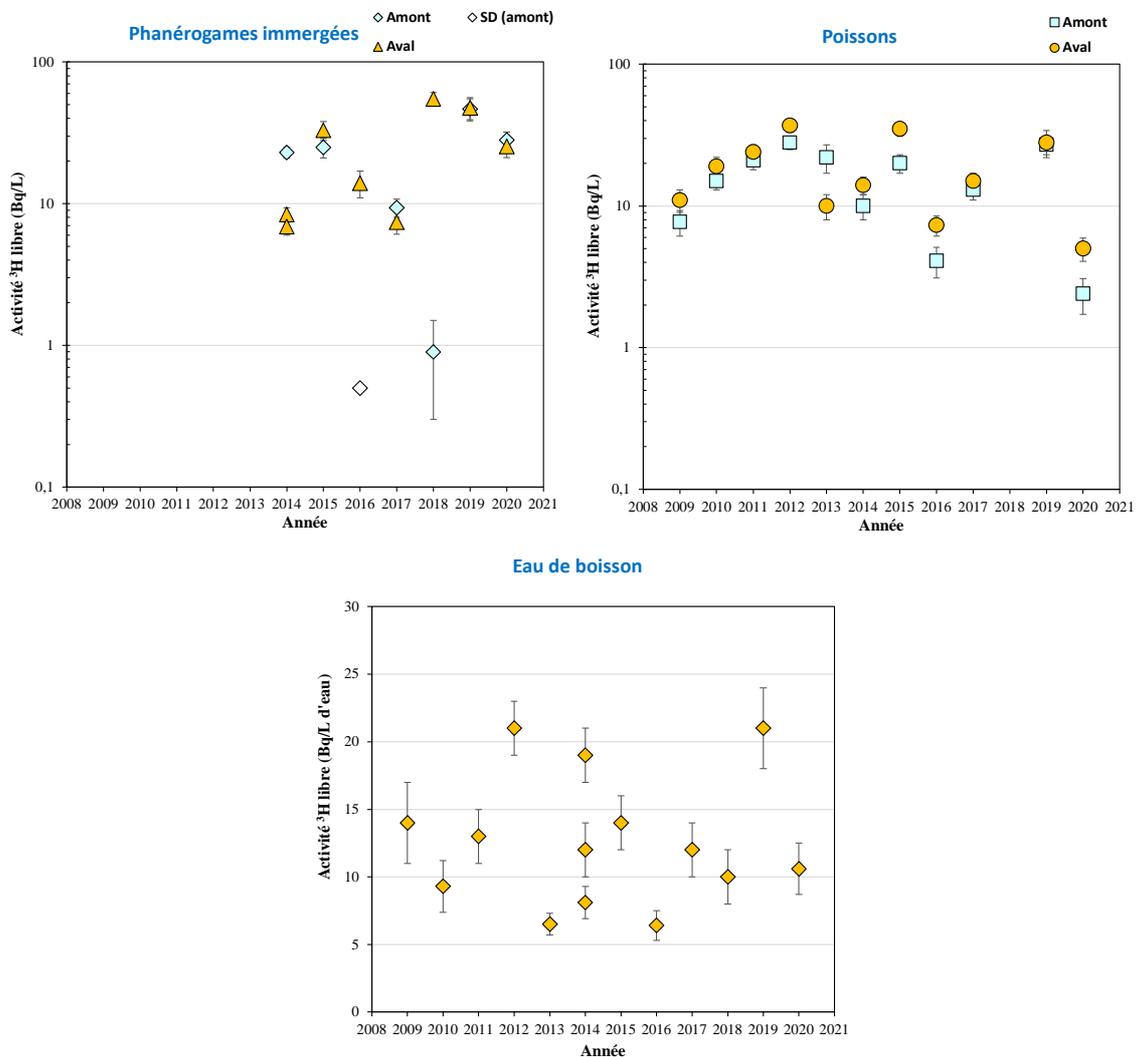


Figure 8-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2009 à 2020.

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, de 2017 et de 2019 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 ^3H 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 2020, 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 ^3H organiquement lié montrent des activités de $12,1 \pm 1,9$ et $23,3 \pm 4,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion dans les myriophylles et de $7,6 \pm 1,3$ et $12,2 \pm 2,3 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion dans les poissons (Tableau 8-28, page 266). En 2020, les activités mesurées montrent, d'une part, l'influence des rejets d'effluents tritiés des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire et, d'autre part, la contribution spécifique de ceux du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. 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.

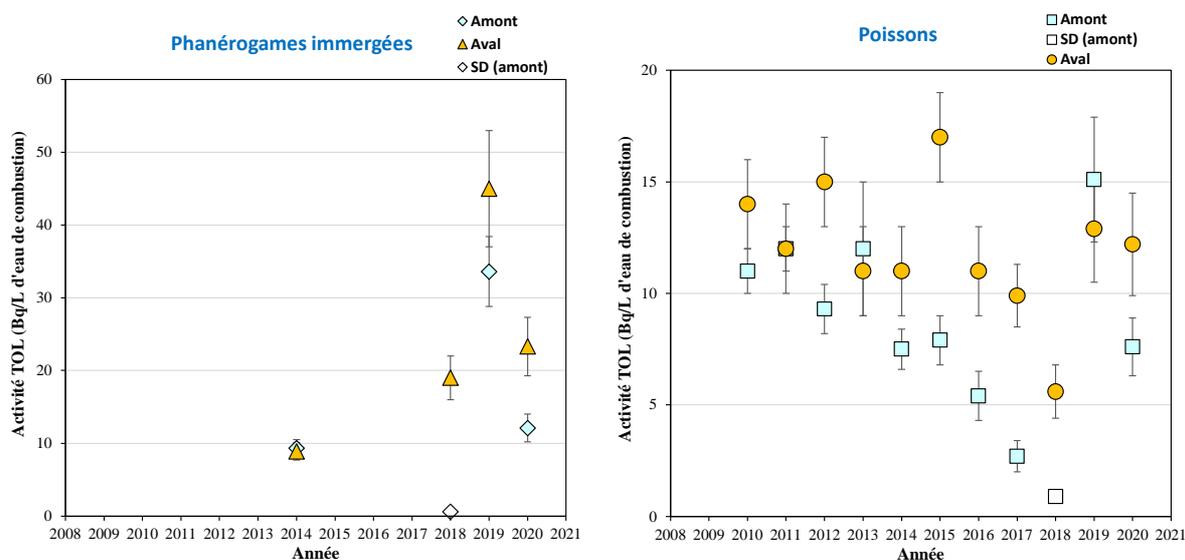


Figure 8-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2009 à 2020.

8.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 8-29 (page 266). En 2020, les activités en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans le milieu aquatique varient de $419,7 \pm 2,0$ à $763,8 \pm 3,5$ Bq.kg $^{-1}$ de C. Ces valeurs sont supérieures au bruit de fond ambiant hors influence industrielle de 200-220 Bq.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 à l'aval.

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.

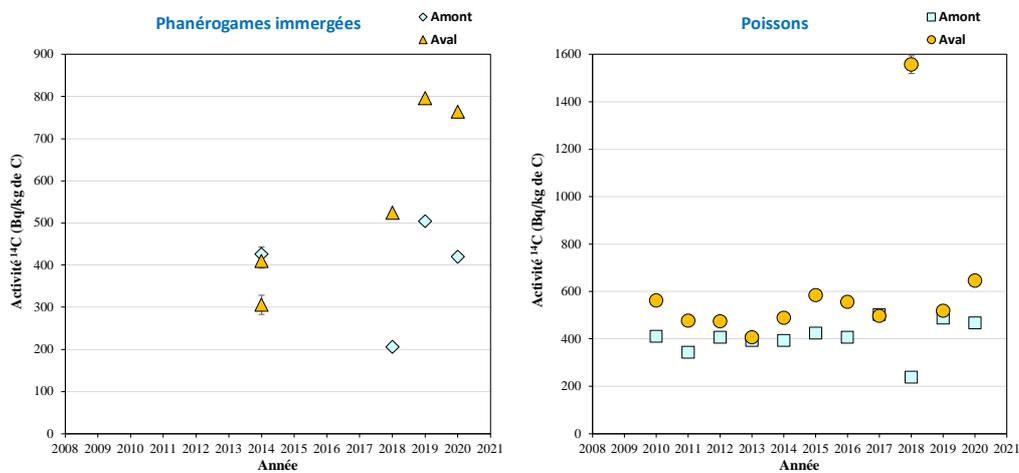


Figure 8-13. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Chinon-Avoine de 2009 à 2020.

8.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2020, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe dans les phanérogames immergées (myriophylles) montrent des activités inférieures aux seuils de décision (Tableau 8-30, page 267, et Tableau 8-31, page 267).

8.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E de Chinon-Avoine

Le suivi radioécologique établi en 2020 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Chinon-Avoine.

En 2020, 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 activités du ^3H (libre et organiquement lié) mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant à l'exception de l'activité du TOL mesurée dans les salades prélevées sous les vents dominants qui témoigne d'un léger marquage lié aux rejets d'effluents tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Les analyses de ^{14}C réalisées en 2020 sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

Dans **le milieu aquatique**, le ^{137}Cs est présent en 2020 à l'amont et à l'aval dans tous les échantillons (sédiments, végétaux et poissons) à des niveaux d'activités équivalents aux incertitudes de mesure près entre l'amont et l'aval pour une matrice donnée. En 2020, la présence de ^{137}Cs résulte donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. La détection de traces de ^{60}Co à l'amont montre l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire. Ces détections en amont masquent l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine à l'apport de ce radionucléide dans le milieu aquatique. L'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Chinon-Avoine est en revanche mise en évidence par la détection de traces de ^{58}Co , d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn uniquement à l'aval de l'installation. En 2020, les analyses de ^3H libre dans les poissons, de ^3H organiquement lié et de ^{14}C dans les phanérogame et les poissons montrent, d'une part, l'influence sur le milieu aquatique des rejets d'effluents liquides des C.N.P.E. situés en amont sur la Loire et, d'autre part, celle de ceux du C.N.P.E. de Chinon-Avoine. Dans les phanérogame, le marquage en ^3H libre observé à l'amont masque l'éventuelle contribution des rejets d'effluents liquides tritiés du C.N.P.E. de Chinon-Avoine pour ce radionucléide.

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 2020 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 2020.....	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 2020. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].....	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 2020. La ligne en pointillées représente la limite de bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].....	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 2020.	228
Figure 8-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 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 2020.....	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 2020. ...	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 2020.....	236
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 2020.	237
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 2020.	238
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 2020.	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 2020.....	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 2020.....	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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (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 2020 (¹⁴ C : 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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	250
Tableau 8-9. Activités du ¹⁴ C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2015 à 2017 (Bq.kg ⁻¹ de carbone).	251
Tableau 8-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.....	253
Tableau 8-11. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.....	254
Tableau 8-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.	255
Tableau 8-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.....	255
Tableau 8-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.....	255
Tableau 8-15. Activité du ¹⁴ C des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.....	256
Tableau 8-16. Activité du ⁹⁰ Sr des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.....	256

Tableau 8-17. Activité du ⁵⁵ Fe des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.....	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 2020.....	257
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 2020.....	257
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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	259
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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de C ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	260
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 2011 à 2020.....	261
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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ frais ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	262
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 2020.....	263
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 2020.....	264
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 2020.....	265
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 2020.....	265
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 2020.....	266
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 2020.....	266
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 2020.....	267
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 2020.....	267
Tableau 8-32. 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 2020.....	268

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai/juil./oct. 2014	juin 2015	mai/déc. 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	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	1,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	4,32 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	0,53-0,81 (2/9)	-	-	-	-	-	-

« - » : inférieur au seuil de décision

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	6,6 et 10,9 km	6,6 km	6,6 km	6,6 km						
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	1,96 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	20-29 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

« - » : inférieur au seuil de décision

Tableau 8-5. Activités du ¹⁴C, du ³H libre et du ³H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2015 à 2020 (¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ³H : 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															
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.	1,1 (1/1)	n.a.													
³ H organiquement lié	n.a.	1,4 (1/1)	n.a.													

Année de prélèvement	avril 2019	juil. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	juil. 2020	sept. 2020	janv. 2021
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
Emetteurs β								
¹⁴ C	223 (1/1)	233 (1/1)	234 (1/1)	236 (1/1)	236 (1/1)	231 (1/1)	239 (1/1)	233 (1/1)
³ H libre	n.a.	2,38 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,74 (1/1)	n.a.
³ H organiquement lié	n.a.	0,77 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,84 (1/1)	n.a.

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

Tableau 8-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	oct. 2011	août 2012	juil. 2013	août. 2014	juin 2015	juil. 2016	juil. 2017	juil. 2018	oct. 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	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	12,2 et 12,3 km	12,2 et 12,3 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	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)	0,35 (1/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	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)	227,8-229,5 (2/2)
^3H libre	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)	3,04 (1/2)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	3,2 (1/2)	1,2 (1/2)	0,74-2,44 (2/2)	1,69-4,2 (2/2)

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

Tableau 8-7. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril/oct. 2018	mai 2019	juil./sept. 2020
Distance par rapport au site	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	1,0 et 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)	0,109 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	237 (1/1)	242 (1/1)	238 (1/1)	233 (2/2)	232 (1/1)	229 (1/1)	239 (2/2)	-	n.a.	n.a.
^3H libre	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)	1,74 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,8 (1/2)	n.a.	n.a.	1,0-1,3 (2/2)	-	0,77 (1/1)	0,84 (1/1)

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

Tableau 8-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	mai 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril 2018	mai 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	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	4,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,0149 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	239-248 (2/2)	-	-	-	233 (1/1)	232,0 (1/1)	235,0 (1/1)
^3H 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)	-	-
^3H organiquement lié	2,6 (1/1)	-	-	1,0 (1/2)	-	-	0,9 (1/1)	3,3 (1/1)	-	1,08 (1/1)

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

Tableau 8-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de lait prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2015 à 2017 (Bq.kg⁻¹ de carbone).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	juil. 2017	oct. 2017	janv. 2018
Distance par rapport au site	1,0 km											
Emetteurs β												
^{14}C	230 (1/1)	221 (1/1)	241 (1/1)	231 (1/1)	232 (1/1)	228 (1/1)	240 (1/1)	238 (1/1)	240 (1/1)	247 (1/1)	243 (1/1)	245 (1/1)



Tableau 8-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

Hors vents		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	
Huïsmes	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	29/09/20	Frais	223 ± 38	16,0 ± 4,2	< 11	n.a.	234 ± 37	402 ± 47
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	12/10/20	Cendres	2440 ± 350	3,33 ± 0,89	< 2,2	n.a.	31,5 ± 5,6	187 ± 21
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	08/01/21	Cendres	2070 ± 300	1,90 ± 0,51	< 1,2	n.a.	25,0 ± 4,3	215 ± 24
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	07/10/20	Sec	820 ± 120	76 ± 10	n.a.	66 ± 24	n.a.	< 1,7
La Chapelle-sur-Loire	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	28/09/20	10/11/20	Cendres	514 ± 73	0,91 ± 0,19	< 0,55	n.a.	25,3 ± 3,7	201 ± 23
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	17/12/20	Cendres	48,8 ± 7,0	< 0,028	< 0,074	n.a.	< 0,11	< 0,13

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

Tableau 8-11. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

Hors vents		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine artificielle									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	29/09/20	Frais	< 1,0	1,96 ± 0,62	< 0,77	< 0,90	< 1,0	< 0,80	< 0,91
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	12/10/20	Cendres	< 0,17	0,35 ± 0,18	< 0,19	< 0,22	< 0,20	< 0,18	n.a.
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	08/01/21	Cendres	< 0,097	< 0,092	< 0,25	< 0,13	< 0,14	< 0,12	n.a.
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	07/10/20	Sec	< 0,17	4,32 ± 0,51	< 0,19	< 0,17	< 0,18	< 0,21	n.a.
La Chapelle-sur-Loire	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	28/09/20	10/11/20	Cendres	< 0,032	0,109 ± 0,037	< 0,047	< 0,040	< 0,040	< 0,035	n.a.
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	17/12/20	Cendres	< 0,0071	0,0149 ± 0,0076	< 0,014	< 0,0088	< 0,0092	< 0,0079	n.a.

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

Sous les vents							127 _I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais
Huismes	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	03/12/20	Lyophilisée	< 19

Tableau 8-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

Hors vents		Sous les vents						³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait	
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	07/02/21	Eau de lyophilisation	3,04 ± 0,73	2,88 ± 0,69	
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	10/11/20	Eau de lyophilisation	< 0,77	< 0,72	
Musoir	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/20	16/08/20	Eau de lyophilisation	1,74 ± 0,70	0,99 ± 0,40	
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	19/10/20	Eau de lyophilisation	< 0,78	< 0,66	

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

Tableau 8-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

Hors vents		Sous les vents						³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait	Bq.kg ⁻¹ MO	
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	03/03/21	Lyophilisée	1,69 ± 0,74	0,048 ± 0,022	1,15 ± 0,52	
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	28/09/20	29/11/20	Lyophilisée	4,2 ± 1,0	0,144 ± 0,039	2,59 ± 0,70	
Musoir	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	02/07/20	27/09/20	Lyophilisée	0,84 ± 0,57	0,22 ± 0,15	0,55 ± 0,38	
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	26/01/21	Lyophilisée	1,08 ± 0,58	0,100 ± 0,073	0,83 ± 0,46	

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

Tableau 8-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot g.kg ⁻¹ frais (végétaux) g.L ⁻¹ de lait	¹³ C/ ¹² C ‰	PMC %
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait			
Allonnes	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuilles	28/09/20	30/07/21	Lyophilisée	229,5 ± 1,2	4,633 ± 0,024	20	-29,49	102
Saint-Patrice	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuilles	28/09/20	08/06/21	Lyophilisée	227,8 ± 1,5	6,025 ± 0,040	26	-30,06	102
Chouzé-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	29/09/20	13/03/21	Lyophilisée	235,0 ± 8,0	16,12 ± 0,55	69	-19,46	103

Tableau 8-15. Activité du ¹⁴C des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

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 <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	27/03/21	Cendres	1,75 ± 0,39	0,189 ± 0,042	9,3
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	27/03/21	Calciné	0,337 ± 0,093	0,055 ± 0,015	6,1

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

Tableau 8-16. Activité du ⁹⁰Sr des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	⁵⁵ Fe
							Bq.kg ⁻¹ sec
Huismes	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	02/03/21	Cendres	< 1,2
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	04/03/21	Calciné	< 6,6

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

Tableau 8-17. Activité du ⁵⁵Fe des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine - Suivi annuel 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure		Qualité	Emetteurs α			Rapports	
					Activité mBq.kg ⁻¹ sec (soils, végétaux)			Rapports				
					²³⁸ Pu ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am		²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
La Roche-Clermault	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	10/12/20	04/12/20	Cendres	4,4 ± 3,2	31,7 ± 8,9	12,2 ± 3,8	0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,2
Huisnes	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	28/09/20	10/12/20	04/12/20	Cendres	5,1 ± 3,2	34,0 ± 8,4	7,8 ± 2,9	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1
Cravant	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	21/12/20	12/01/21	Calciné	6,7 ± 3,7	396 ± 46	115 ± 25	0,02 ± 0,01	0,3 ± 0,1
La Chapelle-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	28/09/20	21/12/20	12/01/21	Calciné	4,0 ± 2,2	106 ± 14	37 ± 15	0,04 ± 0,03	0,4 ± 0,2

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 2020.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
La Chapelle-sur-Loire	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	28/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	21,99
				Limons fins	16,30
				Limons grossiers	15,21
				Sables fins	32,17
				Sables grossiers	14,33
Teneur en matières organiques	7,70				

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 2020.

Tableau 8-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine lors des suivis radioécologiques annuels de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	avril 2012	avril 2013	mai/août 2014	juin 2015	mai 2016	juil. 2017	avril/oct. 2018	mai 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	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	5,8 et 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.
^{137}Cs	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.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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.
Emetteurs β										
^3H libre	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)	10,6-25,3 (2/2)

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

Tableau 8-21. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ de C}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil. 2011		juil. 2012		juil. 2013		sept./oct. 2014		sept./oct. 2015		oct. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
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	-	0,21-0,25 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/1)	0,18 (2/2)	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	3,05 (1/1)	3,33-4,04 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	0,27 (1/3)	-	1,1-1,7 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	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)	0,63 (1/1)	0,54 (1/2)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	0,40-1,1 (2/3)	-	1,1-1,6 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68 (1/2)
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26 (1/2)
Emetteurs β																				
^{14}C	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)	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	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.	n.a.

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

Tableau 8-22. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H 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 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ de C}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil. 2011		juil./sept. 2012		juil./sept. 2013		juil./sept. 2014		juil./sept. et oct. 2015		oct. 2016		oct. 2017		oct. 2018		sept. 2019		sept. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,254 (1/1)	0,210- 0,311 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	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)	-	0,406 (1/2)
^{60}Co	-	-	-	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)	-	0,39 (1/2)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	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)	-	1,09 (1/2)
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	0,52 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	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)	49,2 (1/1)	24,4 (1/1)
Emetteurs β																				
^{14}C	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)	419,7 (1/1)	763,8 (1/1)
^3H libre	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)	28,1 (1/1)	25,4 (1/1)
^3H organiquement lié	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)	12,1 (1/1)	23,3 (1/1)

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

Tableau 8-23. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons de poissons (entiers ou fractions) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E.de Chinon-Avoine de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ frais ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	juin 2011		oct. 2012		sept. 2013		sept./oct. 2014		oct. 2015		oct. 2016		sept. 2017		oct. 2018		oct. 2019		oct. 2020		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
Emetteurs γ d'origine artificielle																					
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	-	-	0,031 (1/1)	0,039 (1/1)	
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																					
^{14}C	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)	467,4 (1/1)	645,8 (1/1)	
^3H libre	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)	2,40 (1/1)	5,00 (1/1)	
^3H organiquement lié	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)	7,6 (1/1)	12,2 (1/1)	

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

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 2020.

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		
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	25/11/20	Sec	533 ± 77	53,9 ± 7,0	n.a.	< 23	n.a.	55,0 ± 7,7	
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	07/12/20	Sec	456 ± 66	46,4 ± 6,1	n.a.	29 ± 20	n.a.	31,2 ± 5,5	
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/20	07/12/20	Sec	663 ± 95	71,0 ± 9,2	n.a.	64 ± 24	n.a.	17,0 ± 5,0	
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	20/11/20	Cendres	552 ± 79	18,1 ± 2,4	8,2 ± 2,1	n.a.	27,6 ± 4,4	141 ± 16	
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	23/10/20	Cendres	463 ± 66	21,1 ± 2,8	10,1 ± 2,8	n.a.	34,1 ± 5,4	210 ± 24	
Port de Varennes Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	03/11/20	Cendres	559 ± 80	18,1 ± 2,4	12,2 ± 3,3	n.a.	40,2 ± 6,2	229 ± 26	
L'île Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	30/12/20	Cendres	106 ± 15	< 0,043	< 0,10	n.a.	< 0,15	< 0,19	
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	30/12/20	Cendres	106 ± 15	< 0,037	< 0,093	n.a.	< 0,15	< 0,17	

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

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 2020.

			Emetteurs γ d'origine artificielle										
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Amont	Aval	Aval lointain											
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	25/11/20	Sec	< 0,22	3,05 ± 0,37	< 0,33	0,63 ± 0,28	< 0,28	< 0,30	n.a.
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	24/09/20	07/12/20	Sec	< 0,19	3,33 ± 0,40	< 0,32	0,54 ± 0,21	0,68 ± 0,13	0,26 ± 0,13	n.a.
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	25/09/20	07/12/20	Sec	< 0,22	4,04 ± 0,48	< 0,36	< 0,21	< 0,29	< 0,27	n.a.
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	20/11/20	Cendres	< 0,089	0,254 ± 0,048	< 0,13	< 0,089	< 0,11	< 0,096	n.a.
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	25/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	49,2 ± 6,4
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	23/10/20	Cendres	< 0,084	0,311 ± 0,050	0,406 ± 0,066	0,39 ± 0,11	1,09 ± 0,13	< 0,11	n.a.
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	25/09/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	24,4 ± 3,8
Port de Varennes Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	03/11/20	Cendres	< 0,076	0,210 ± 0,039	< 0,10	< 0,084	< 0,085	< 0,083	n.a.
L'île Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	30/12/20	Cendres	< 0,012	0,031 ± 0,011	< 0,022	< 0,014	< 0,016	< 0,012	n.a.
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	30/12/20	Cendres	< 0,010	0,039 ± 0,011	< 0,019	< 0,012	< 0,013	< 0,011	n.a.

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

Amont		Aval						¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais	
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	16/04/21	Lyophilisée	< 6,2	
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	03/12/20	Lyophilisée	< 5,7	

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 2020.

Amont		Aval							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais		
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	25/01/21	Eau de lyophilisation	28,1 ± 3,9	24,6 ± 3,4		
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	05/10/20	Eau de lyophilisation	25,4 ± 4,3	22,5 ± 3,8		
L'Île Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	09/12/20	Eau de lyophilisation	2,40 ± 0,68	1,86 ± 0,53		
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	08/12/20	Eau de lyophilisation	5,00 ± 0,94	3,85 ± 0,72		
Saumur, Station du Petit-Puy	Eau	Eau de boisson	Entier	29/09/20	14/11/20	Entier	10,6 ± 1,9	-		
Chouzé-sur-Loire	Eau	Eau d'irrigation	Entier	28/09/20	04/11/20	Entier	25,3 ± 4,3	-		

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 2020.

Amont		Aval								³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO			
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	03/02/21	Lyophilisée	12,1 ± 1,9	0,67 ± 0,14	7,8 ± 1,7			
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	27/10/20	Lyophilisée	23,3 ± 4,0	1,19 ± 0,27	13,6 ± 3,0			
L'île Saint-Martin Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	25/01/21	Lyophilisée	7,6 ± 1,3	1,17 ± 0,24	5,62 ± 1,2			
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	09/01/21	Lyophilisée	12,2 ± 2,3	1,94 ± 0,42	9,1 ± 2,0			

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 2020.

Amont		Aval									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot	¹³ C/ ¹² C	PMC
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais	g.kg ⁻¹ frais	‰	‰
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	30/07/21	Lyophilisée	419,7 ± 2,0	17,063 ± 0,081	41	-21,80	176
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	08/06/21	Lyophilisée	763,8 ± 3,5	31,85 ± 0,15	42	-20,71	321
L'île Saint-Martin Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	08/06/21	Lyophilisée	467,4 ± 2,7	54,95 ± 0,32	118	-27,66	196
Chouzé-sur-Loire Rives gauche et droite	Poissons	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	12/10/20	08/06/21	Lyophilisée	645,8 ± 3,5	76,36 ± 0,41	118	-27,41	271

Tableau 8-29. Activités du ¹⁴C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

Amont	Aval
-------	------

							⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	08/03/21	Cendres	< 0,80
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	09/03/21	Cendres	< 0,49

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

Tableau 8-30. Activités du ⁶³Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

Amont	Aval
-------	------

							⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec
Bréhémont Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	02/04/21	Cendres	< 0,35
Bertignolles Rive gauche	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	24/09/20	07/03/21	Cendres	< 0,19

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

Tableau 8-31. Activités du ⁵⁵Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Chinon-Avoine – Suivi annuel 2020.

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

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Bréhémont Rive gauche	Sédiment	24/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	32,18
				Limons fins	22,99
				Limons grossiers	7,82
				Sables fins	23,45
				Sables grossiers	13,56
Teneur en matières organiques	11,50				
Bertignolles Rive gauche	Sédiment	24/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	36,10
				Limons fins	26,41
				Limons grossiers	8,30
				Sables fins	13,26
				Sables grossiers	15,92
Teneur en matières organiques	11,50				
Port de Varennes Rive droite	Sédiment	25/09/20	04/11/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	29,63
				Limons fins	20,02
				Limons grossiers	27,46
				Sables fins	21,40
				Sables grossiers	1,49
Teneur en matières organiques	11,20				

Tableau 8-32. 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 2020.

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] IRSN : Fiche radionucléide – Plutonium et environnement. http://www.irsn.fr/Plutonium_Pu239_v2.pdf.



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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

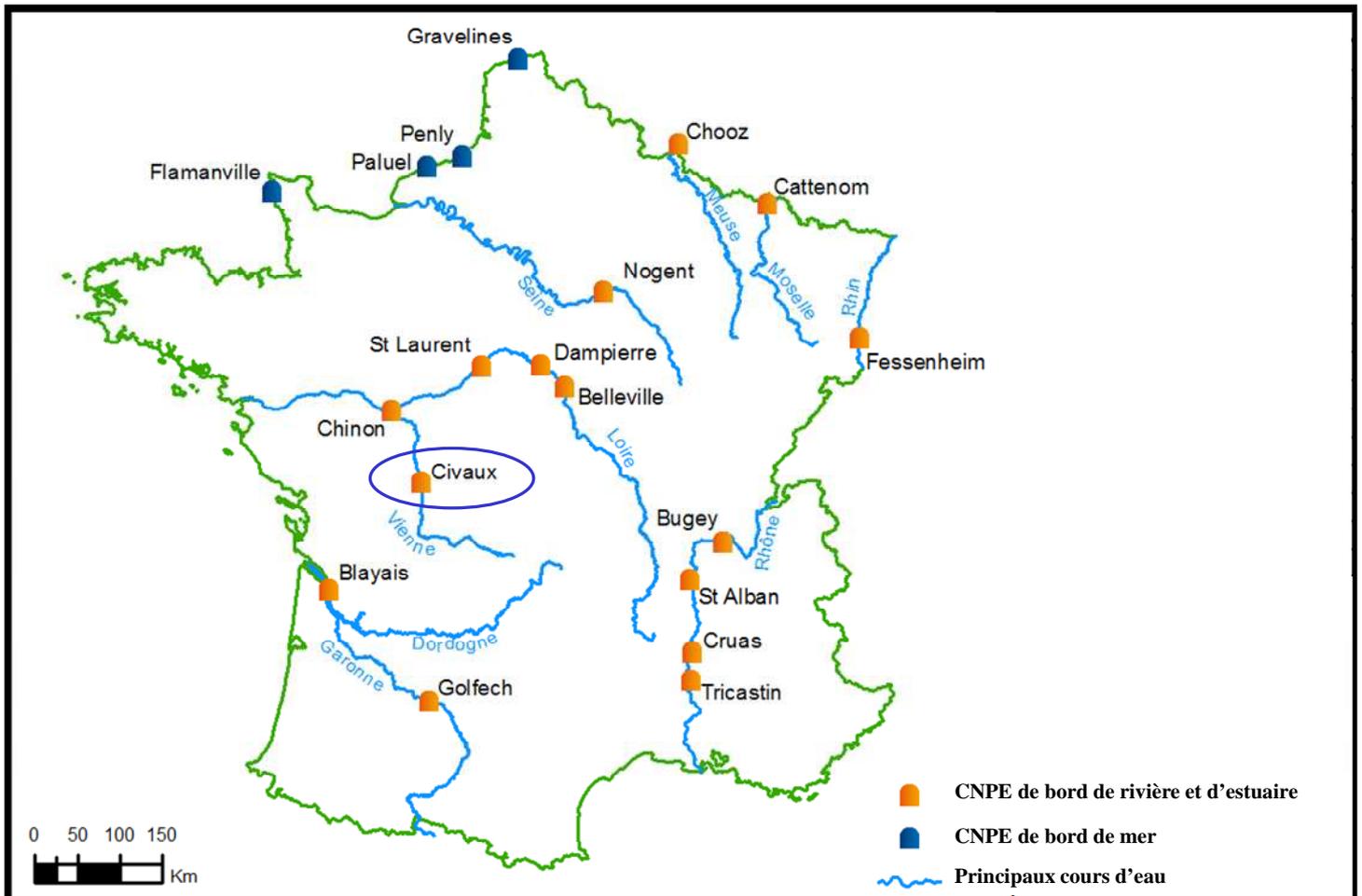
Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux



C.N.P.E. de Civaux



Source : EDF/DIPDE.



9.	Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux	279
9.1.	<i>Généralités et chronologie des études radiécologiques</i>	279
9.2.	<i>Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	281
9.2.1.	Stratégie d'échantillonnage	281
9.2.2.	Résultats et interprétation	284
9.2.2.1.	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	284
9.2.2.2.	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	286
9.3.	<i>Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	289
9.3.1.	Stratégie d'échantillonnage	289
9.3.2.	Résultats et interprétation	292
9.3.2.1.	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	292
9.3.2.2.	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	297
9.4.	<i>Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E de Civaux</i>	300



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 2020 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 de ^{137}Cs . Le ^{137}Cs provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Dans la continuité des années antérieures, les activités en ^3H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local. En 2020, les analyses de ^{14}C réalisées sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

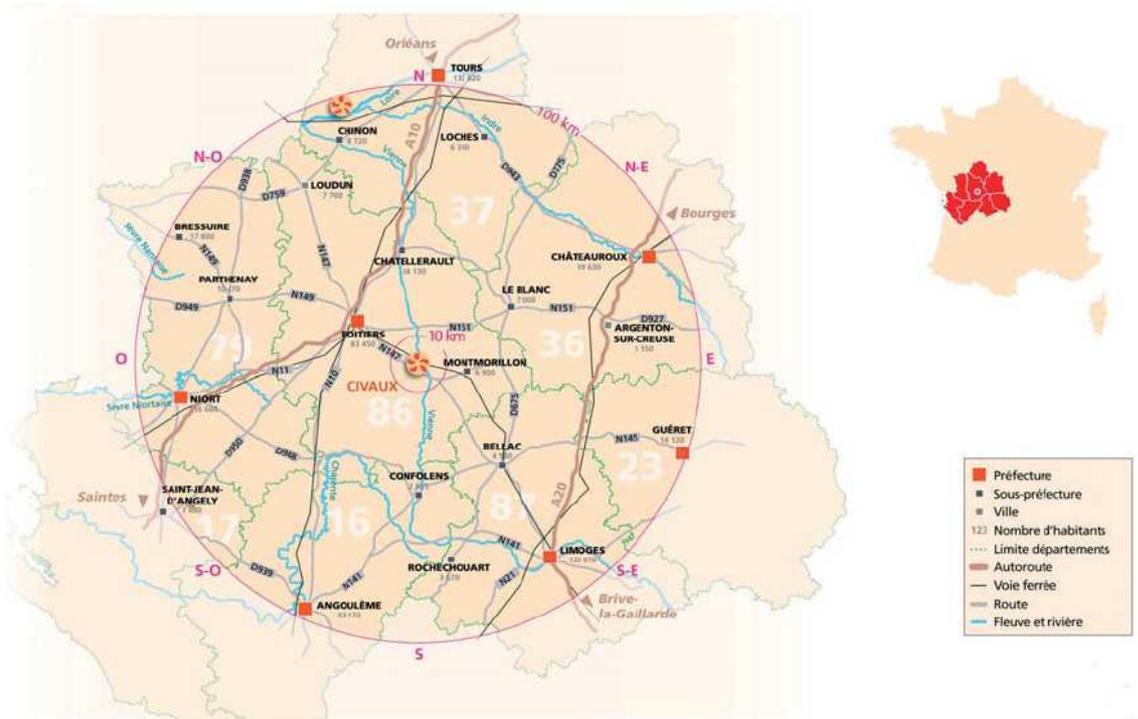
En 2020, le ^{137}Cs est présent dans tous les compartiments **du milieu aquatique** aussi bien en amont qu'en aval de l'installation. Aucune influence des rejets d'effluents liquides n'est mise en évidence pour ce radionucléide. Le ^{137}Cs provient de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2020, aucun autre radionucléide émetteur gamma n'est mis en évidence dans le milieu aquatique à l'exception de ^{131}I détecté à l'amont. Cette détection est liée aux activités de médecine nucléaire ou universitaires conduites en amont de l'installation, notamment au niveau de l'agglomération de Limoges. En 2020, les analyses de ^3H (libre et organiquement lié) dans les phanérogames et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons réalisées à l'amont ainsi que les analyses de ^3H (libre et organiquement lié) effectuées dans les myriophylles prélevées à l'aval montrent des activités conformes aux niveaux attendus en dehors de tout apport industriel local. Dans les poissons pêchés à l'amont, l'activité de ^3H organiquement lié est inférieure au seuil de décision. En revanche, l'augmentation à l'aval des activités de ^3H organiquement lié dans les poissons et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons montre le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux.



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.

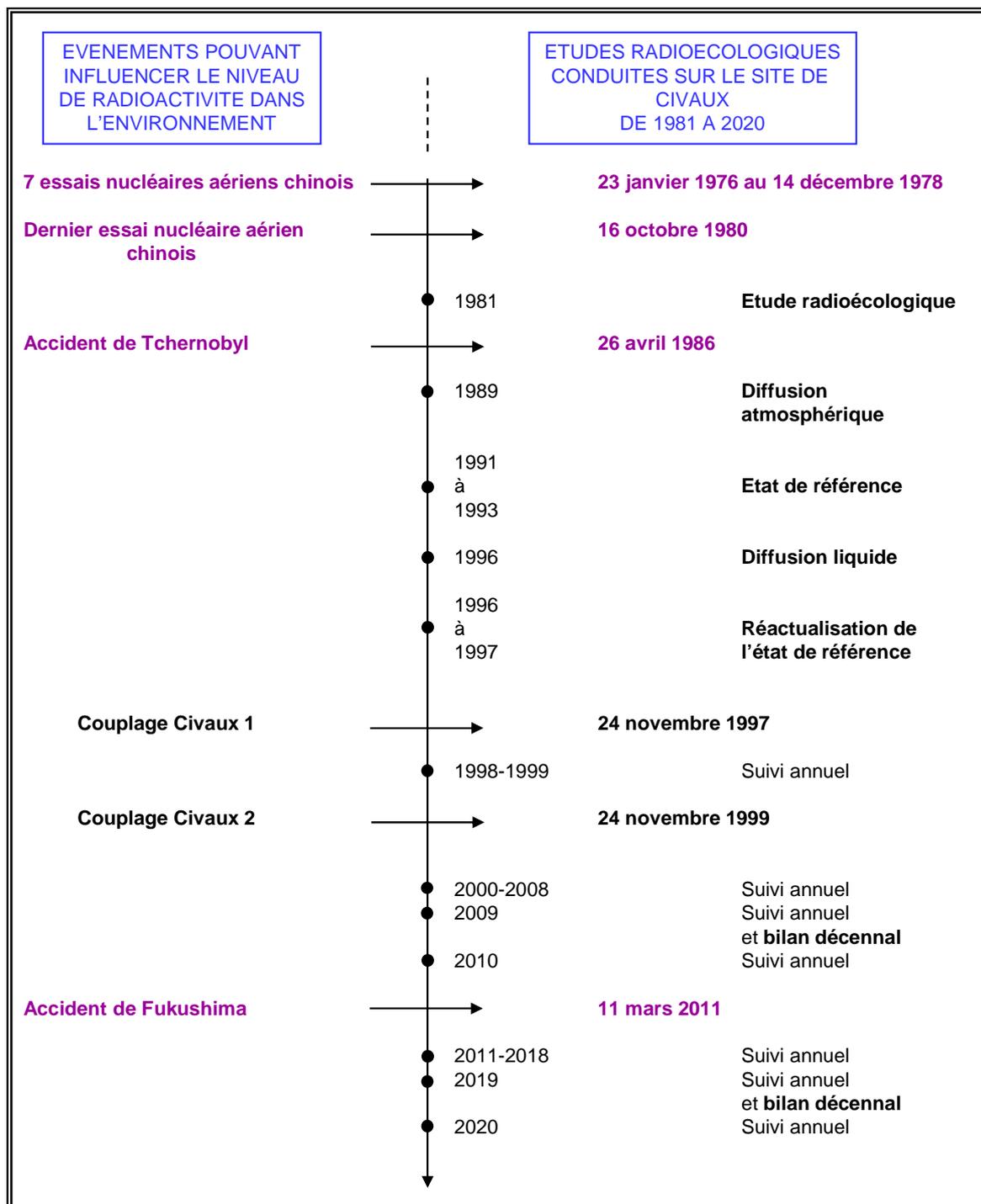


Figure 9-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Civaux.

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 283) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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

D'après la rose des vents, présentée sur la Figure 9-2 (page 283), 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, chou, herbe et lait) et des milieux d'accumulation (sol). Les natures d'échantillons prélevés sur les zones hors vents (ZHV) et sous les vents dominants (ZSV) par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques sont, dans la mesure du possible, identiques.

En 2020, quatre prélèvements 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 frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Cubord (Le Peu)	1,8 km NE	46,46944	0,68111	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	14/09/20	Spectrométrie γ en frais (Iode 131)	1,07	-
Bignoux	23,8 km NO	46,61056	0,43667	Production agricole	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	21/07/20	Spectrométrie γ	7,30	8,46
								Carbone 14	7,74	-
Chapelle-Viviers	6,1 km ENE	46,46889	0,72917	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	Spectrométrie γ	5,76	8,12
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	5,17	-
Sillars	12,5 km ESE	46,40722	0,79250	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,11	-
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,07	-
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/09/20	Spectrométrie γ	1,59	11,69
Station AS1	1 km E	46,45917	0,66417	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/07/20	Tritium libre Tritium organiquement lié	2,73	-
Fontprévoir	8,1 km NE	46,49917	0,73750	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,88	17,55

Tableau 9-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

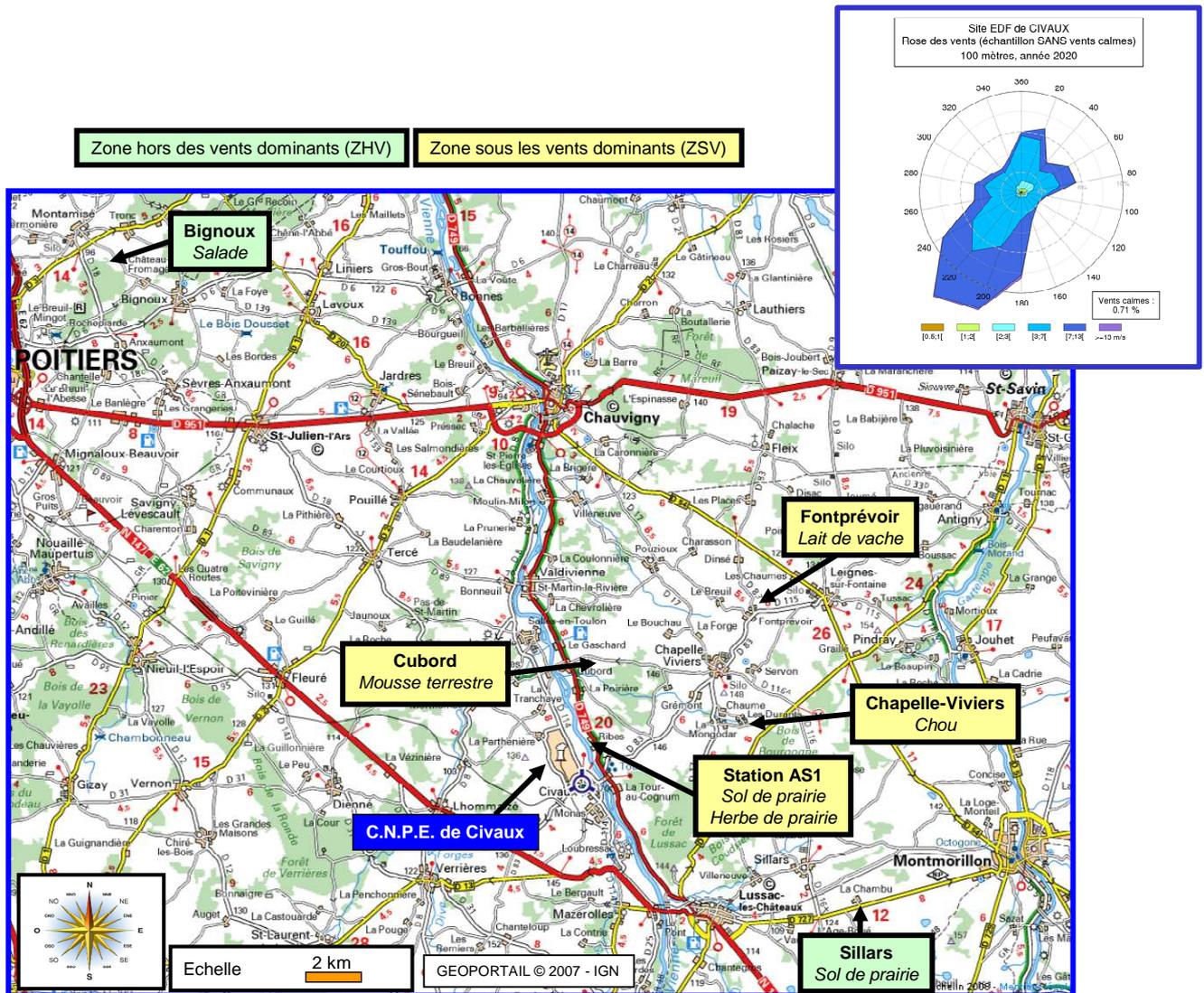


Figure 9-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Civaux.

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 2020, les mesures réalisées en spectrométrie gamma montrent que la radioactivité d'origine naturelle des différents compartiments du milieu terrestre est comparable à celle observée lors des études radioécologiques menées depuis 1998 (Tableau 9-10, 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 ^{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 Bq.L^{-1}).

D'origine cosmique, le ^7Be est détecté dans les végétaux et le sol non cultivé prélevé hors vents dominants. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be 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 2020, la radioactivité d'origine artificielle est uniquement due à la présence de traces de ^{137}Cs (Tableau 9-11, page 314). Les activités des autres radionucléides artificiels sont inférieures aux seuils de décision, y compris les résultats de la recherche spécifique de ^{131}I dans les mousses.

Dans le milieu terrestre, le ^{137}Cs a été mesuré dans six des sept échantillons analysés en 2020 (herbe de prairie exceptée). Les niveaux d'activités en ^{137}Cs détectés sont cohérents avec les gammes de variations observées depuis 1991-1997. Les résultats obtenus dans les salades et les sols non cultivés 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 2020, les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de 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 285). 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 de ^{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.

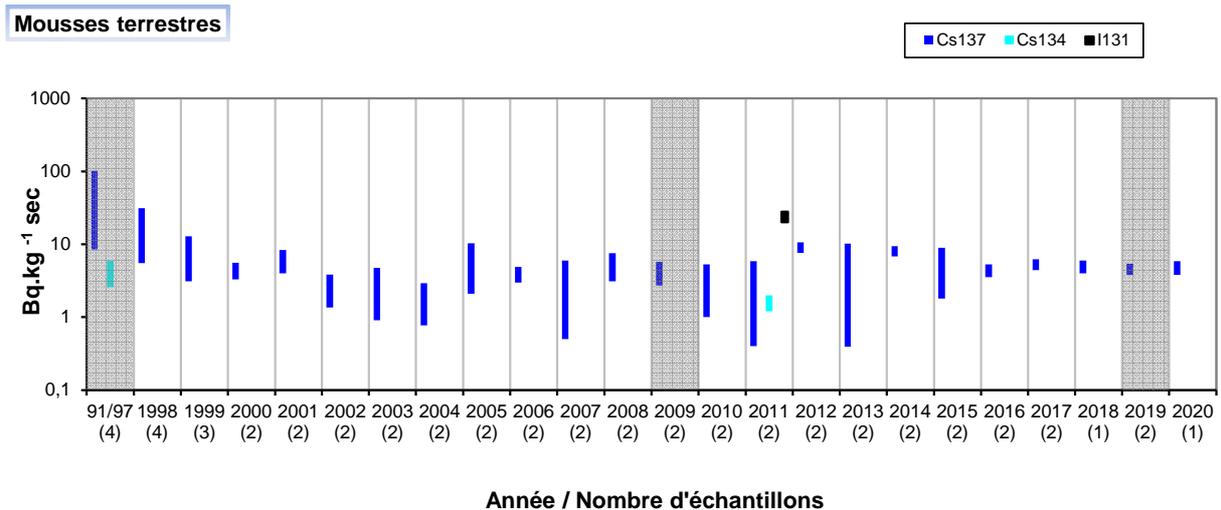
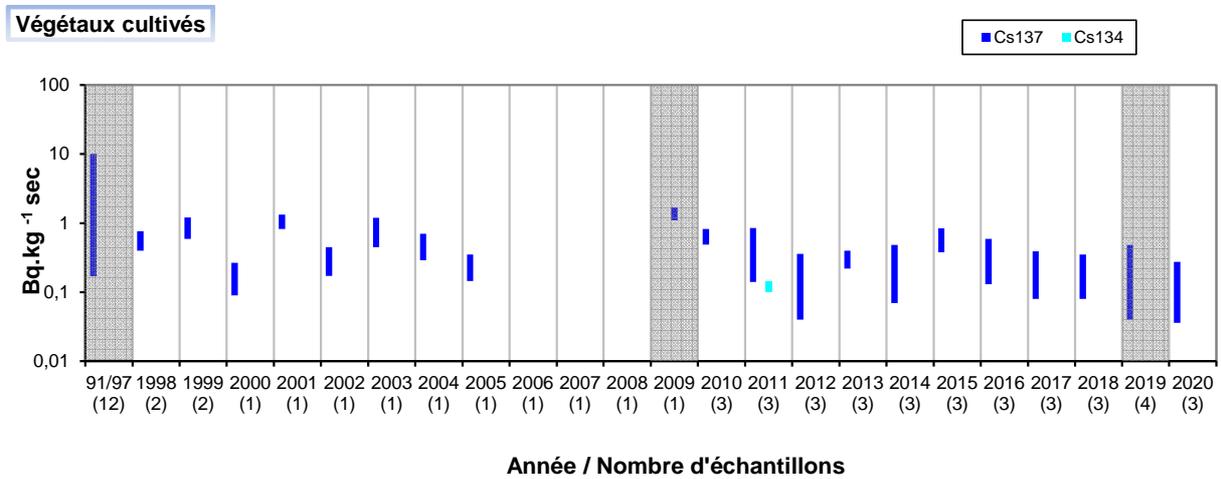
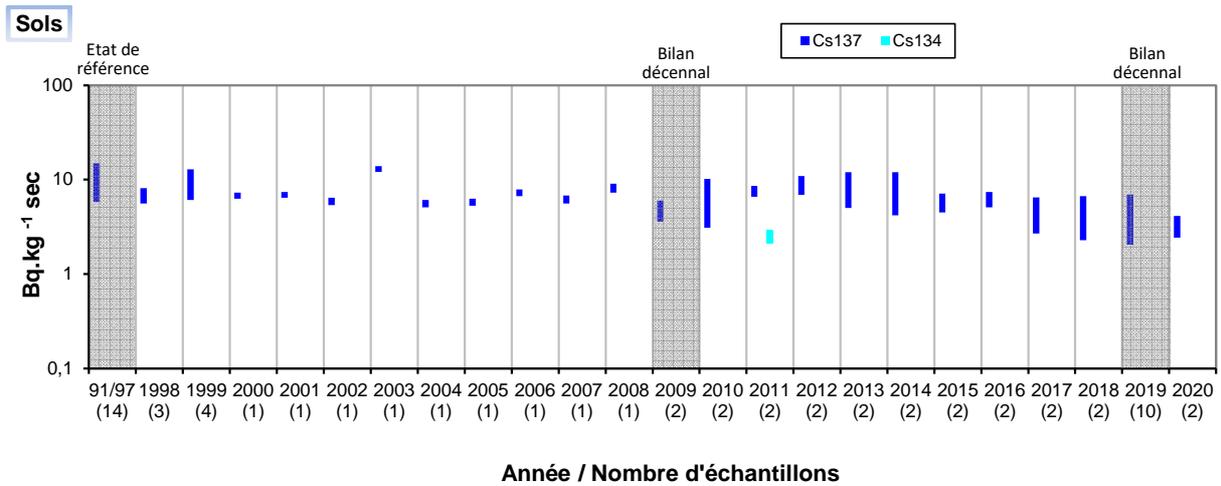


Figure 9-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2020.

(*) 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 2020, le ^3H libre a été détecté dans l'herbe de prairie et le lait de vache avec des activités proches de 1-2 Bq.L⁻¹ (Tableau 9-13, page 315). 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) [3,5]. Son activité est inférieure au seuil de décision dans les choux.

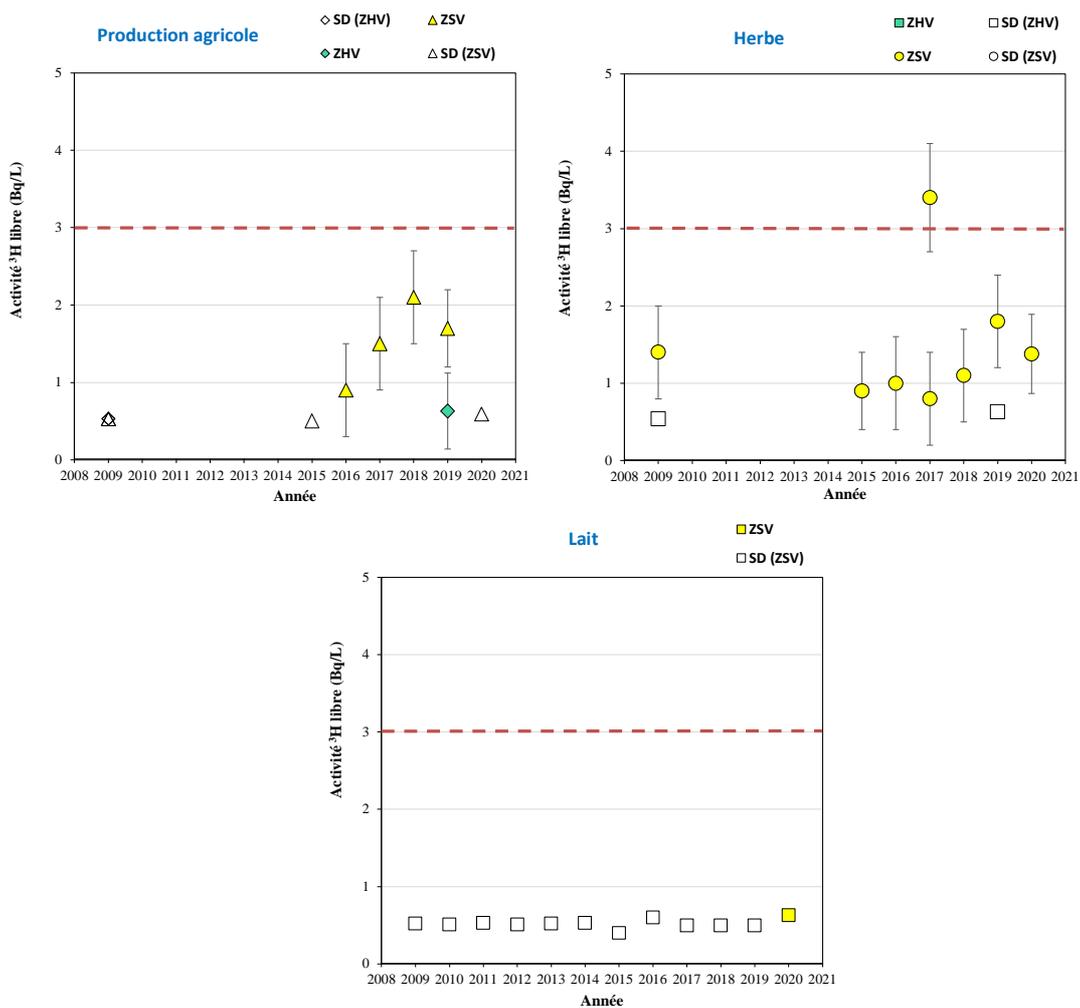


Figure 9-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (<3 Bq.L⁻¹) [3,5].

Le ^3H 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 ($0,6-0,7 \text{ Bq.L}^{-1}$) dans les salades et le lait (Tableau 9-14, page 315).

Ces observations sont cohérentes avec les mesures de ^3H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures et conformes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5]. Elles ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu terrestre pour ces radionucléides. Seule l'activité mesurée dans des pommes prélevées à l'occasion du bilan décennal de 2019 témoignait d'un apport anthropique local. Cette activité était liée à l'utilisation de l'eau de la Vienne pompée en aval du point de rejet pour l'arrosage des pommiers.

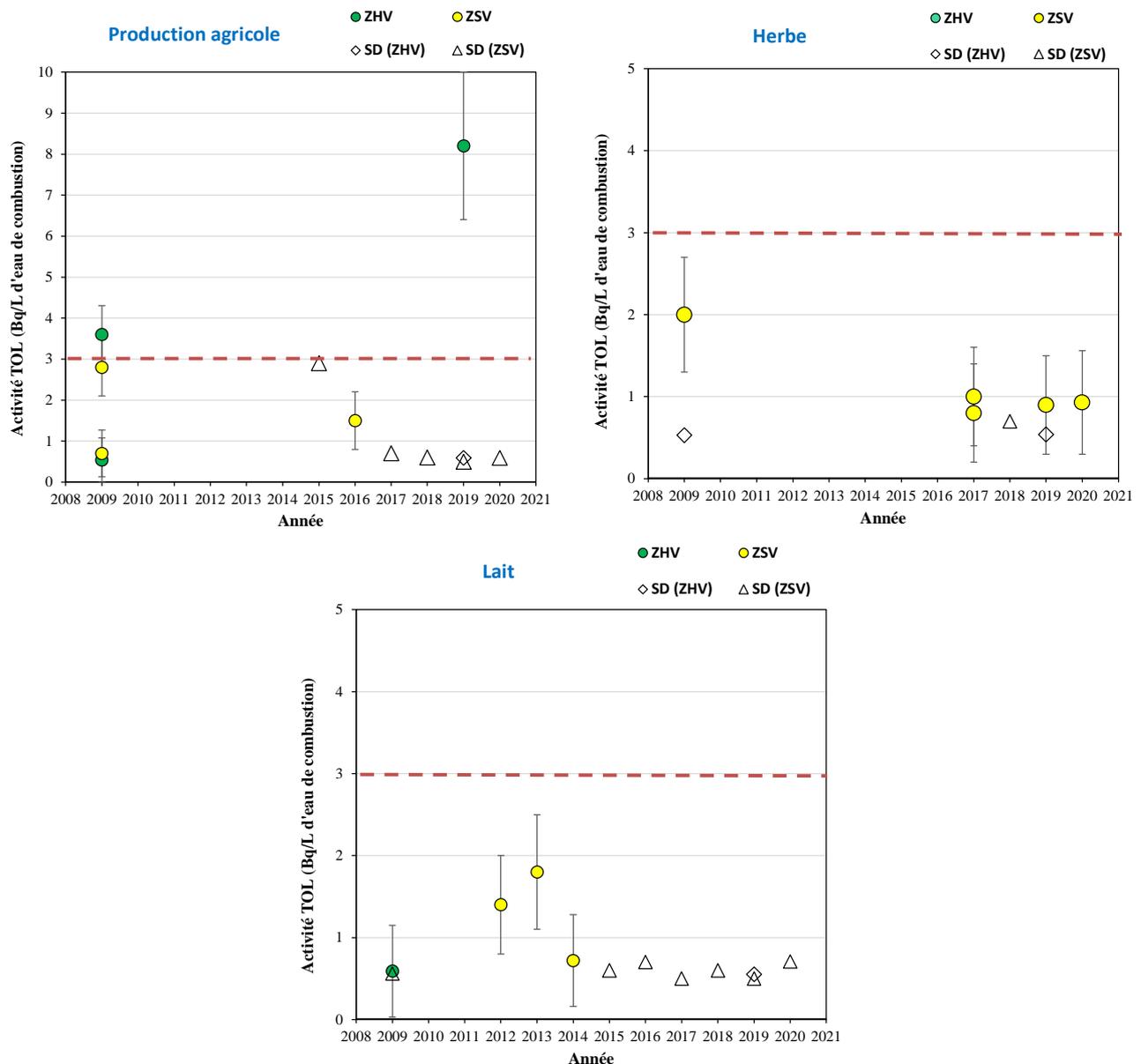


Figure 9-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020. La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].

9.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats d'analyse du ¹⁴C 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 9-15, page 316) [3,6]. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques de ¹⁴C du C.N.P.E. de Civaux n'est mise en évidence en 2020.

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures, à l'exception des prélèvements réalisés lors du suivi radioécologique de 2017 (salades et lait) et du bilan décennal de 2019 (herbe) qui témoignaient d'un marquage en ¹⁴C 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.

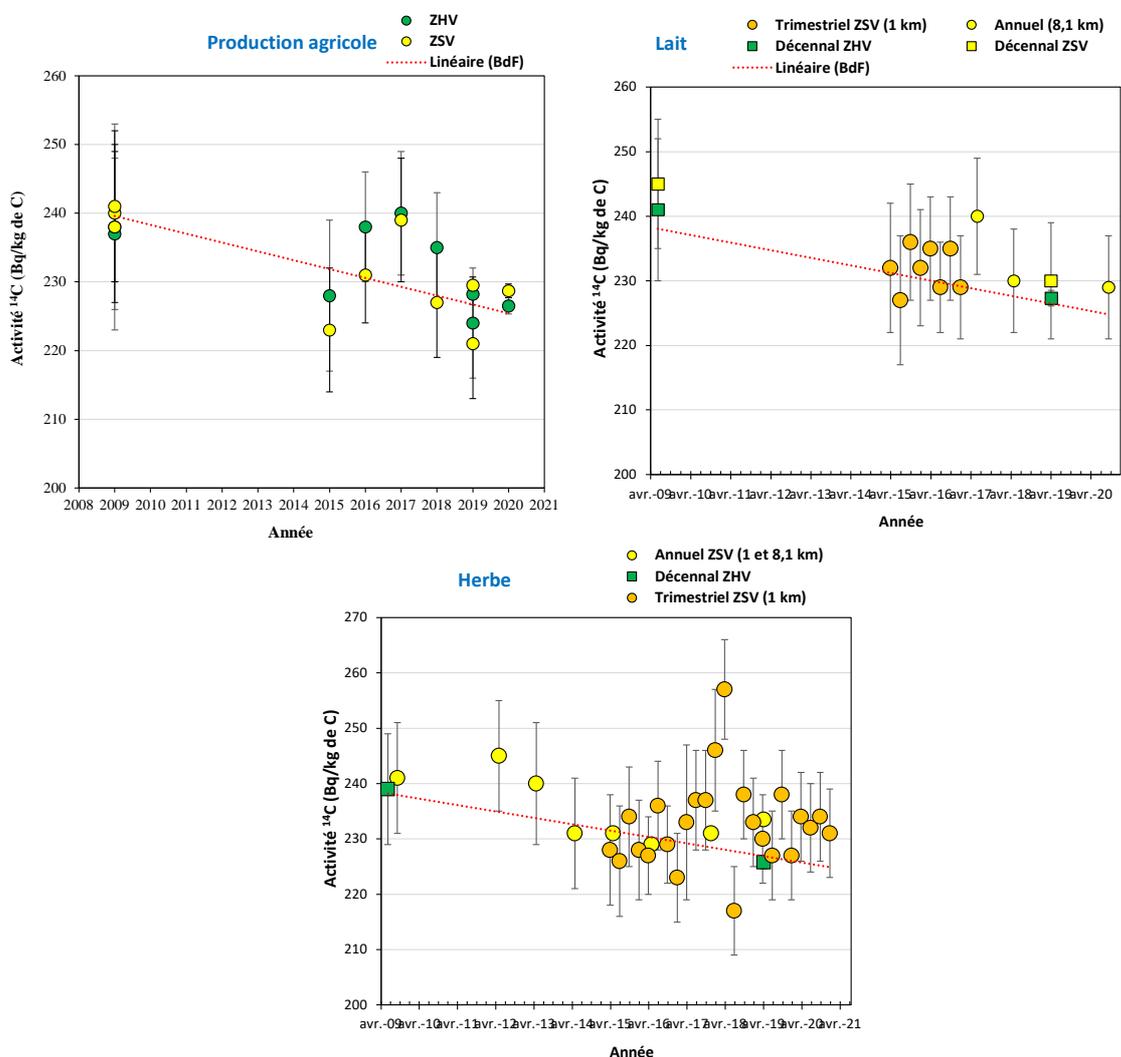


Figure 9-6. Activités spécifiques en ¹⁴C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020.

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

9.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

9.3.1. *Stratégie d'échantillonnage*

Le Tableau 9-2 (page 291) 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 291) présente les stations de prélèvement et la nature des échantillons prélevés en 2020.

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

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

Deux prélèvements d'eaux sont réalisés sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. 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 supra-toarcienne à une profondeur de 102 mètres. Cette nappe communique avec la nappe alluviale et elle est donc potentiellement soumise à l'influence des rejets d'effluents du C.N.P.E. En 2020, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Chauvigny.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

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	22/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,66	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	6,1 km aval	46,50889	0,63389	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,97	-
Vieilles Ecluses Rive droite	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	3,33	-
Monas Rive gauche	2,7 km amont	46,43806	0,67694	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Parties aériennes	22/07/20	Spectrométrie γ	12,08	5,72
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	9,57	-
St-Martin-la-Rivière Rive droite	6,1 km aval	46,50889	0,63389	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Parties aériennes	23/07/20	Spectrométrie γ	11,77	7,70
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	9,16	-
Vieilles Ecluses Rive droite	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Parties aériennes	23/07/20	Spectrométrie γ	11,83	7,08
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	4,2 km amont	46,42639	0,68611	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> <i>Hedw.</i>	Entier	21/07/20	Spectrométrie γ en frais (bde 131) Nickel 63 Fer 55	9,91	3,81
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	17,7 km aval lointain	46,61028	0,59583	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> <i>Hedw.</i>	Entier	21/07/20	Spectrométrie γ en frais (bde 131) Nickel 63 Fer 55	10,31	3,74
Le Pont Rives gauche et droite	7 km amont	46,40361	0,70222	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,09	21,64
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	4,2 km aval	46,49250	0,64194	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,25	19,64
St-Martin-la-Rivière Rive droite	5,9 km NNE	46,50750	0,63639	Eau	Eau de boisson	Entier	14/09/20	Tritium libre	-	-
Chauvigny Rive gauche	10 km N	46,54528	0,63306	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/07/20	Tritium libre	-	-

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 2020.

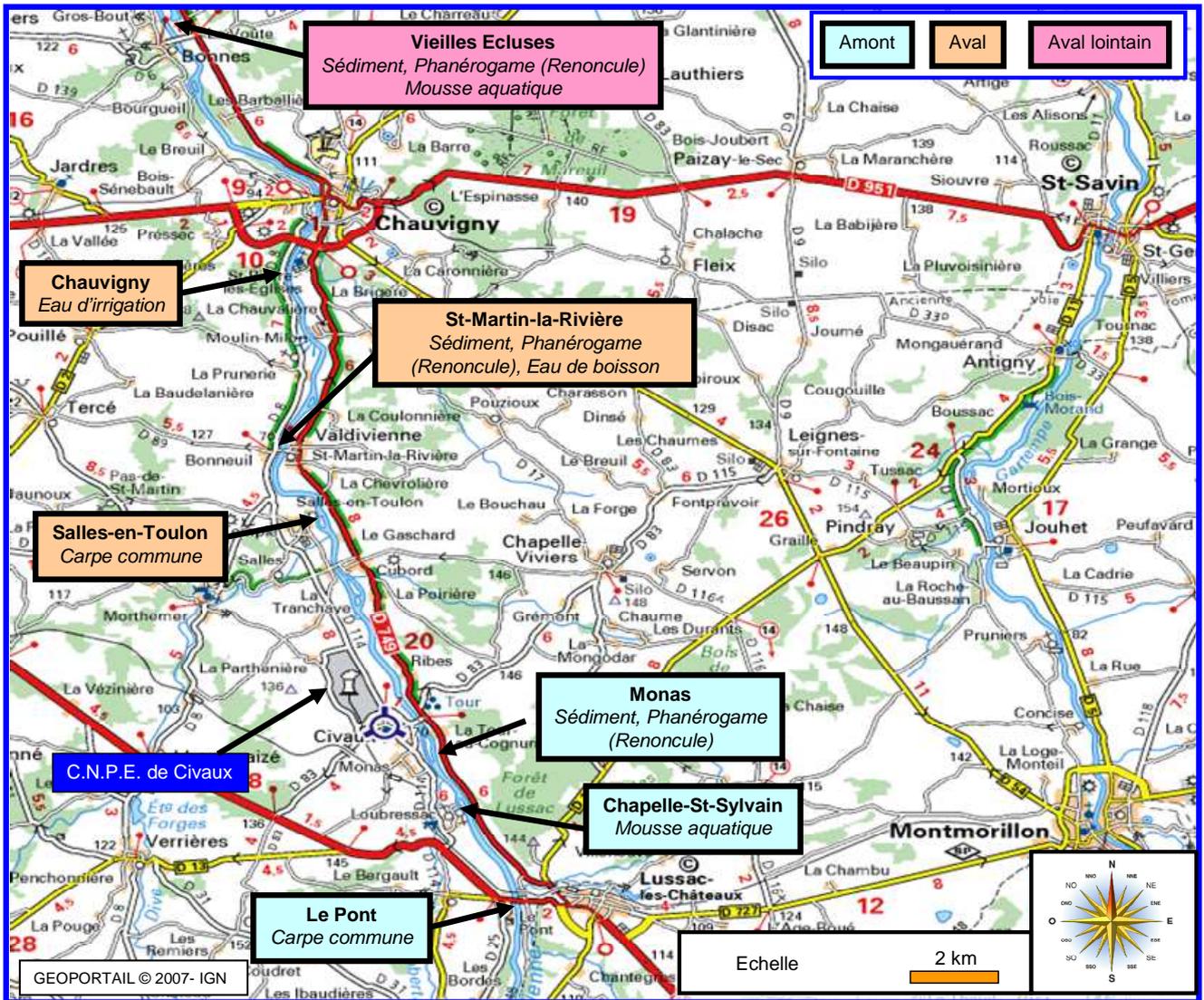


Figure 9-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Civaux.

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 2020, 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 323). 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 ^{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 ^7Be 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 2020 par la présence de ^{137}Cs et d' ^{131}I (Tableau 9-23, page 324).

Le ^{137}Cs est détecté dans l'ensemble des matrices étudiées (sédiments, végétaux et poissons). Sa présence est mise en évidence dans les huit 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 2020 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. Aucun autre radionucléide artificiel n'est détecté par spectrométrie gamma. Aucune influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant n'est mise en évidence en 2020.

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 293, à Figure 9-11, page 296). 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' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ dans les sédiments, et de ^{134}Cs , de ^{60}Co , de ^{58}Co , d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 2020, l' ^{131}I n'est détecté qu'en amont du C.N.P.E.

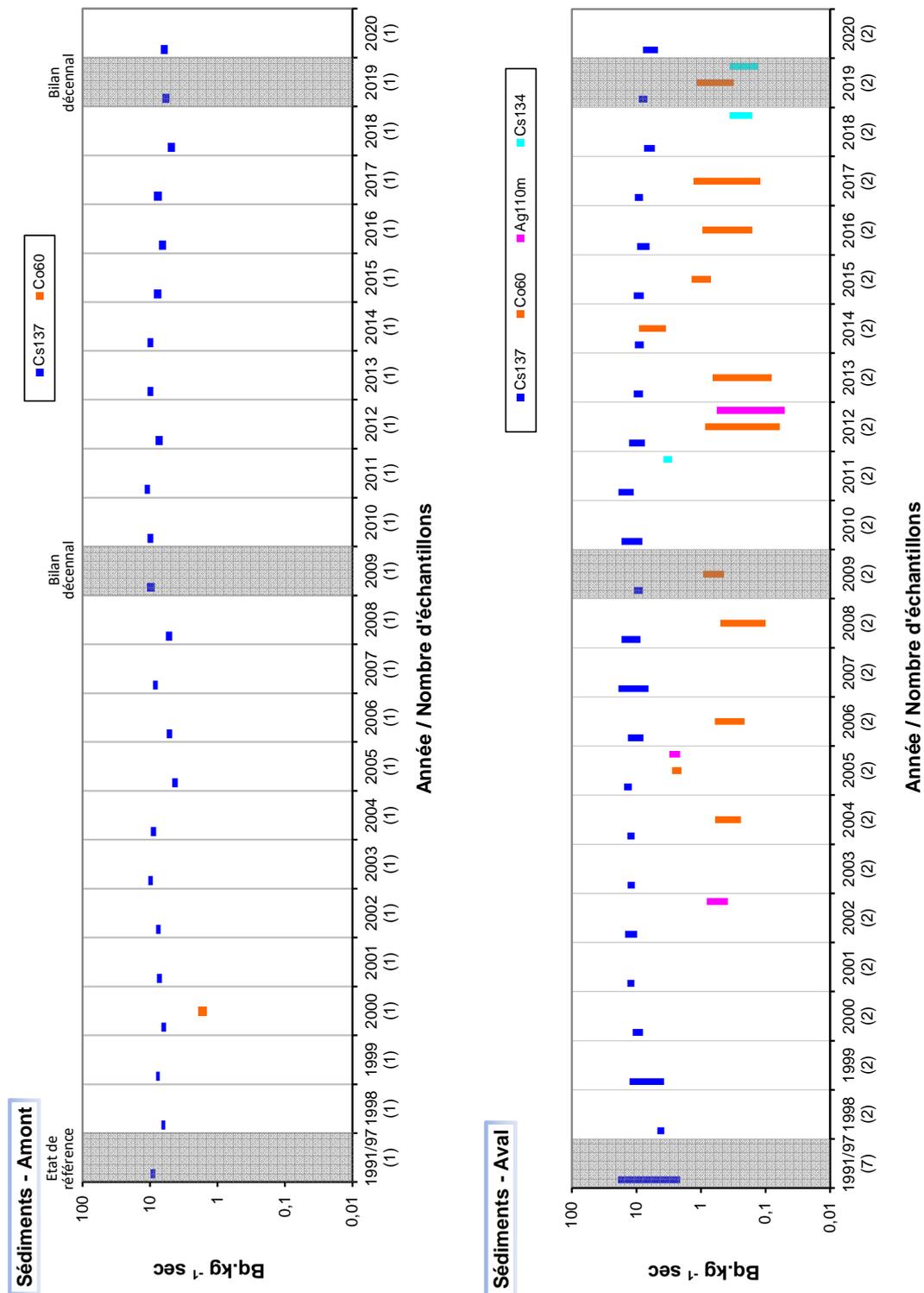


Figure 9-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2020.
 (*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

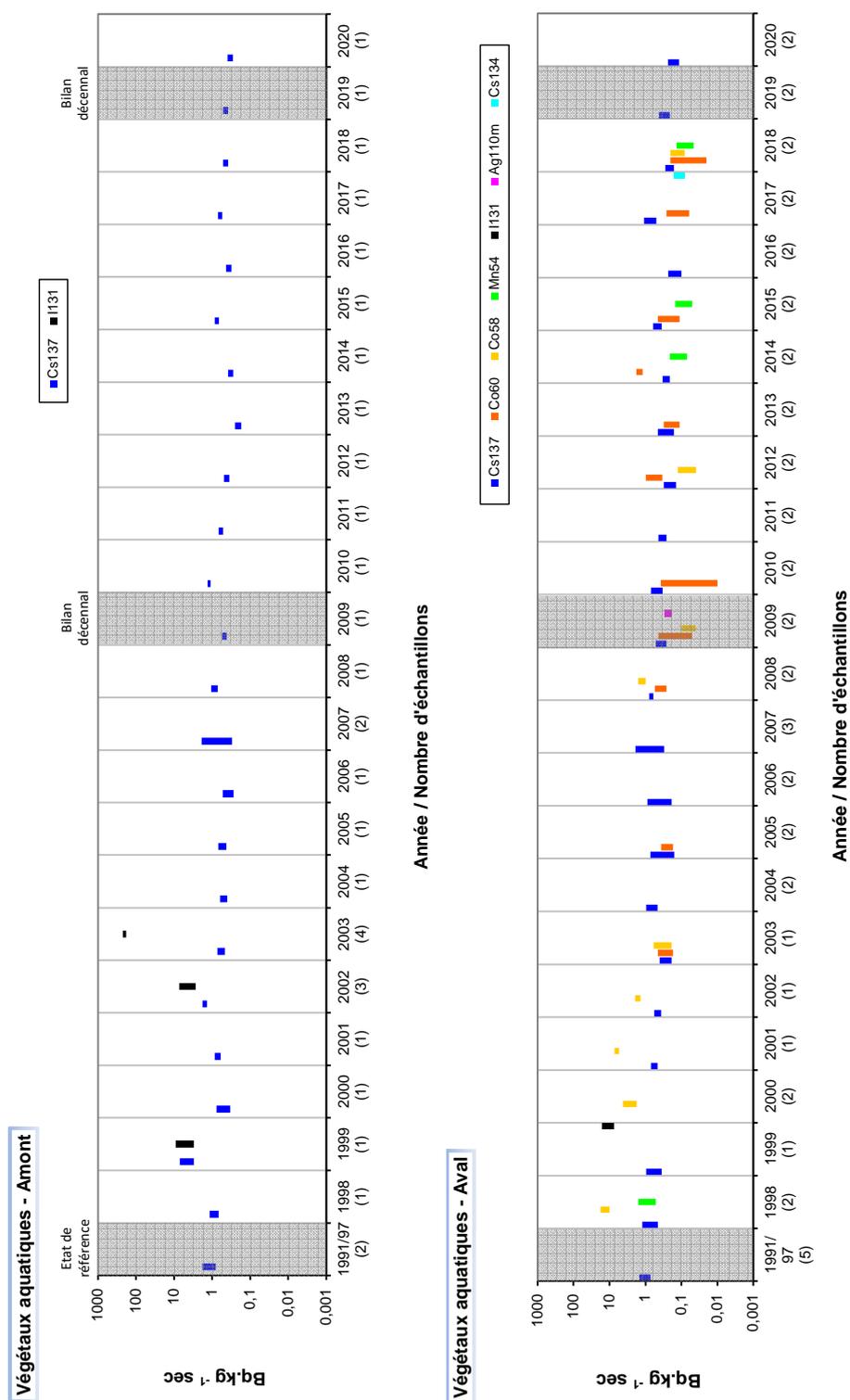


Figure 9-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2020.

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

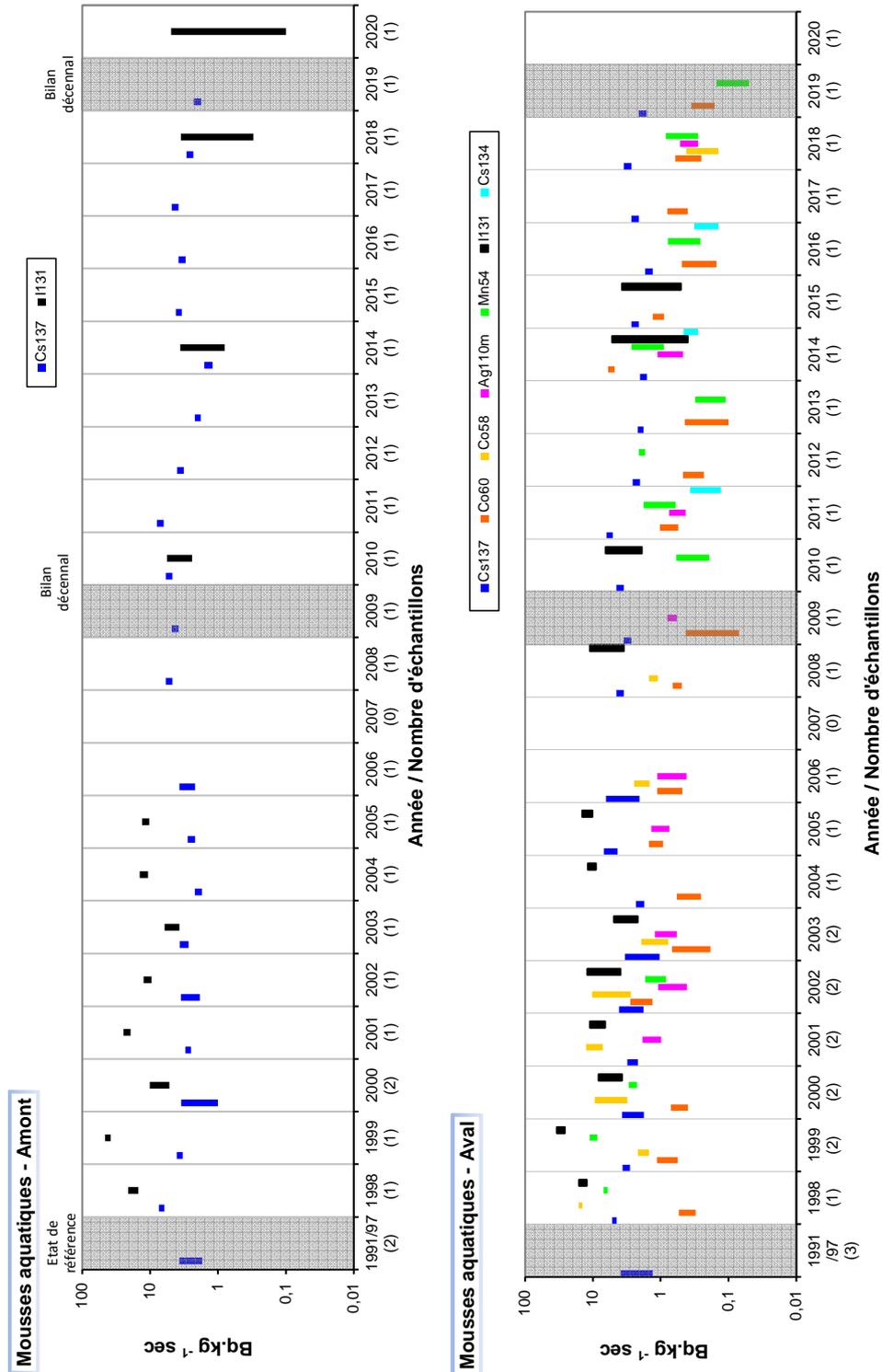


Figure 9-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2020.
 (*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude

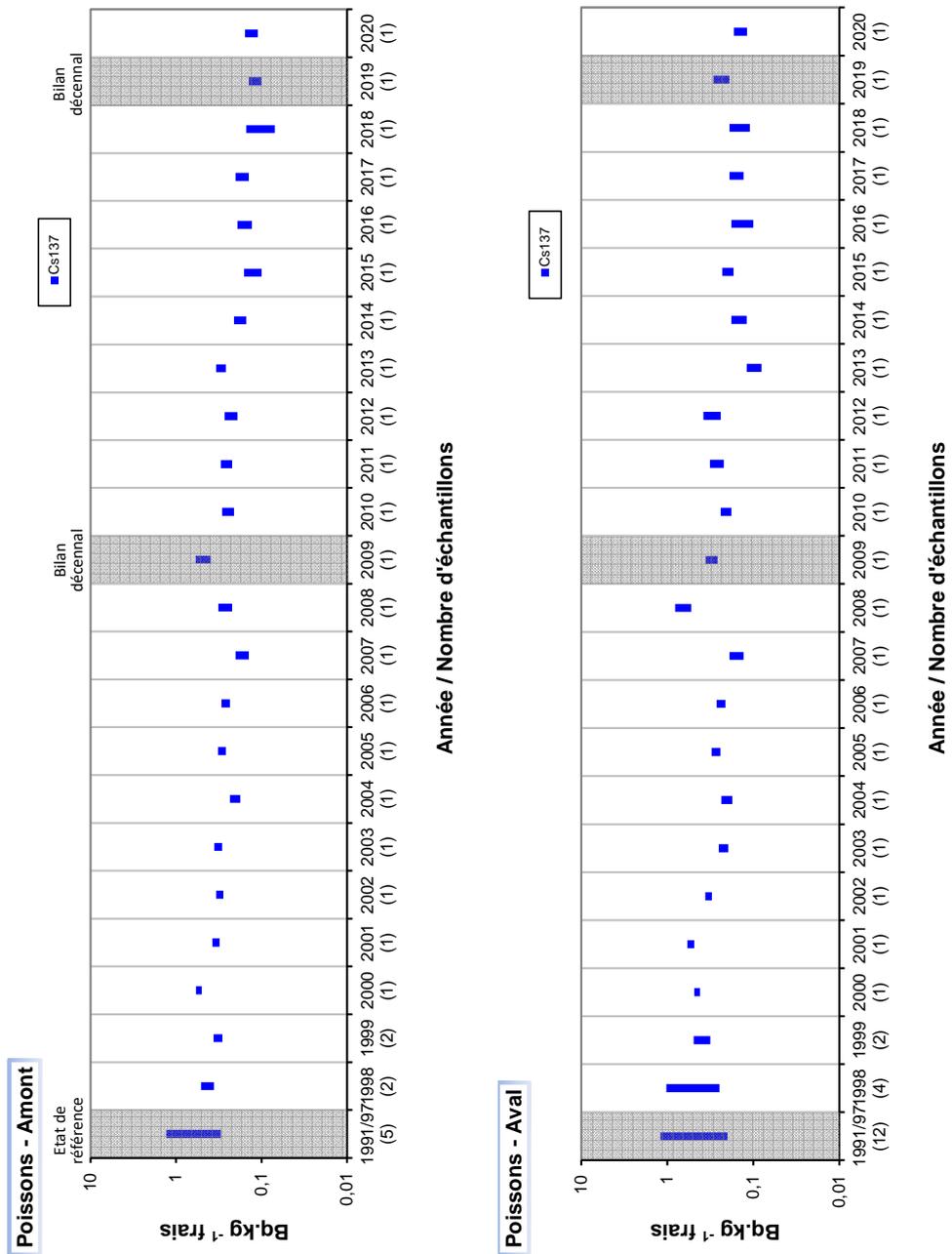


Figure 9-11. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors des études menées depuis l'état de référence, de 1991/1997, au suivi radioécologique de 2020.
 (*) 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 ^3H libre effectuées en 2020 montrent des activités inférieures aux seuils de décision ou proches de 1 Bq.L^{-1} . Ces activités sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle locale (Tableau 9-25, page 325) [3]. La détection de ^3H libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du ^3H au sein de ces milieux récepteurs [5]. Depuis 2000, la présence de manière sporadique du ^3H 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.

Le marquage en tritium libre dans les phanérogames immergées a été mis en évidence lors des bilans décennaux radioécologiques de 2009 et 2019 et lors du suivi radioécologique annuel de 2018 ainsi que ponctuellement dans les poissons.

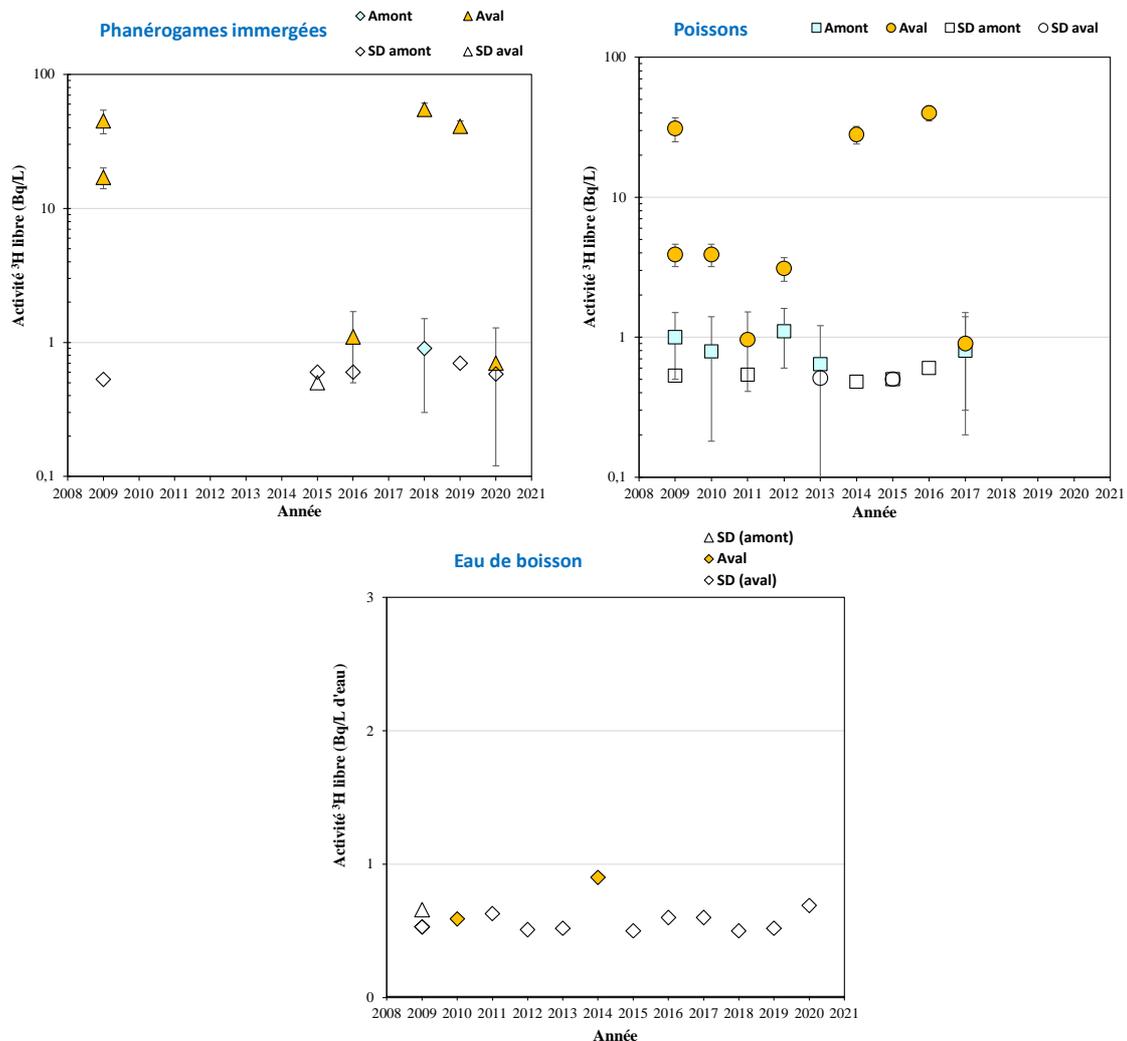


Figure 9-12. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020.

En 2020, les analyses de ^3H organiquement lié montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les phanérogames (amont et aval) ainsi que dans les poissons pêchés à l'amont du C.N.P.E. Dans les poissons pêchés à l'aval de l'installation, l'activité est de $9,3 \pm 1,4 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion (Tableau 9-26, page 326). Cette augmentation à l'aval du C.N.P.E. est cohérente 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.

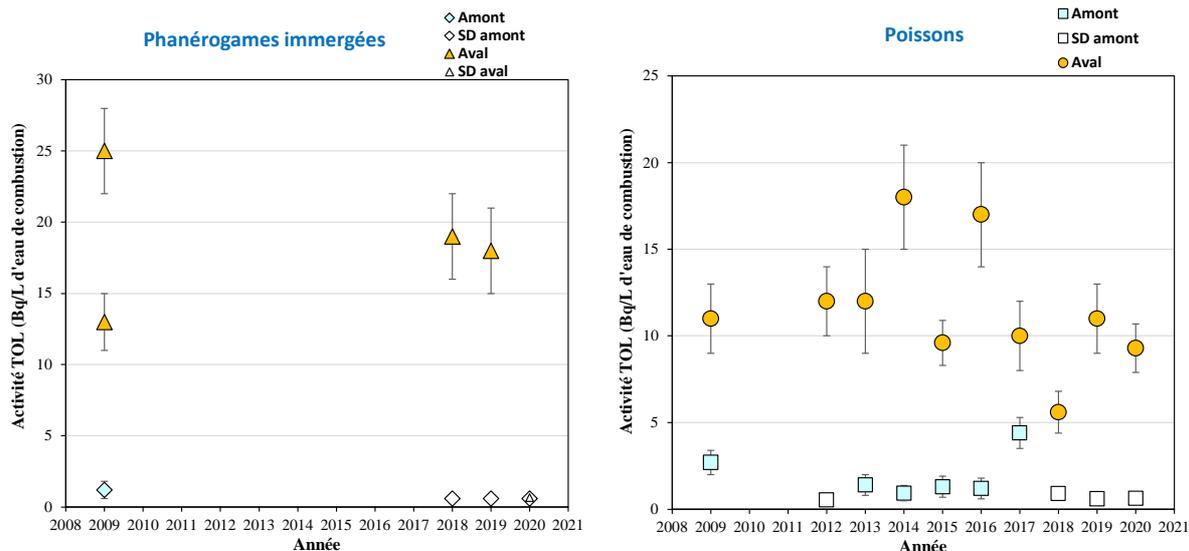


Figure 9-13. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020.

9.3.2.2.2. Carbone 14

Les analyses de ^{14}C révèlent une 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 $200\text{-}220 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone [3], et les valeurs mesurées à l'aval (Tableau 9-27, page 326). 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.

Ce constat a été confirmé lors du bilan décennal de 2019 avec des analyses dans des sédiments, des mollusques et des eaux de fleuve qui montraient des activités mesurées à l'amont cohérentes avec le niveau ambiant hors apport anthropique local et une augmentation à l'aval dans ces trois matrices.

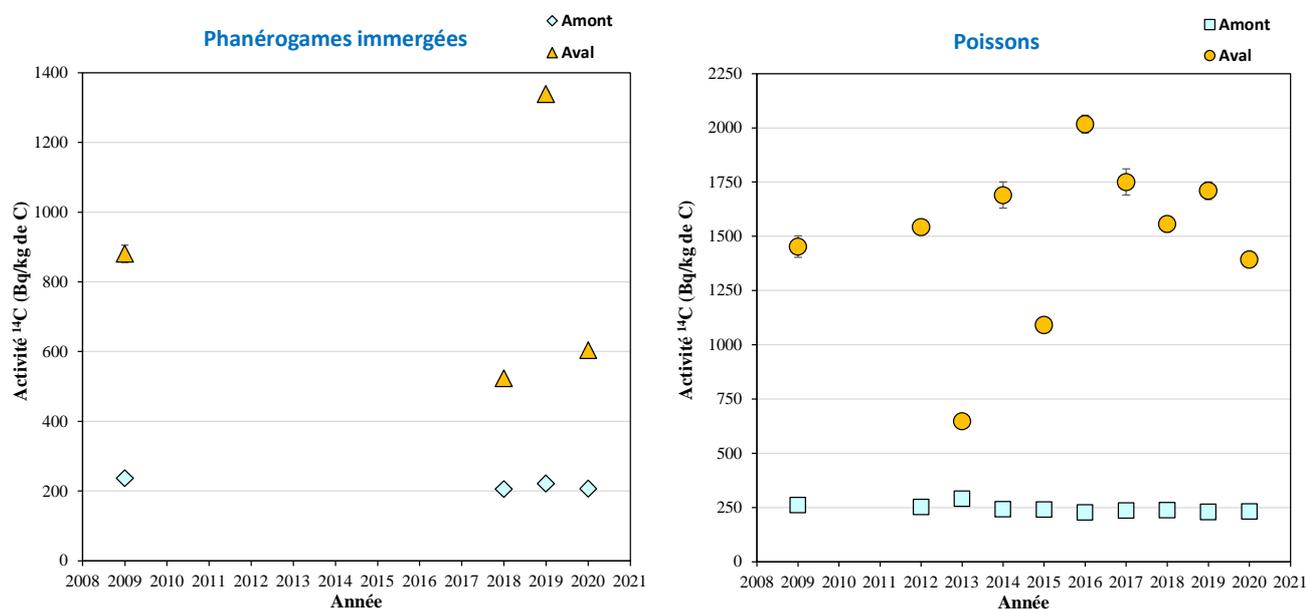


Figure 9-14. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Civaux de 2009 à 2020.

9.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2020, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les mousses aquatiques (Tableau 9-28, page 327 et Tableau 9-29, page 327). Ces résultats sont cohérents avec les résultats des années précédentes. En 2018 et 2019, le ^{63}Ni était détecté à des niveaux proches des seuils de décision. Ces résultats témoignent de l'influence ponctuelle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux sur le milieu aquatique environnant pour ce radionucléide.

9.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux

Le suivi radioécologique établi en 2020 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. Dans la continuité des années antérieures, les activités en ^3H (libre et organiquement lié) sont cohérentes avec les valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local. En 2020, les analyses de ^{14}C réalisées sont cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

En 2020, 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 2020, aucun autre radionucléide émetteur gamma n'est mis en évidence dans le milieu aquatique à l'exception de ^{131}I détecté à l'amont. Cette détection est liée aux activités de médecine nucléaire ou universitaires conduites en amont de l'installation, notamment au niveau de l'agglomération de Limoges. En 2020, les analyses de ^3H (libre et organiquement lié) dans les phanérogames et de ^{14}C dans les phanérogames et les poissons réalisées à l'amont ainsi que les analyses de ^3H (libre et organiquement lié) effectuées dans les myriophylles prélevées à l'aval montrent des activités conformes aux niveaux attendus en dehors de tout apport industriel local. Dans les poissons pêchés à l'amont, l'activité du ^3H organiquement lié est inférieure au seuil de décision. En revanche, l'augmentation à l'aval des activités du ^3H organiquement lié dans les poissons et du ^{14}C dans les phanérogames et les poissons montrent le marquage du milieu aquatique lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Civaux.

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 2020 du C.N.P.E. de Civaux.	283
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 2020.	285
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 2020.	286
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 2020.	287
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 2020.	288
Figure 9-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2020 du C.N.P.E. de Civaux.	291
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 2020.	293
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 2020.	294
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 2020.	295
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 2020.	296
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 2020.	297
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 2020.	298
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 2020.	299



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 9-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.	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 2020.	290
Tableau 9-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	305
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 2011 à 2020 ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).	306
Tableau 9-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	307
Tableau 9-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	308
Tableau 9-7. Activités du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2020 (^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	309
Tableau 9-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).	310
Tableau 9-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2016 (Bq.kg^{-1} de carbone).	311
Tableau 9-10. 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 2020.	313
Tableau 9-11. 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 2020.	314
Tableau 9-12. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.	315
Tableau 9-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.	315
Tableau 9-14. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.	315
Tableau 9-15. Activités du ^{14}C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.....	316
Tableau 9-16. 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 2020.	316
Tableau 9-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).	317

Tableau 9-18. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ de C}$; ^3H : Bq.L^{-1}).....	318
Tableau 9-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les phanérogames prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ de C}$; ^3H : Bq.L^{-1}).....	319
Tableau 9-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).....	320
Tableau 9-21. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ frais}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ de carbone}$; ^3H : Bq.L^{-1}).....	321
Tableau 9-22. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.....	323
Tableau 9-23. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.....	324
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 2020.....	325
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 2020.....	325
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 2020.....	326
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 2020.....	326
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 2020.....	327
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 2020.....	327
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 2020.....	328

Tableau 9-3. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin/nov. 2017	avril/mai 2018	avril 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	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	1,0 à 23,8 km	1,0 et 12,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	2,5 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	2,6-6,0 (2/2)	2,33-6,26 (10/10)	2,76-3,72 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{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.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

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 2011 à 2020 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	juin 2018	avril 2019	sept. 2020
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 km	1,8 et 16,8 km	1,8 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
¹³⁴ Cs	1,6 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	4,8 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	23-25 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 9-5. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les salades/choux prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2011	sept. 2012	août 2013	sept. 2014	juin 2015	juil. 2016	juin 2017	juin 2018	juil. 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	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	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)	0,117-0,216 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	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)	226,5-228,7 (2/2)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,9 (1/1)	1,5 (1/1)	2,1 (1/1)	1,65 (1/1)	-
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,5 (1/1)	-	-	-	-

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

Tableau 9-6. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les herbes prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juil./nov. 2017	avril 2018	avril 2019	juil. 2020
Distance par rapport au site	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 et 12,5 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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	245 (1/1)	240 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)	n.a.	225,8-233,5 (2/2)	n.a.
^3H libre	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 (1/2)	1,38 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,8-1,0 (2/2)	-	0,91 (1/2)	0,93 (1/1)

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

Tableau 9-7. Activités du ¹⁴C, du ³H libre et du ³H organiquement lié dans les herbes trimestrielles prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2020 (¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ³H : 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	1,0 km	1,0 km	1,0 km	1,0 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.	1,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.											
³ H organiquement lié	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.											

Année de prélèvement	avril 2019	juil. 2019	oct. 2019	janv. 2020	avril 2020	juil. 2020	oct. 2020	janv. 2021
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
Emetteurs β								
¹⁴ C	230 (1/1)	227 (1/1)	238 (1/1)	227 (1/1)	234 (1/1)	232 (1/1)	234 (1/1)	231 (1/1)
³ H libre	1,79 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,38 (1/1)	n.a.	n.a.
³ H organiquement lié	0,91 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,93 (1/1)	n.a.	n.a.

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

Tableau 9-8. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	mai 2018	avril 2019	sept. 2020
Distance par rapport au site	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,5 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 km	8,1 et 14 km	8,1 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,0076 (1/1)	-	-	0,011 (1/1)	0,0082 (1/1)	-	-	0,0088 (1/1)	0,0075- 0,0088 (2/2)	0,0162 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	240 (1/1)	230,0 (1/1)	230 (1/2)	229 (1/2)
^3H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	1,4 (1/1)	1,8 (1/1)	0,72 (1/1)	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 9-9. Activités du ^{14}C dans les échantillons trimestriels de laits prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2015 à 2016 (Bq.kg $^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017
Distance par rapport au site	8,1 km							
Emetteurs β								
^{14}C	232 (1/1)	227 (1/1)	236 (1/1)	232 (1/1)	235 (1/1)	229 (1/1)	235 (1/1)	229 (1/1)



Tableau 9-10. 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 2020.

Hors vents		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	
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	14/09/20	16/09/20	Frais	148 ± 26	11,8 ± 3,4	< 8,6	n.a.	235 ± 36	319 ± 38
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	21/07/20	03/08/20	Cendres	1350 ± 190	< 0,36	< 0,85	n.a.	1,9 ± 1,5	9,9 ± 1,3
Chapelle-Viviers	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	03/08/20	Cendres	780 ± 110	< 0,23	< 0,60	n.a.	< 1,0	5,03 ± 0,73
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	30/09/20	Sec	223 ± 32	34,0 ± 4,4	n.a.	26 ± 14	n.a.	2,5 ± 1,4
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	21/09/20	Sec	740 ± 110	40,1 ± 5,2	n.a.	21 ± 18	n.a.	< 1,3
Station AS1	Pâture, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/09/20	21/09/20	Cendres	208 ± 30	0,67 ± 0,16	< 0,50	n.a.	46,0 ± 6,7	238 ± 27
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	17/12/20	Cendres	48,0 ± 6,8	< 0,030	< 0,072	n.a.	< 0,11	< 0,16

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

Tableau 9-11. 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 2020.

Hors vents		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine artificielle									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	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
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	14/09/20	16/09/20	Frais	< 0,73	4,8 ± 1,0	< 0,64	< 0,70	< 0,73	< 0,64	< 0,78
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	21/07/20	03/08/20	Cendres	< 0,076	0,117 ± 0,081	< 0,089	< 0,10	< 0,092	< 0,083	n.a.
Chapelle-Viviers	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	03/08/20	Cendres	< 0,049	0,216 ± 0,060	< 0,057	< 0,065	< 0,059	< 0,053	n.a.
Sillars	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	30/09/20	Sec	< 0,13	3,72 ± 0,43	< 0,13	< 0,12	< 0,15	< 0,13	n.a.
Station AS1	Sol non cultivé	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	15/09/20	21/09/20	Sec	< 0,16	2,77 ± 0,33	< 0,14	< 0,15	< 0,17	< 0,19	n.a.
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	15/09/20	21/09/20	Cendres	< 0,033	< 0,032	< 0,032	< 0,037	< 0,037	< 0,031	n.a.
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	17/12/20	Cendres	< 0,0077	0,0162 ± 0,0078	< 0,018	< 0,0096	< 0,011	< 0,0090	n.a.

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

Sous les vents

							¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais
Cubord (Le Peu)	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	14/09/20	26/02/21	Lyophilisée	< 47

Tableau 9-12. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Sous les vents

							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Chapelle-Viviers	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	06/10/20	Eau de lyophilisation	< 0,59	< 0,48
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/07/20	09/08/20	Eau de lyophilisation	1,38 ± 0,51	0,87 ± 0,32
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	27/11/20	Eau de lyophilisation	0,63 ± 0,57	0,53 ± 0,48

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

Tableau 9-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Sous les vents

							³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait	Bq.kg ⁻¹ MO
Chapelle-Viviers	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	24/10/20	Lyophilisée	< 0,59	< 0,062	< 0,35
Station AS1	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	07/07/20	21/10/20	Lyophilisée	0,93 ± 0,63	0,20 ± 0,14	0,61 ± 0,42
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	02/02/21	Lyophilisée	< 0,708	< 0,064	< 0,54

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

Tableau 9-14. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot g.kg ⁻¹ frais (végétaux) g.L ⁻¹ de lait	¹³ C/ ¹² C ‰	PMC %
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait			
Bignoux	Production agricole	Salade Laitue <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	21/07/20	30/07/21	Lyophilisée	226,5 ± 1,2	12,665 ± 0,067	56	-26,75	101
Chapelle-Viviers	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	22/07/20	24/03/21	Lyophilisée	228,7 ± 1,0	19,066 ± 0,083	83	-28,91	102
Fontprévoir	Lait	Lait de vache	Entier	15/09/20	06/03/21	Lyophilisée	229,0 ± 8,0	15,16 ± 0,53	66	-21,62	101

Tableau 9-15. Activités du ¹⁴C des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Hors vents	Sous les vents
------------	----------------

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Sillars	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	15/09/20	15/10/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	31,07
				Limons fins	11,75
				Limons grossiers	10,51
				Sables fins	23,50
				Sables grossiers	23,16
	Teneur en matières organiques	11,50			
Station AS1	Sol de prairie Horizon 0 - 5 cm	15/09/20	15/10/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	20,73
				Limons fins	9,51
				Limons grossiers	8,44
				Sables fins	12,71
				Sables grossiers	48,61
	Teneur en matières organiques	6,40			

Tableau 9-16. 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 2020.

Tableau 9-17. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux prélevées dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011	fév./mai 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	juin 2017	mai/oct. 2018	juil. 2019	juil./sept. 2020
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 et 10 km	2,7 à 10 km	5,9 et 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.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β										
^3H libre	-	-	-	0,90 (1/1)	-	-	-	53 (1/2)	36,1 (1/4)	-

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

Tableau 9-18. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ de C}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2011		juil. 2012		août 2013		août 2014		juin 2015		juil. 2016		sept. 2017		oct. 2018		août 2019		juil. 2020	
	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	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)	6,21 (1/1)	5,25- 7,07 (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)	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	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.	222,3 (1/1)	377,8 (1/1)	n.a.	n.a.
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	2,54 (1/1)	n.a.	n.a.

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

Tableau 9-19. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les phanérogames prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril 2011		juil. 2012		juin 2013		août 2014		sept. 2015		juil. 2016		sept. 2017		oct. 2018		juin 2019		juil. 2020	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval														
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12 (1/2)	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,340 (1/1)	0,141- 0,204 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	0,082 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	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)	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	0,14 (1/2)	-	0,10 (1/2)	-	-	-	-	-	0,090 (1/2)	-	-	-	-
^{131}I	n.a.	n.a.	-	-	-	-														
Emetteurs β																				
^{14}C	n.a.	n.a.	206 (1/1)	524 (1/1)	222,0 (1/1)	1338,8 (1/1)	207,0 (1/1)	604,3 (1/1)												
^3H libre	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)	-	0,70 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	-	19 (1/1)	-	18,1 (1/1)	-	-												

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

Tableau 9-20. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les mousses aquatiques prélevées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	sept. 2011		sept. 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		oct. 2018		juil. 2019		juil. 2020	
	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.	-	-	n.a.	n.a.
^{137}Cs	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)	n.a.	n.a.
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	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)	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	0,59 (1/1)	-	-	-	-	-	0,79 (1/1)	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.
^{54}Mn	-	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)	n.a.	n.a.
^{131}I	-	-	-	-	-	-	2,2 (1/1)	2,8 (1/1)	-	2,1 (1/1)	-	-	-	-	1,9 (1/1)	-	-	-	2,5 (1/1)	-
Emetteurs β																				
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 9-21. Activités des principaux radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux de 2011 à 2020 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ frais ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	oct. 2011		juin 2012		sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		sept. 2016		sept. 2017		sept. 2018		nov. 2019		oct. 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval														
Emetteurs γ d'origine artificielle																				
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,133 (1/1)	0,143 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																				
^{14}C	-	-	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)	231,3 (1/1)	1392,7 (1/1)
^3H libre	-	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.	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	-	-	-	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)	-	9,3 (1/1)

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



Tableau 9-22. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

			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	22/07/20	22/02/21	Sec	578 ± 83	62,5 ± 8,1	n.a.	106 ± 28	n.a.	61 ± 13
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	01/03/21	Sec	554 ± 79	58,0 ± 7,5	n.a.	87 ± 27	n.a.	37 ± 12
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	01/03/21	Sec	527 ± 76	62,5 ± 8,1	n.a.	105 ± 28	n.a.	52 ± 14
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	22/07/20	04/08/20	Cendres	840 ± 120	55,6 ± 7,2	6,7 ± 1,3	n.a.	5,4 ± 1,3	8,04 ± 0,99
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	23/07/20	Cendres	830 ± 120	21,9 ± 2,8	4,7 ± 2,3	n.a.	2,6 ± 1,5	4,19 ± 0,53
Vieilles Ecluses Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	23/07/20	Cendres	930 ± 130	17,9 ± 2,3	5,8 ± 1,4	n.a.	6,6 ± 1,7	7,08 ± 0,84
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	18/01/21	Cendres	102 ± 15	< 0,064	< 0,14	n.a.	< 0,21	< 0,35
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	25/01/21	Cendres	113 ± 16	< 0,066	< 0,15	n.a.	< 0,22	< 0,40

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

Tableau 9-23. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

			Emetteurs γ d'origine artificielle										
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Monas Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	22/07/20	22/02/21	Sec	< 0,32	6,21 ± 0,72	< 1,5	< 0,22	< 0,51	< 0,40	n.a.
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	01/03/21	Sec	< 0,32	5,25 ± 0,61	< 1,6	< 0,23	< 0,50	< 0,41	n.a.
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	23/07/20	01/03/21	Sec	< 0,28	7,07 ± 0,82	< 1,6	< 0,24	< 0,48	< 0,37	n.a.
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	22/07/20	04/08/20	Cendres	< 0,073	0,340 ± 0,055	< 0,074	< 0,077	< 0,085	< 0,092	n.a.
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	23/07/20	Cendres	< 0,045	0,141 ± 0,026	< 0,063	< 0,054	< 0,048	< 0,066	n.a.
Vieilles Ecluses Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	23/07/20	Cendres	< 0,045	0,204 ± 0,030	< 0,057	< 0,053	< 0,055	< 0,064	n.a.
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	23/07/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,5 ± 2,4
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	23/07/20	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 2,3
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	18/01/21	Cendres	< 0,017	0,133 ± 0,023	< 0,038	< 0,021	< 0,025	< 0,19	n.a.
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	25/01/21	Cendres	< 0,019	0,143 ± 0,025	< 0,042	< 0,022	< 0,027	< 0,020	n.a.

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

Amont		Aval lointain						¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais	
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Entier	21/07/20	26/02/21	Lyophilisée	< 5,0	
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Entier	21/07/20	26/02/21	Lyophilisée	< 4,8	

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 2020.

Amont		Aval							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais		
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	22/07/20	18/08/20	Eau de lyophilisation	< 0,58	< 0,52		
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	29/08/20	Eau de lyophilisation	0,70 ± 0,58	0,62 ± 0,51		
St-Martin-la-Rivière	Eau	Eau de boisson	Entier	14/09/20	27/09/20	Entier	< 0,69	-		
Chauvigny	Eau	Eau d'irrigation	Entier	23/07/20	29/09/20	Entier	< 0,71	-		

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 2020.

Amont		Aval								³ H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO			
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	22/07/20	10/02/21	Eau de combustion	< 0,60	< 0,028	< 0,32			
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	30/10/20	Eau de combustion	< 0,67	< 0,033	< 0,34			
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	02/03/21	Eau de combustion	< 0,64	< 0,11	< 0,47			
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	27/02/21	Eau de combustion	9,3 ± 1,4	1,50 ± 0,28	6,8 ± 1,3			

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 2020.

Amont		Aval									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot	¹³ C/ ¹² C	PMC
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais	g.kg ⁻¹ frais	‰	%
Monas Rive gauche	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	22/07/20	24/03/21	Lyophilisée	207,0 ± 1,2	8,643 ± 0,050	42	-24,00	91
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Phanérogame immergée	Renoncule <i>Ranunculus aquatica</i>	Entier	23/07/20	24/03/21	Lyophilisée	604,3 ± 2,8	27,68 ± 0,13	46	-26,08	268
Le Pont Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	30/07/21	Lyophilisée	231,3 ± 1,5	31,01 ± 0,20	134	-25,62	102
Salles-en-Toulon (Ile des Dessous) Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	13/10/20	30/07/21	Lyophilisée	1392,7 ± 6,2	165,55 ± 0,74	119	-24,48	616

Tableau 9-27. Activités du ¹⁴C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval lointain						⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	04/03/21	Eau de lyophilisation	< 1,5	
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	05/03/21	Eau de lyophilisation	< 1,2	

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

Tableau 9-28. Activités du ⁶³Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

Amont		Aval lointain						⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Chapelle St-Sylvain Gué de la Biche	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	22/03/21	Eau de lyophilisation	< 3,3	
Vieilles Ecluses Au milieu du seuil	Mousse aquatique	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Entier	21/07/20	24/03/21	Eau de lyophilisation	< 1,7	

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

Tableau 9-29. Activités du ⁵⁵Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Civaux lors du suivi radioécologique de 2020.

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

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Monas Rive gauche	Sédiment	22/07/20	15/10/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	18,76
				Limons fins	14,69
				Limons grossiers	18,19
				Sables fins	38,19
				Sables grossiers	10,17
Teneur en matières organiques	11,30				
St-Martin-la-Rivière Rive droite	Sédiment	23/07/20	15/10/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	17,88
				Limons fins	18,47
				Limons grossiers	17,64
				Sables fins	31,94
				Sables grossiers	14,06
Teneur en matières organiques	15,90				
Vieilles Ecluses Rive droite	Sédiment	23/07/20	15/10/20	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	22,61
				Limons fins	22,85
				Limons grossiers	22,25
				Sables fins	28,90
				Sables grossiers	3,39
Teneur en matières organiques	17,20				

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 2020.

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] 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>.



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

- Année 2020 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux



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 (légumes feuilles), des sols et des herbes de prairie et du lait. Dans le milieu aquatique, les échantillons prélevés sont des sédiments, des végétaux aquatiques (phanérogames et mousses aquatiques), des poissons et des eaux (boisson, irrigation...). Les campagnes de prélèvements se sont déroulées de juillet à octobre 2020. Le planning prévisionnel a été fortement impacté par la crise sanitaire liée à la COVID 19.

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 , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{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 et de carbone 14. 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 tritium (libre et organiquement lié) et de ^{14}C dans les légumes feuilles (ZHV et/ou ZSV), les herbes (ZSV) et/ou les laits (ZSV). Dans le milieu aquatique, ces radionucléides sont analysés dans les végétaux aquatiques et/ou les poissons 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 2020 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 2020

La Figure 10-1 (page 334) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés en 2020 (>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, légumes feuilles, 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 2020, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de ¹³⁷Cs dans l'ensemble des matrices du milieu terrestre. Il est observé dans 26 des 31 échantillons (84%) 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 ¹³⁷Cs en 2020 provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

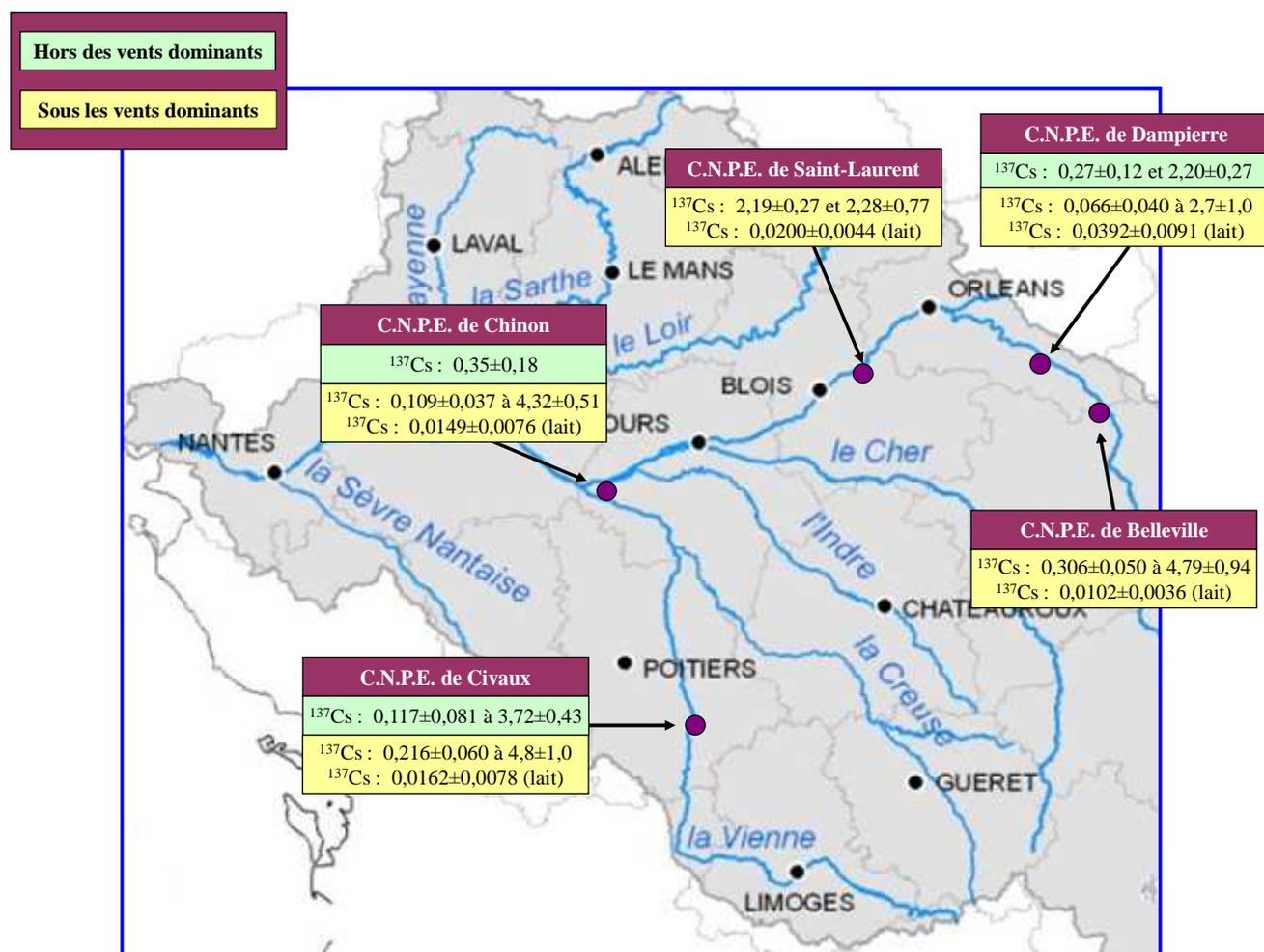


Figure 10-1. Synthèse des activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés dans les échantillons prélevés en 2020 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

La Figure 10-2 (page 335) 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.

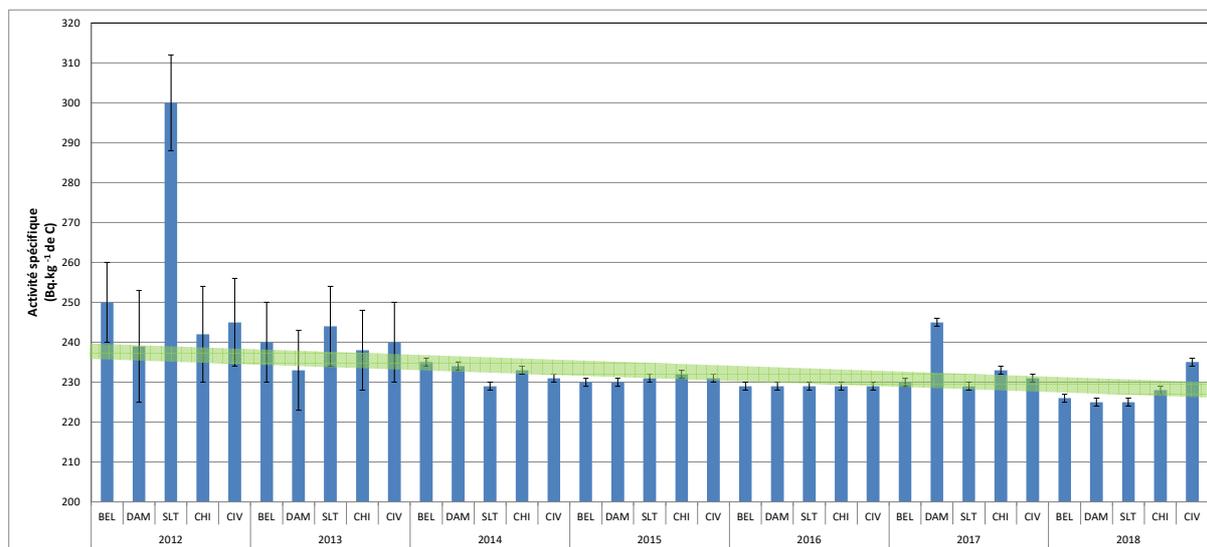


Figure 10-2. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les herbes de pâturage prélevées dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire de 2012 à 2018. Le bandeau vert représente le bruit de fond ambiant hors influence industrielle (227 Bq.kg^{-1} de C).

En 2020, les analyses de ^{14}C réalisées dans les légumes feuilles, les herbes de pâturage et/ou les laits 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 2020 [1]. Ponctuellement, les activités mesurées dans les légumes feuilles 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 ^3H , libre et organiquement lié, réalisées en 2020 sur les légumes feuilles, 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] à l'exception de l'activité en ^3H organiquement lié proche 4 Bq.L^{-1} d'eau de combustion mesurée dans les légumes feuilles prélevées sous les vents dominants dans l'environnement du C.N.P.E. de Chinon-Avoine qui témoigne d'un apport anthropique local.

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 , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am) dans les mousses terrestres et/ou les sols non cultivés 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.

10.2 Radioécologie du milieu aquatique en 2020

Les Figure 10-3 (page 336), Figure 10-4 (page 337) et Figure 10-5 (page 338) présentent les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ^{14}C , du ^3H libre et/ou du ^3H organiquement lié détectés (>SD) en 2020, 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 ^3H 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.

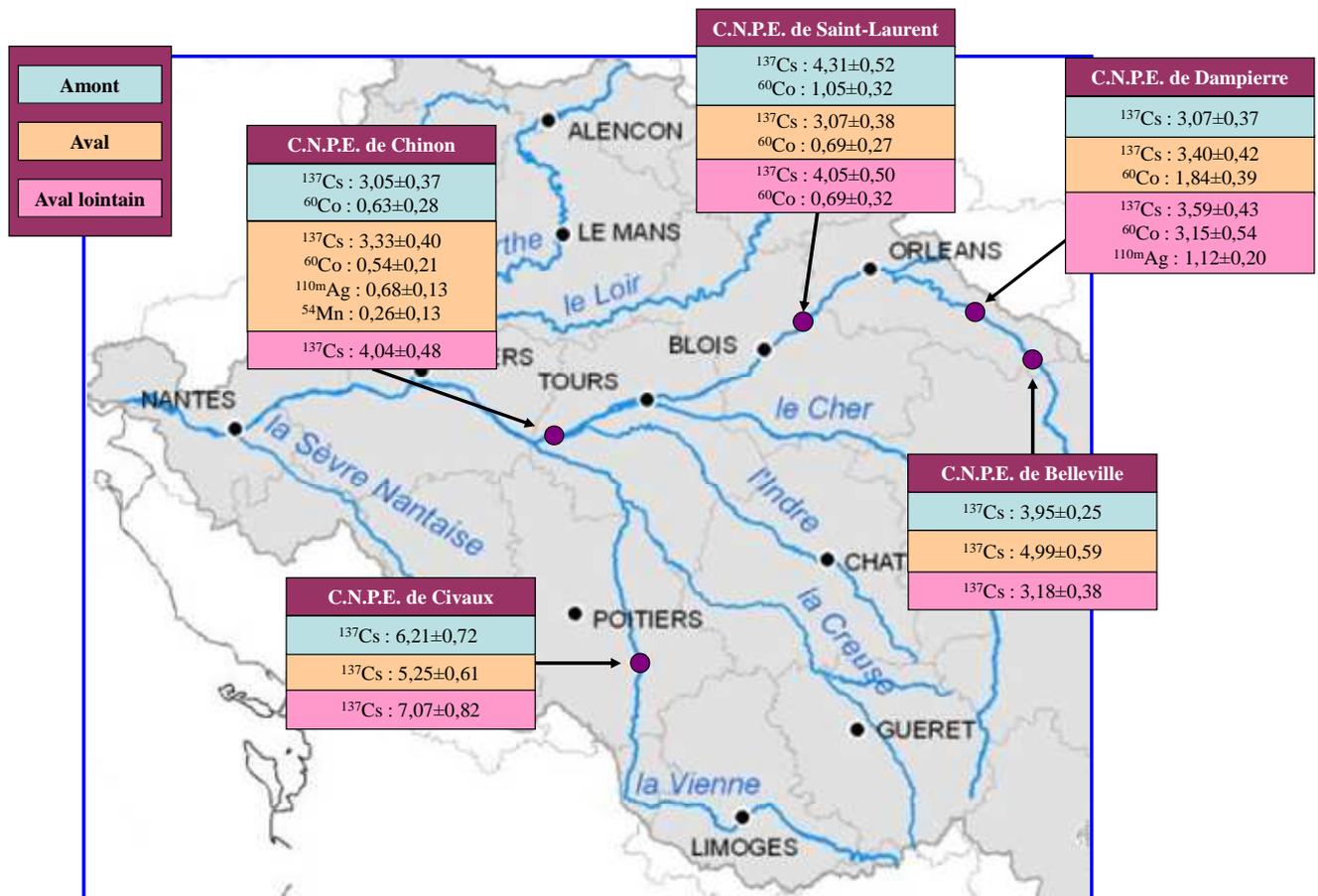


Figure 10-3. Synthèse des activités des radionucléides artificiels détectés dans les sédiments prélevés en 2020 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire (Bq.kg^{-1} sec).

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 2020 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 5 Bq.kg^{-1} sec et qu'elles sont 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 2020, 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 Belleville-sur-Loire, de Dampierre-en-Burly et de Saint-Laurent-des-Eaux témoignent d'une contribution spécifique de leurs rejets d'effluents pour ce radionucléide.

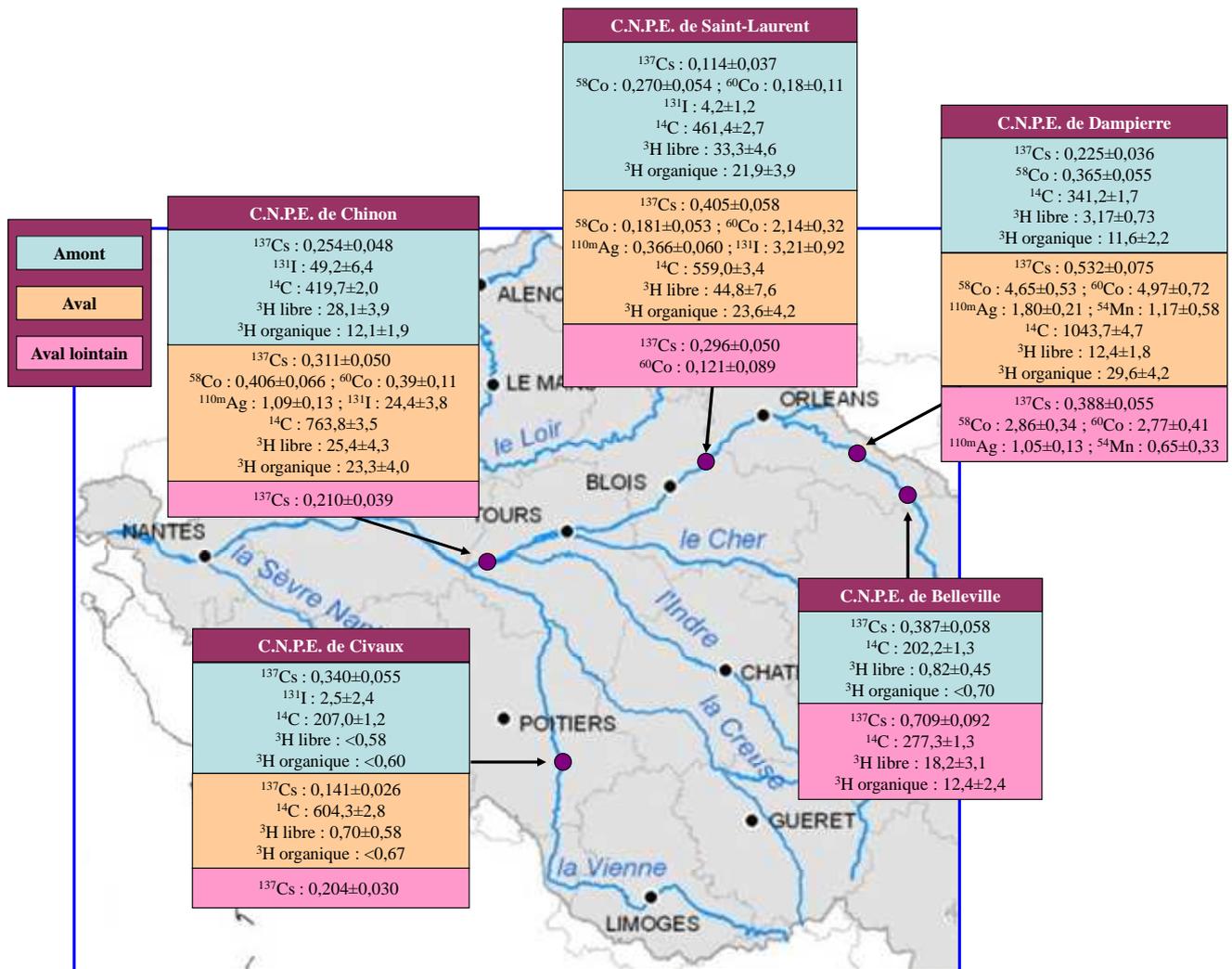


Figure 10-4. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^3H détectés dans les phanérogrames et les mousses aquatiques prélevés en 2020 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

En 2020, 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' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 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 (7/15 sédiments et 6/14 végétaux). En 2020, 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 des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et de Saint-Laurent-des-Eaux (6/14 végétaux). L' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est détecté à l'aval des C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly, de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine (2/15 sédiments et 4/14 végétaux). Enfin, le ^{54}Mn est quantifié à l'aval des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, de Dampierre-en-Burly et de Chinon-Avoine (2/15 sédiments et 2/14 végétaux).

Enfin, l' ^{131}I a été détecté dans 4 échantillons sur les 10 analysés. Il est détecté à l'amont et à l'aval des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et 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 338) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié détectés en 2020 ($>\text{SD}$) 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 ^3H 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.

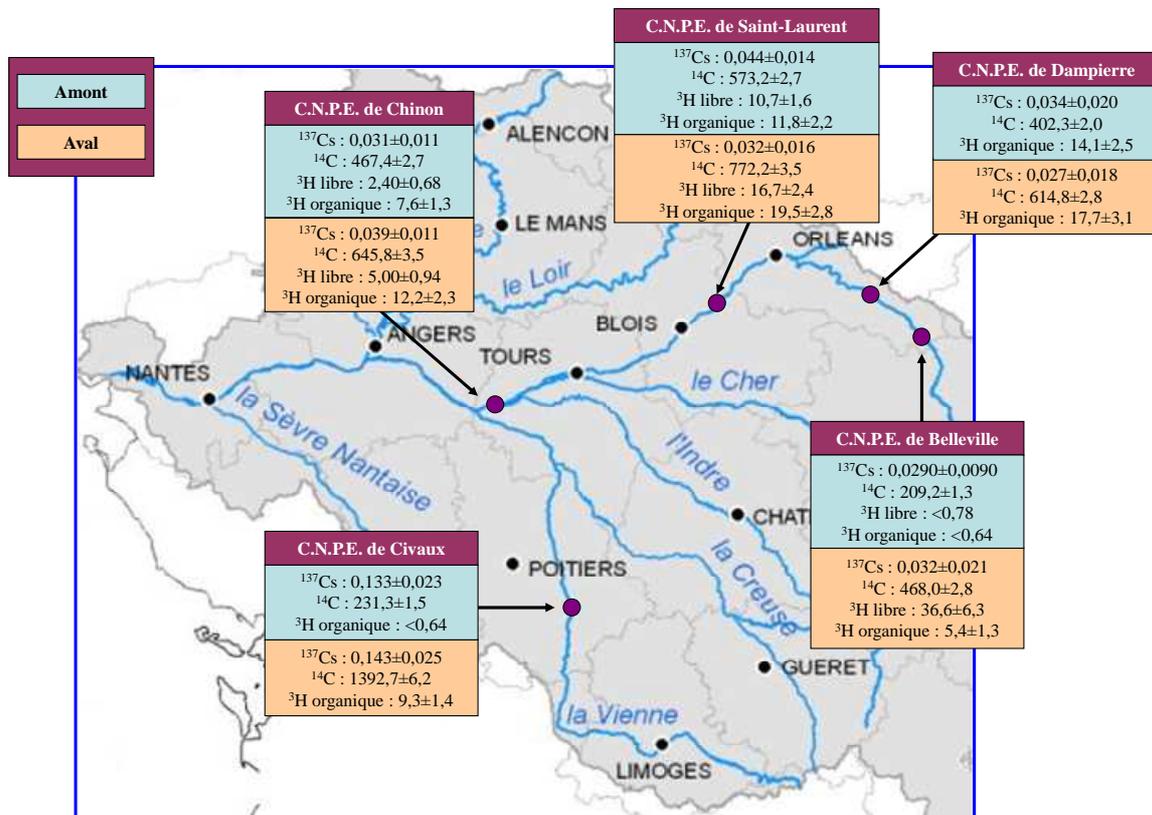


Figure 10-5. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^3H détectés dans les poissons prélevés en 2020 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

Le ^{137}Cs est détecté dans 9 des 10 échantillons de poissons analysés en 2020. 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 ^3H libre a été systématiquement analysé de 2008 à 2018 pour tous les C.N.P.E. et pour les C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon-Avoine depuis 2019. Des analyses de ^3H 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 341) et la Figure 10-7 (page 342) 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 ^3H libre et en Bq.L^{-1} d'eau de combustion pour le ^3H organiquement lié.

Le ^3H libre est régulièrement détecté dans les végétaux aquatiques et les poissons. Il possède une double origine à la fois naturelle et artificielle. En tête du bassin de la Loire, à l'amont des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Civaux, les activités mesurées en 2020 sont inférieures au seuil de décision ou proche de 1 Bq.L^{-1} et cohérentes avec la valeur ambiante hors influence industrielle [1]. Les résultats montrent des augmentations significatives à l'aval des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Dampierre-en-Burly 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 ^3H 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 ^3H au sein de ces milieux récepteurs [3].

Dans les eaux de boisson, le ^3H libre est détecté dans six échantillons sur les sept prélevés en 2020. Les activités sont proches de 1 Bq.L^{-1} à l'exception des activités mesurées dans les eaux de boisson prélevées à Blois et à Saumur. La présence de ^3H libre est régulièrement mise en évidence dans ces eaux 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 respectivement aux rejets d'effluents liquides tritiés des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et 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 ^3H 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 ($<0,6-0,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion). A l'aval, les analyses montrent une augmentation à l'aval de chaque C.N.P.E. dans les végétaux et/ou les poissons à l'exception de l'activité mesurée dans les végétaux prélevés à l'aval du C.N.P.E. de Civaux qui est inférieure au seuil de décision. Les valeurs mesurées sont comprises entre $5,4$ et $19,5 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion dans les poissons et entre $11,6$ et $29,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ 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.

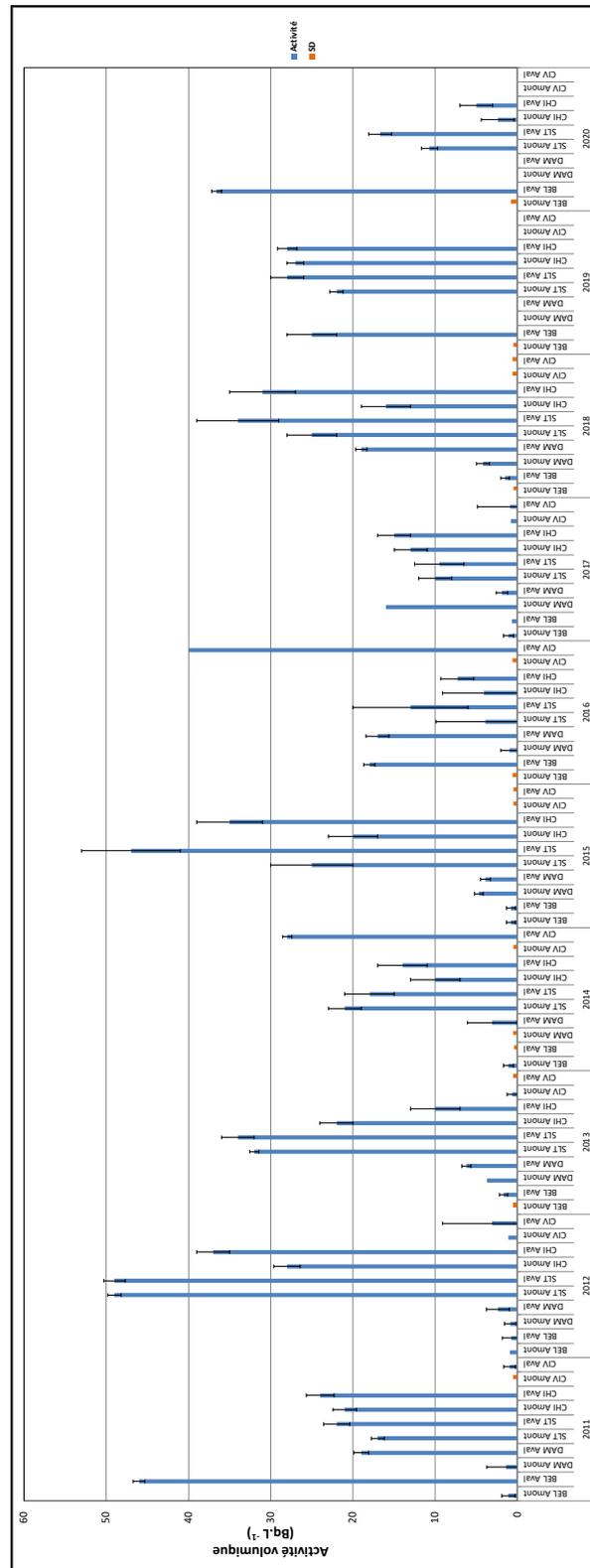


Figure 10-6. Activités volumiques du ³H libre mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur la période 2011-2020.

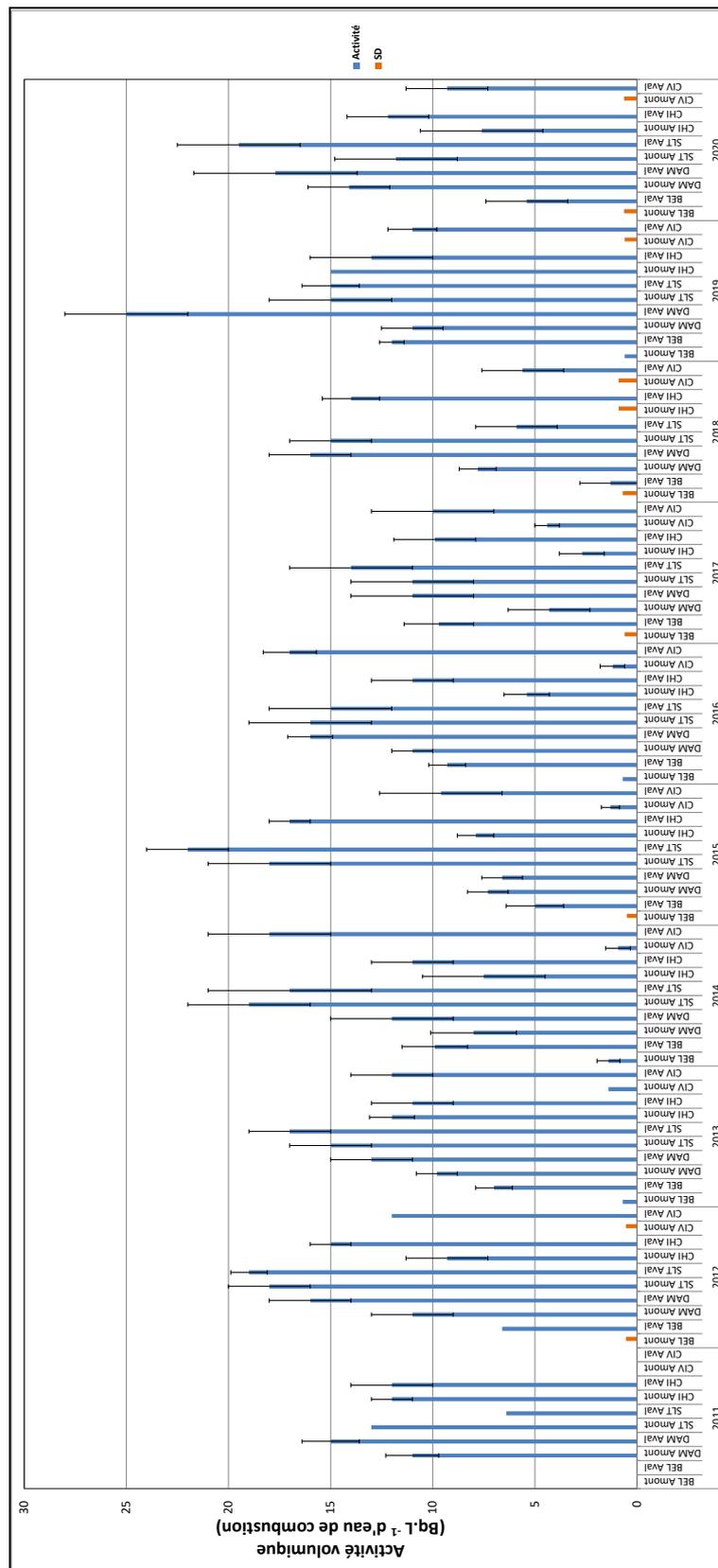


Figure 10-7. Activités volumiques du ³H organiquement lié mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur la période 2011-2020.

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 343) 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 sur la période 2011-2020.

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 $200\text{-}220 \text{ Bq.kg}^{-1}$ 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 2020 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 et 2019, les résultats obtenus en 2020 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat.

En 2020, 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 Dampierre-en-Burly 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 2020.

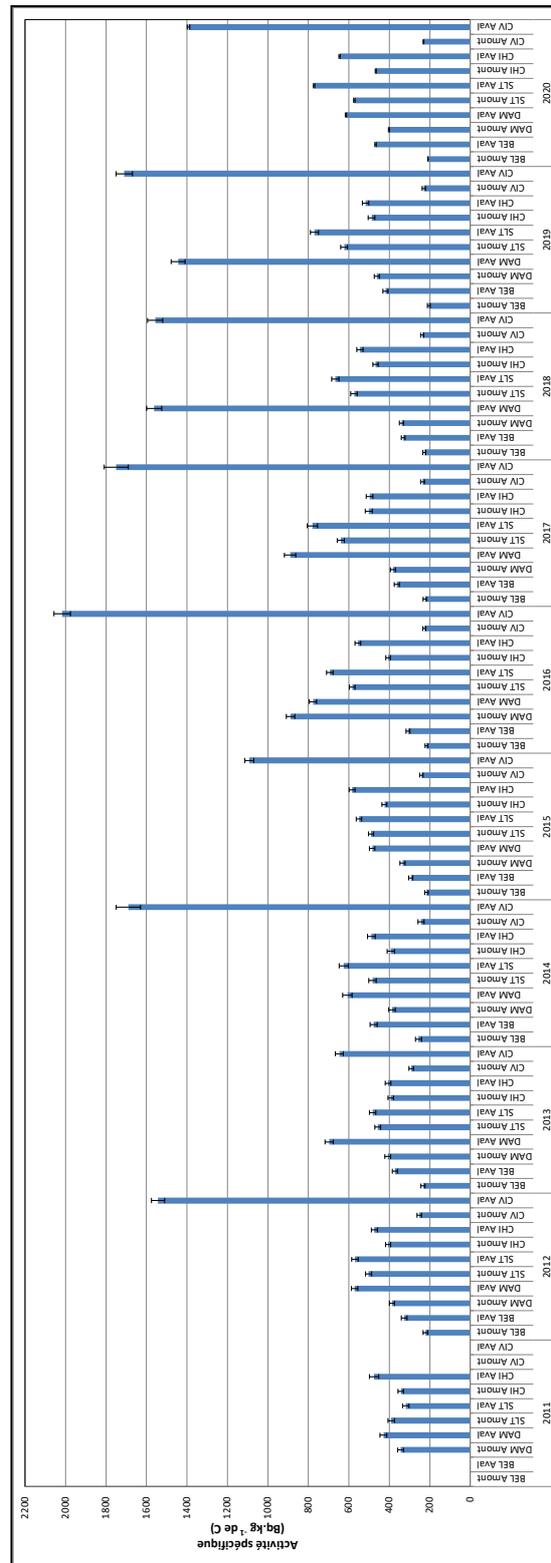


Figure 10-8. Activités spécifiques en ¹⁴C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur la période 2011-2020.



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>.



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 , $^{234}\text{Th}/^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^7Be pour les naturels et ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{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 349). 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 $0,1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sec}$ en spectrométrie gamma, de $1 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ pour les analyses de tritium libre et de $1 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 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	Élément	Type de rayonnement mesuré	Période radioactive
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	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
^7Be	Beryllium	γ	53,22 j
^{58}Co	Cobalt	γ	70,85 j
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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
^3H	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	$1,2504 \cdot 10^9$ 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.

11.5.2. 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

11.5.2.4. 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. Les prélèvements d'eaux d'irrigation sont réalisés suivant le type de station avec une canne de prélèvement, un préleveur d'eau horizontal à messager ou encore directement au niveau du système d'irrigation. Pour les eaux, la quantité prélevée est de 250 mL conditionnés dans un flacon inerte rincé préalablement 3 fois avec la même eau que celle du prélèvement.

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 (C_{tot}) et du rapport isotopique ¹³C/¹²C.

Enfin, des fractions d'échantillon sont également conditionnées pour la mesure d'iode (50 g), d'hydrogène (10 g) et de calcium (50 g), référencées et envoyées à EUROFINS.

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 émiettés 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 ¹⁴C 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 béciers 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 (³H 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

11.6.2. 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.

11.6.2.4. Eau

Les eaux de consommation font l'objet d'une mesure directe en scintillation liquide selon la norme NF ISO 9698. Les eaux d'irrigation sont filtrées au préalable.

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 $^{234\text{m}}\text{Pa}$, 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' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, 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 $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ 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 ($\approx 1 \text{ Bq.L}^{-1}$ 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 CO₂ 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 ¹⁴C mesurées dans diverses matrices peuvent être corrigées du fractionnement isotopique ¹³C/¹²C. 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 ¹²C est l'isotope stable majoritaire. Il représente 98,89% du carbone sur Terre. Le ¹³C 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 δ¹³C. Celui-ci représente la déviation du rapport isotopique ¹³C/¹²C 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 ‰.

$$\delta^{13}C = \frac{{}^{13}C/{}^{12}C_{\text{échantillon}} - {}^{13}C/{}^{12}C_{\text{référence}}}{{}^{13}C/{}^{12}C_{\text{référence}}} \times 1000$$

Ainsi, lorsqu'un échantillon est enrichi en ¹³C par rapport au standard, son δ¹³C est positif. Lorsque l'échantillon est appauvri en ¹³C par rapport au standard, le δ¹³C 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 359) 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 2020 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 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, INOVALYS (Groupement d'intérêt public regroupant plusieurs anciens laboratoires d'analyses départementaux) 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'École 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 quinzaine 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 1^{er} 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 cinq laboratoires départementaux : Loire-Atlantique, Maine-et-Loire, Sarthe, Indre-et-Loire et Morbihan. 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.	349
Tableau 11-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.....	359

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 sûreté 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 à 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 sûreté à chaque étape afin d'assurer la maîtrise 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 brûlant 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 (⁵⁴Mg)

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 transurien, d'origine artificielle. L'isotope le plus connu est le ²³⁹Pu, 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 : ³H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; ¹⁴C : 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 à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (²¹⁹Rn, ²²⁰Rn, ²²²Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (²³⁵U, ²³²Th et ²³⁸U). Le ²²²Rn 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 métrologue puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés.

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.

