

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

Belleville-sur-Loire

2023

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

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Belleville-sur-Loire en 2023	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE de Belleville-sur-Loire	4
III. Modifications apportées au voisinage de Belleville-sur-Loire	18
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	18
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	18
Partie II - Prélèvements d'eau	22
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	24
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	24
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	25
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	25
Partie III – Restitution et consommation d'eau	27
I. Restitution d'eau	27
II. Consommation d'eau	28
Partie IV - Rejets d'effluents	29
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	29
II. Rejets d'effluents liquides	38
III. Rejets thermiques	53
Partie V - Prévention du risque microbiologique	56
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	56
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	56
Partie VI - Surveillance de l'environnement	57
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	57
II. Physico-chimie des eaux souterraines	63
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	63
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie	68
V. Acoustique environnementale	70

<i>Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</i>	72
<i>Partie VIII - Gestion des déchets</i>	76
I. Les déchets radioactifs	76
II. Les déchets non radioactifs	81
<i>ABREVIATIONS</i>	83
<i>ANNEXE 1 : Suivi microbiologique – Amibes du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2023</i>	84
<i>ANNEXE 2 : Suivi microbiologique – Légionnelles du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2023</i>	85
<i>ANNEXE 3 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2022</i>	97

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Belleville-sur-Loire en 2023

I. Contexte

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

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

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

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 2023 du CNPE de Belleville-sur-Loire en matière d'environnement.

II. Le CNPE de Belleville-sur-Loire

1. Le mot du directeur et synthèse de l'année

a. Le mot du directeur

En termes de conformité réglementaire, le travail important s'est poursuivi, confirmant notre niveau d'exigences toujours plus haut, avec un taux de conformité de 95%. Notre priorité est de respecter notre arrêté de rejet, les décisions de l'ASN ainsi que les autres exigences prescrites.

Concernant la maîtrise des rejets et des déchets, le site poursuit sa bonne performance. Ainsi, tous les rejets liquides et gazeux ont été très largement inférieurs aux limites réglementaires, tout au long de l'année. De même l'ensemble des exigences liées au domaine des déchets ont été respectées.

Notre travail se poursuit quant à l'instruction des dossiers réglementaires à enjeux parmi lesquels le dossier de demande d'autorisation de modifications relatives aux prélèvements et rejets du site.

Si le site a enregistré trois événements significatifs pour l'environnement, il s'agit d'une performance qui confirme la tendance à la baisse de ces événements environnementaux observée depuis 2014. Un de ces événements concerne une concentration en *Legionella Pneumophila* supérieure à 100 000 UFC/L.

En 2023, le site a poursuivi ses travaux pour se doter d'un traitement à la monochloramine qui permettra dans l'avenir de se prémunir contre ces dépassements.

Chaque jour, nous nous engageons à prendre en compte les aspects environnementaux dans la préparation et l'exécution de nos activités. Notre engagement s'appuie sur la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration continue et de prévention des situations d'urgence environnementale.

Nous veillons à garantir une information fiable et la plus rapide possible aux élus locaux, aux représentants de l'Etat et à l'ASN en cas de menace sur la protection des intérêts protégés.

La formation des intervenants est un axe fort d'amélioration continue et reste une de nos priorités, tout comme l'accompagnement, auprès des managers et des intervenants, sur les exigences réglementaires liées à l'environnement.

La qualité des mesures est assurée au sein des laboratoires Environnement et Effluents, et des laboratoires indépendants, comme le confirment les différents audits réalisés.

Nous sommes également engagés pour faire connaître les enjeux autour de la biodiversité et mettre en œuvre des actions concrètes pour la préserver.

Tout ceci vient confirmer notre attachement collectif à atteindre un haut niveau de performance environnementale.

Nous prévoyons en 2024 la même dynamique qu'en 2023. L'année 2024 doit permettre de maintenir voire d'améliorer nos résultats opérationnels rejets et déchets dans le domaine de l'environnement tout en continuant à progresser dans la maîtrise des exigences réglementaires applicables.

b. Synthèse de l'année

➤ **La conformité réglementaire est une priorité**

Fin 2023, le site de Belleville-sur-Loire dispose d'une analyse démontrant la conformité réglementaire sur 95% des textes de loi qui lui sont applicables.

➤ **Concernant les Evénements Significatifs Environnements (ESE).**

3 évènements significatifs (ESE) ont été déclarés en 2023.

Le premier évènement concerne un écoulement d'hydrocarbure lors du transfert du déshuileur de site vers le déshuileur de tranche. Le deuxième porte sur un rejet d'acide citrique via les fosses neutrales à l'issue des nettoyages chimiques combinés des échangeurs. Le dernier évènement concerne une concentration en *Legionella Pneumophila* égale à 100 000 UFC/L en Tranche 2.

➤ **Concernant les Evènements intéressants environnement**

Sur l'année 2023, le site a déclaré 11 évènements. Les résultats sont comparables à ceux de l'année 2022 et 2021.

➤ **Concernant les rejets radioactifs, le site maintient en 2023 de très bons résultats opérationnels**

L'arrêté de rejet impose des valeurs seuils concernant nos rejets radioactifs. Ces valeurs n'ont jamais été dépassées. On comptabilise une activité en carbone 14 liquide rejetée correspondant à 5,37% de la valeur seuil, une activité en iode de 7,40% de la valeur seuil et pour les autres produits de fissions et d'activation un résultat de 10,2% de la valeur seuil. Concernant le Tritium, nous continuons à privilégier les rejets sous forme liquide, ce qui a également pour effet de réduire les rejets de tritium sous forme gazeuse. Cette politique établie à l'échelle nationale permet d'un point de vue de l'environnement d'améliorer et d'optimiser l'impact global de nos rejets de tritium.

Concernant les rejets gazeux le site est également en deçà de ses seuils d'arrêté de rejets. Par ailleurs, les études hydro-écologiques ne mettent pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE de Belleville-sur-Loire, sur la physico-chimie de l'eau de la Loire et sur les communautés biologiques étudiées.

➤ **Le site de Belleville travaille sur ses rejets d'effluents secondaires**

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, le CNPE de BELLEVILLE travaille sur sa maîtrise des volumes d'effluents, en particulier ceux issus de la partie secondaire des installations. Outre, la réduction de volume, l'intérêt premier de cette volonté de réduction est d'agir sur les rejets des produits chimiques associés et in fine sur la consommation de réactifs chimiques nécessaires à la production de l'eau déminéralisée, nécessaire aux circuits secondaires.

Lorsque les réacteurs sont en production, les volumes d'effluents secondaires rejetés sont très faibles. Ce sont les phases de redémarrage qui génèrent le plus d'effluents.

➤ **Production de déchets conventionnels**

Un peu plus de 97,05% de la totalité des déchets produits ont été valorisés.

➤ **Les risques microbiologiques liés à nos installations industrielles et tertiaires.**

Les analyses microbiologiques effectuées en 2023 sur l'ensemble de nos installations industrielles et tertiaires ont révélé, entre avril et début octobre, une présence de Legionella pneumophila supérieure aux limites réglementaires applicables aux CNPE.

Des actions ont été mises en place afin de maîtriser au mieux le développement de légionelles. La mise en exploitation de l'installation de traitement à la monochloramine (CTE) en 2024 nous permettra une meilleure maîtrise du risque microbiologique.

➤ **Le site poursuit des actions en matière de propreté radiologique**

En 2023, le niveau opérationnel de propreté radiologique atteint en moyenne 91,34% de locaux propres hors bâtiment réacteur. Ce résultat est le fruit de la politique de propreté radiologique menée sur le site depuis de nombreuses années avec notamment la bonne gestion du confinement sur les chantiers à fort enjeu radiologique.

Des contrôles sont effectués sur la voirie du site pour détecter les éventuels points de contamination dont la radioactivité est supérieure à 800Bq. Le seuil de détection est fixé à une

valeur 1 250 fois inférieure au seuil réglementaire dépendant de la nature des produits transportés (combustible neuf ou usé, outillages ou déchets). Les convois sont contrôlés au départ de la centrale nucléaire et à leur arrivée à destination. Une anomalie est signalée si un convoi présente une contamination supérieure à 4 Bq/cm² à son arrivée.

En 2023, aucune anomalie en sortie de véhicule n'a été identifiée et il n'y a eu aucune contamination en voirie. De plus, sur 525 166 contrôles, il y a eu une anomalie à la sortie du C3 piétons supérieure au seuil de 800Bq et une anomalie à la sortie du C3 piétons inférieure au seuil de 800Bq et donc ne faisant pas l'objet d'une déclaration réglementaire.

➤ **La réduction des impacts du CNPE sur son milieu reste une priorité.**

Des bassins de confinement ont été mis en service en décembre 2019 sur les réseaux d'écoulement d'eau pluviale SEO, ce qui permet une meilleure gestion du confinement sur le site.

L'exploitant d'une installation nucléaire de base doit procéder périodiquement au réexamen des risques que présente son installation à travers notamment le Rapport de Conclusions de Réexamen périodique (RCR). Il comporte un volet relatif à la maîtrise des inconvénients provenant des rejets d'effluents, des prélèvements d'eaux ou encore des nuisances (bruit, odeur, pathogènes etc.). La conclusion montre que le Site met en œuvre des dispositions adaptées en ce sens. Les analyses environnementales démontrent qu'il n'y a pas d'impact perceptible vis-à-vis des intérêts protégés, la protection est donc bien assurée.

2. Présentation du site

a. Le site

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Belleville-sur-Loire comptait 1 205 personnes en 2023 dont 790 salariés d'EDF. Lors de l'arrêt programmé d'une unité de production, la centrale de Belleville accueille entre 600 et 3 000 intervenants supplémentaires, principalement issus d'entreprises prestataires.

Le CNPE est situé aux abords de la Loire, sur la rive gauche, entre Cosne-sur-Loire (à 11 km à l'amont) et Gien (à 27 km à l'aval) dans le département du Cher. C'est l'une des quatre centrales sur Loire de la région Centre-Val de Loire.

Situé à 140 m d'altitude, les coordonnées du Site sont de 47°30' de latitude Nord et 2°52' de longitude Est.

Il se trouve sur le territoire des communes de Sury-près-Léré et Belleville-sur-Loire, au lieu-dit « La Glas » sur la rive gauche du fleuve. Outre les communes d'implantation, les communes les plus proches sont : LERE, BEAULIEU-SUR-LOIRE, NEUVY-SUR-LOIRE, LA CELLE-SUR-LOIRE, BONNY-SUR-LOIRE et ANNAY.

La centrale occupe une superficie d'environ 170 hectares et la plate-forme des unités de production 1 et 2 est calée à la cote 141,60 NGF.



Figure 1 : Situation altimétrique du site

Le Site est au carrefour de quatre départements : le Loiret, le Cher, la Nièvre et l'Yonne et de deux régions administratives : Centre-Val de Loire et Bourgogne-Franche-Comté.

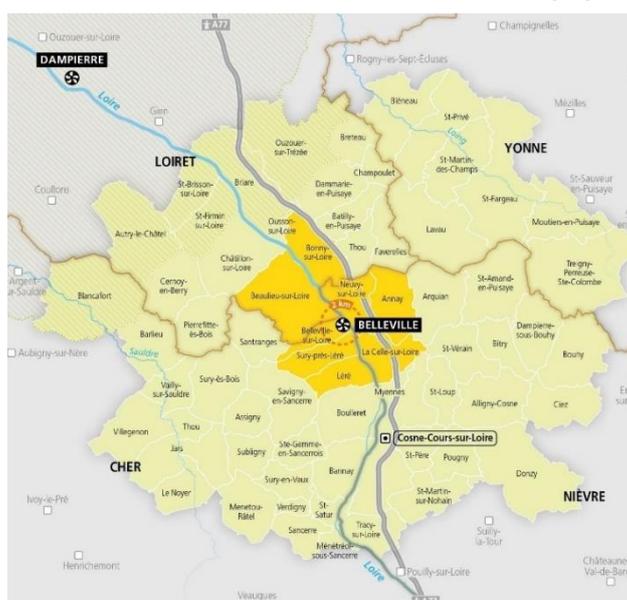


Figure 2 : Localisation du site

La Loire est un fleuve irrégulier avec des étiages et des crues sévères. Il constitue une frontière nette entre la rive droite et les plateaux calcaires du Nivernais au sud et les bocages argileux de la Puisaye au nord ; et la rive gauche avec les terrains sableux du Gâtinais et les terres argileuses du Pays-fort. Du point de vue des régions naturelles, le Site se situe à la limite de trois régions :

- Le Pays-fort de l'ouest au sud-ouest (le Sancerrois) essentiellement bocager et prairial, avec de nombreux massifs forestiers et une faune riche et variée,

- La frange sud-ouest de la Puisaye à l'est au-delà de la Loire, bocager dans les vallées, forestier sur les plateaux avec des zones marécageuses d'une faune riche et variée comprenant des espèces absentes de la majeure partie de la France,

- Le val de Loire Berrichon, où les rives et parfois les îles restent denses et boisées, d'un attrait botanique et faunistique certain. La richesse environnementale de cette région se retrouve dans le classement des Sites concernés par les directives « Habitats » et « Oiseaux » du réseau NATURA 2000, à proximité du CNPE.

On y retrouve également des zones Spéciales de Conservation (ZSC) - Directive habitats naturels et faune et flore sauvages :

- FR2400528 « Vallée de la Loire de TAVERS à BELLEVILLE-SUR-LOIRE »,
- FR2400522 « Vallées de la Loire et de l'Allier »,
- FR2600965 « Vallée de la Loire entre FOURCHAMBAULT et NEUVY SUR LOIRE ».
 - Zone de Protection Spéciale (ZPS) - Directive oiseaux
- FR241 0017 « Vallée de la Loire du Loiret »
- FR2610004 « Vallées de la Loire et de l'Allier entre MORNAY-SUR-ALLIER et NEUVY-SUR-LOIRE ».

b. Historique

La centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique le 22 novembre 1978 et du décret d'autorisation de création le 15 septembre 1982. De 1979 à 1982, d'importants travaux de terrassement ont été réalisés afin de surélever la plate-forme du Site de 5 mètres afin de se prémunir contre le risque d'inondation. Les travaux de génie civil se sont déroulés de 1980 à 1985.

Les deux tranches de 1300 MW avec réfrigérant atmosphérique à tirage naturel ont été couplées au réseau respectivement le 14 octobre 1987 et le 06 juin 1988. Il s'agit de réacteurs de type REP (Réacteur à Eau Pressurisée).

L'arrêté de rejet a été renouvelé le 16 janvier 2014. Il est à présent constitué de deux décisions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire n°2014-DC-0413 et 2014-DC-0414, fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets ainsi que les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux. Publié au journal officiel le 18 mars 2014, il est applicable depuis le 01 avril 2014.

c. Management de l'environnement

i. Organisation

Le Directeur du CNPE a la responsabilité de l'organisation mise en place pour assurer et contrôler le suivi de l'environnement autour du Site. Au-delà du fait que chacun sur le Site est acteur de la démarche et met en œuvre la politique environnementale du CNPE, deux pôles portent plus particulièrement la démarche :

Un Pôle Fonctionnel dans un rôle d'appui et d'expertise. Ce pôle anime le Système de Management Environnemental, pilote les dossiers, communique sur la démarche et les résultats. Il gère aussi les aspects réglementaires ;

Un Pôle Opérationnel qui met en œuvre la politique du Site dans le domaine de l'environnement, assure la gestion quotidienne des effluents liquides ou gazeux et des déchets et réalise les contrôles réglementaires qui y sont associés.

Ces deux pôles sont dirigés côté Direction par un Chef de Mission qui assure le pilotage stratégique du domaine. L'animation du pôle opérationnel s'appuie sur la Commission Environnement. Cette commission mène les réflexions en amont des instances décisionnelles et des revues de Direction. Elle décide ensuite des modalités pratiques de réalisation dans la phase de mise en œuvre des orientations arrêtées en comités et revue de Direction. La Commission Environnement est présidée par le Chef de Mission Environnement et comporte un représentant de chaque service/section opérationnelle du Site.

Pôle Fonctionnel	Pôle Opérationnel
Chef de Mission prévention des risques et Environnement	Commission Environnement avec trois sous-processus (Performance et réglementation environnementale, Déchets et Effluents)
Service Support Ingénierie Projet (Veille environnementale, dossiers réglementaires , ...) Service Sûreté Qualité (Audit, relations AS, ...)	Service Sûreté Qualité (Sûreté et qualité du CNPE) Service Prévention des Risques (Contrôles radiologiques, produits chimiques) Service Environnement Chimie Essais (Contrôles de l'environnement, ...) Service « Kombustible » Déchets Logistique (Combustible, déchets, Logistique) Service Conduite (Exploitation des tranches, cellule effluents) Services Automatismes et Electricité Mécanique, chaudronnerie, robinetterie Service Modification, Génie Civil (Modification des installations et génie civil) Service Protection et Patrimoine (Prestataires, bâtiments tertiaires, Protection de site) Service Gestion Achats (Achats-budget) Service Ressources Humaines Service Communication Service Commun de Formation Service Support Ingénierie Projet (Projet TEM/AT, Documentation, informatique, ingénierie site)

ii. La réglementation

La réglementation française définit pour les industries les principes de surveillance de l'environnement, les contrôles à effectuer et les valeurs limites à ne pas dépasser, et ce, pour chaque domaine comme l'eau ou l'air. Au fil des années, la réglementation environnementale s'étoffe : ainsi, pour le CNPE de Belleville-sur-Loire, ce sont plus de 10 000 exigences réglementaires qui sont applicables dans le domaine de l'environnement. Voici quelques exemples de textes applicables sur le site :

[Décisions ASN de limites et de modalités de rejets d'effluents liquides et gazeux de 2014](#)

Ces textes réglementaires fixent les conditions de prélèvement par le Site, de la ressource en eau dans le fleuve, ainsi que les limites autorisées de rejet des effluents gazeux et liquides. Ils précisent également les conditions de surveillance de l'environnement terrestre et fluvial ainsi que la nappe souterraine.

[Arrêté INB du 07/02/2012 et la décision environnement du 16/07/2013](#)

Ces textes généraux s'appliquent à toutes les Installations Nucléaires de Base (INB). Ils constituent le socle réglementaire que tous les exploitants doivent respecter quelles que soient leurs activités. L'arrêté INB régit tout le cycle de vie d'une installation depuis sa conception jusqu'à son démantèlement. La décision du 16/07/2013 (aussi appelée « décision environnement ») vient préciser certains points particuliers dans le domaine de l'environnement. L'arrêté INB abroge l'arrêté qualité de 1984, l'arrêté RTGE et l'arrêté environnement. La volonté de l'ASN est d'inscrire dans le droit Français des règles et exigences correspondant aux meilleures pratiques européennes et internationales. Ce texte étend à la protection de l'environnement et à la limitation des nuisances certains référentiels et exigences jusque-là réservés à la sûreté.

[Arrêté définissant les périmètres de protection du captage d'eau potable du CNPE](#)

L'arrêté Préfectoral du 07 décembre 2007 fixe ainsi les zones concernées à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du Site ainsi que les prescriptions applicables. L'acte administratif après accomplissement de la formalité hypothécaire a été publié le 07 février 2008.

[Veille réglementaire](#)

Afin d'intégrer l'ensemble des exigences (décrets, lois, ...), une veille réglementaire environnementale est réalisée d'une part au niveau national puis renseignée et complétée localement par l'Ingénieur en charge de cette veille. En conséquence, le CNPE analyse tous les textes réglementaires applicables à ces installations et vérifie sa conformité en effectuant si nécessaire les modifications adaptées.

iii. Les actions

[Pastoralisme](#)

Depuis 2015, la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a passé une convention de pastoralisme avec un berger local. C'est 150 à 250 moutons qui paissent au niveau des tranches 3 et 4 ainsi qu'aux abords du canal d'aménée à certaines périodes de l'année 2023.

Recyclage

En 2023, concernant les déchets classiques, 97,05% des déchets de la liste verte ont été recyclés, valorisés ou incinérés, grâce au tri quotidien et au souci de recyclage de chaque intervenant.

Développement durable

Au sein d'EDF, CAP 2030 et les Objectifs de Développement Durable annoncés en mai 2016 fixent les engagements du Groupe. La politique a été conçue comme le socle commun du déploiement du développement Durable au sein du Groupe, en complément des orientations de CAP 2030 et des Objectifs de Responsabilité d'Entreprise (ORE).

iv. La formation

Sur l'année 2023, 347 agents du CNPE de Belleville-sur-Loire ont été formés, sensibilisés ou entraînés sur les domaines de l'environnement. Au total, 761 heures sont comptabilisées spécifiquement pour cette thématique.

Plus en détail, cela représente :

- 562 heures de formations pour le développement des compétences et exercices pour 148 agents,
- 199 heures de formations pour 199 agents formés au recyclage Amibes légionnelles en e-learning

v. La communication

La communication intervient en tant que soutien et relais de l'engagement de la centrale de Belleville-sur-Loire en faveur du développement durable.

Tout au long de l'année, la centrale de Belleville-sur-Loire fournit des informations sur son actualité, dans les domaines de l'environnement et du fonctionnement de l'installation, et apporte, si nécessaire, sa contribution aux actions d'informations de la Commission Locale d'Information (CLI) et des pouvoirs publics.

➤ **Les contributions à la Commission Locale d'Information**

En 2023, une information régulière a été assurée auprès de la Commission locale d'information (CLI).

Une réunion s'est tenue le 18 décembre 2023. La CLI relative au CNPE de Belleville-sur-Loire s'est tenue pour la première fois en 1983, à l'initiative du président du conseil général du département du Cher. Cette commission indépendante a comme principaux objectifs d'informer les riverains sur l'actualité du site et de favoriser les échanges, ainsi que l'expression des interrogations éventuelles. Les membres de la commission sont constitués par le président du Conseil Départemental. Il s'agit des élus locaux, de représentants des pouvoirs publics et de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), de membres d'associations, etc.

➤ **Des rencontres régulières avec les élus**

Le 23 janvier 2024, le CNPE a convié les élus de proximité et les Pouvoirs Publics à une réunion de présentation des résultats de l'année 2023 et des perspectives pour l'année 2024

sur les thématiques suivantes : la production, la sûreté, la sécurité, la radioprotection, l'environnement, les ressources humaines, la performance économique, la durée de fonctionnement et l'ancrage territorial.

➤ **Actions d'information externe de la centrale à destination du grand public, des représentants institutionnels et des médias**

En 2023, le CNPE de Belleville-sur-Loire a mis à disposition plusieurs supports pour informer le grand public :

- Un document reprenant les résultats et faits marquants de l'année écoulée intitulé « Rapport annuel ». Ce document a été diffusé, en juin 2023. Ce document a été mis à disposition du grand public sur le site edf.fr.
- Une fiche presse sur le bilan de l'année 2023 a été mis à disposition sur le site internet edf.fr au mois de février 2024.
- neuf lettres mensuelles d'information externe. Ce support est envoyé aux élus locaux, aux pouvoirs publics, aux responsables d'établissements scolaires (plus de 1 000 destinataires). Ce support traite notamment de l'actualité du site, de sûreté, environnement, production, mécénat...

Tout au long de l'année, le CNPE a disposé :

- d'un espace sur le site internet institutionnel edf.fr, qui lui permet de tenir informé le grand public de toute son actualité ;
- de l'espace institutionnel d'EDF dédié à l'énergie nucléaire sur edf.fr qui permet également au public de trouver des informations sur le fonctionnement d'une centrale et ses enjeux en termes d'impacts environnementaux ;
- de plus, chaque mois est mis en ligne une synthèse des données relatives à la surveillance des rejets et de la surveillance de l'environnement, ainsi que les registres mensuels de rejets des effluents radioactifs et chimiques de la centrale.

Le CNPE de Belleville-sur-Loire dispose d'un centre d'information appelé « Espace Odysselec » dans lequel les visiteurs obtiennent des informations sur la centrale, le monde de l'énergie et le groupe EDF. Ce centre d'information a accueilli 1 800 visiteurs en 2023.

➤ **Une communication en appui de la démarche environnementale et au développement d'initiatives locales**

La centrale de Belleville s'inscrit depuis de nombreuses années dans une démarche environnementale en agissant au travers d'opérations concourant à notamment préserver l'environnement et la biodiversité, via ses partenariats ou en optant d'avantage pour la digitalisation de ses supports.

La centrale nucléaire de Belleville agit également au travers d'opérations menées en partenariat avec des associations et institutions dont les actions concourent aux finalités des cinq thèmes : Environnement, Science, Solidarité, Culture, Solidarité et Sport/Handisport. En juillet 2023 notamment, la centrale a réitéré son soutien à la communauté de communes Cœur de Loire pour l'opération de nettoyage de la Loire en canoë.

➤ **Promouvoir le respect de l'environnement et le recyclage auprès du jeune public.**

L'action « les Piles s'Empilent » a pour but de sensibiliser les jeunes au respect de l'environnement et au recyclage grâce à la collecte de piles et petites batteries usagées durant l'année scolaire par les élèves des écoles primaires et des collèges riverains.

Les piles et petites batteries sont ensuite récupérées par les logisticiens de Screlec-Batribox, triées, traitées et valorisées suivant leur composition.

Pour l'édition 2022/2023, 41 établissements scolaires (4 590 élèves du Cher, de la Nièvre, de l'Yonne et du Loiret) ont participé et récolté plus de 6,3 tonnes de piles et petites batteries.

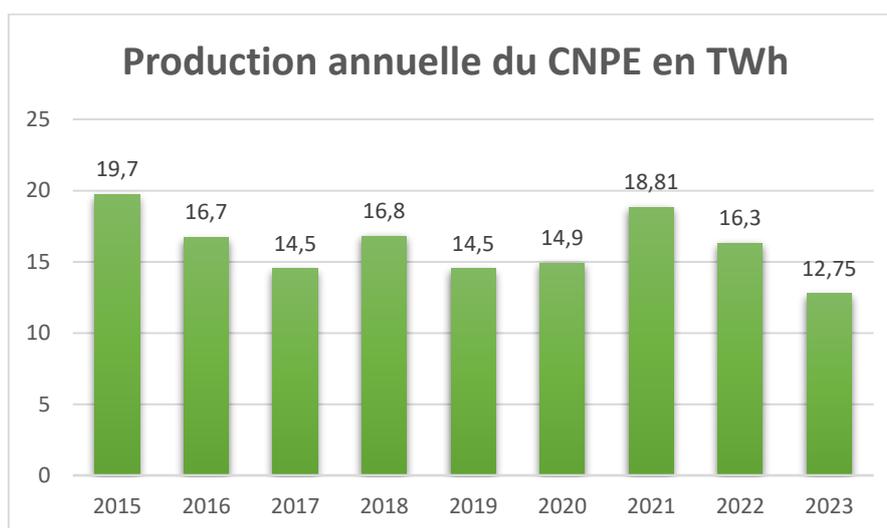
✓ **Actions d'information interne de la centrale à destination du grand public, des représentants institutionnels et des médias**

Chaque année, la mission Communication élabore, en lien avec les acteurs de l'Environnement à Belleville, un plan de communication interne et externe des événements à accompagner auprès des différents publics.

3. L'activité du site

a. La production

En 2023 la centrale a produit 12,75 TWh (milliards de kWh) délivrés sur le réseau à la disposition de ses clients et sans émettre de CO₂. Cette production représente près de 4% de la production nucléaire française et correspond à 100 % des besoins de la région.



b. Opérations de maintenance et travaux, déploiement de projets techniques

En 2023, le CNPE a réalisé de nombreux travaux dont quelques exemples sont mentionnés ci-dessous.

Circuit primaire :

- 1PNPP3371 : Fiabilisation de l'isolement des barrières thermiques du Groupe Moto Pompe Primaire.

Circuit de sauvegarde :

- 1PNPE3451 : Interventions sur la thématique Corrosion Sous Contraintes
 - Traitement des soudures sur les boucles froides RIS
 - Aléas : traitement de 2 soudures sur des boucles chaudes RIS
- 2PNPE3451 : Interventions sur la thématique Corrosion Sous Contraintes
 - Traitement des soudures sur les boucles froides RIS

Circuit secondaire et source froide :

- Aéroréfrigérant

Maintenance lors de la Visite Partielle du corps d'échange de l'aéroréfrigérant en tranche 1 :

- Remplacement de 256m² de Panneaux Eliminateurs de Gouttes
- Distribution d'eau chaude :
 - 39 disperseurs remplacés en zone périphérique ;
 - 34 joints de tubes réparés ;
 - 20 tubes fissurés réparés ;
 - 2 tubes déboîtés réparés ;
 - 12 tubes cassés remplacés.
- Récupérateurs d'eau froide
 - 21 fuites sur joints de poteaux réparées ;
 - 74 fuites sur plans inclinés réparées.
- 1PNPP3922 : rénovation de la partie centrale du corps d'échange soit environ 8700m³ de packings.

Pas de maintenance réalisée sur l'aéroréfrigérant de la tranche 2 lors de l'arrêt fortuit.

- Conduites Béton à Ame Tôle (CBAT) :

SEC - Dilatoflex :

- Contrôle visuel et mesure de la dureté Shore en voie A tranche 1 et voies A et B de la tranche 2 ;
- Contrôle du déplacement des brides voies A et B sur les deux tranches.
- Contrôle visuel interne de la tuyauterie retour SEC voie A tranche 1

SEC – CAO (compensateurs à ondes)

- Reprise des joints autour des Compensateurs A Onde (CAO) en tranche 2.
- Reprise peinture autour d'un CAO en tranche 1.
- Réparation du CAO 265 en tranche 1.

- Canal d'amenée :

- Bathymétrie réalisée en avril 2023.

- Arrachage de la jussie dans le canal d'amenée et nettoyage des grilles anti-intrusion : régulièrement, en période estivale, le canal d'amenée de l'eau alimentant la source froide du CNPE est soumis à la prolifération de végétaux aquatiques invasifs, tels que la jussie. Il s'agit de plantes aquatiques herbacées, flottantes et pourvues de longues tiges. C'est une plante invasive venue d'Australie. Celle-ci se développe dans les eaux calmes et peu profondes. Cette prolifération est donc de nature à encombrer le canal d'amenée et présente, à terme, un risque pour l'alimentation de la source froide. L'activité a donc consisté à arracher ces espèces

en ayant recours à des plongeurs. Cette activité est réalisée dans le cadre d'une commande pluriannuelle avec une entreprise spécialisée dans les travaux subaquatiques.

Sources électriques et autres modifications :

- PNPP3766 terrassement en vue de la construction du Centre de Crise Local
- Réseaux gravitaires
 - Traitement des anomalies classées G1 sur le réseau SEH
 - Traitement des anomalies classées G1 sur le réseau SEV
 - Réparation des anomalies classées G1 sur le réseau SEO branches 3, 4 et 5 ;
 - Réparation des anomalies classées G2 sur le réseau SEO branche 6.
- Expertises visuelles du programme de maintenance réalisées sur plusieurs puisards, rétentions et zones de collecte ultimes.

TR	Bâtiment	Libellé de la visite
0	Déminée	Contrôle du puisard de la bache d'acide chlorhydrique et de Chlorure ferrique.
0	Déminée	Contrôle de la zone de collecte ultime.
0	Déminée	Contrôle de la fosse de neutralisation 0SDP531BA.
0	Déminée	Contrôle de la fosse de neutralisation 0SDP532BA.
0	BAG	Contrôle de la zone de collecte ultime de SEK.
0	KER/TER/SEK	Contrôle des puisards et rétentions ultimes du BTE.
0	Huilerie	Contrôle des zones de collecte ultime de l'huilerie.
1	Bâtiment Réacteur (BR)	Contrôle visuel du revêtement d'étanchéité de type Maëva.
1	BR	Contrôle de l'absence d'eau dans les galeries sous radier.
1	BR	Contrôle du revêtement des puisards RIS, REA.
1	BR	Contrôle du revêtement de type Maëva.

- Réparations réalisées sur des Eléments Importants pour la Protection de l'environnement (EIPR).

TEM / AT	Localisation	Référence	Description
TEM	DUS Tr1	1HDU0601FW	Reprise des trous de chevilles dans le revêtement armé
TEM	DUS Tr2	2HDU0601FW	Reprise des trous de chevilles dans le revêtement armé
AT	BR Tr1	1HRA000SYST (peau composite)	Reprise du revêtement armé à la suite des tests d'arrachement (contrôle type 2bis)

c. Inspections et audits

• Inspections ASN

L'ASN a réalisé 3 inspections sur le thème de l'environnement.

• Inspection réactive inopinée environnement

L'inspection du 2 mars 2023 a permis de revenir sur 2 événements survenus début 2023. Le premier concernait l'écoulement d'effluents contenant des hydrocarbures sur la voirie du CNPE et dans le bassin SEO Ouest. Le second portait sur une fuite d'acide chlorhydrique non isolable dans une rétention de la station de déminéralisation. L'objectif de l'inspection était notamment de s'assurer de l'absence d'impact sur l'environnement, vérifier que les mesures nécessaires aient été prises.

L'ASN a pu souligner que l'organisation mise en œuvre pour la gestion des deux situations d'urgence était apparue satisfaisante. Les éléments recueillis et observés lors de l'inspection ont permis de garantir l'absence d'impact de ces deux événements sur le milieu récepteur.

• Inspection renforcée environnement

L'inspection du 13 et 14 juin 2023 faisait suite aux engagements pris par le CNPE de Belleville-sur-Loire dans le Rapport de Conclusion et de Réexamen (RCR) émis dans le cadre de ses troisièmes visites décennales. Les inspecteurs ont identifié trois thématiques principales à aborder :

- le réexamen des risques non radiologiques ;
- la maîtrise de la conformité des inconvénients ;
- la réévaluation des inconvénients.

Les points d'amélioration suivants ont notamment été soulignés :

- Thème 1 : Prise en compte des risques non radiologiques dans le processus de retour d'expérience et de la formation d'un nuage toxique.

- Thème 2 : Le contrôle de conformité des Eléments importants pour la protection (EIP-i) de l'unité de production n°1 lors de l'élaboration du RCR (Rapport de Conclusion de Réexamen). La traçabilité du contrôle technique sur le processus des rejets concertés et le processus de gestion de conformité réglementaire.

- Thème 3 : Le pilotage du REX externe sur le domaine environnement et le déploiement des MTD (Meilleures Techniques Disponibles).

Les inspecteurs ont souligné positivement :

- La qualité de la préparation de l'inspection,
- La compétence et la disponibilité des intervenants rencontrés,
- La qualité et la transparence des échanges lors de l'inspection,
- La mobilisation des équipes EDF dans le cadre de l'exercice de mise en situation,
- Une animation et une diffusion du REX satisfaisantes.

• Inspection inopinée Prélèvements

L'inspection du 13 novembre 2023 concernait le thème « Prélèvements d'eau et rejets d'effluents, surveillance des rejets et de l'environnement ». Elle a consisté pour l'ASN à faire effectuer, par un organisme tiers, des prélèvements d'échantillons en plusieurs points du site

et de son environnement en vue d'analyses radiologiques. Les objectifs étaient de contrôler le respect de certains paramètres dont les valeurs limites sont fixées et de vérifier la validité des mesures réalisées en application de la réglementation encadrant les rejets et prélèvements du CNPE.

Les résultats ont été transmis à l'ASN. Les analyses n'ont pas fait l'objet de remarque particulière par l'ASN.

• Audits internes

Sur le domaine de l'environnement, la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a réalisé, en 2023, 1 audit sur la norme ISO14001 et 13 vérifications.

Les 13 vérifications ont porté sur les thématiques suivantes :

- Equipements Nécessaires,
- Rejet Concerté/Non Concerté,
- Gestion des Déchets,
- Confinement Liquide,
- Conformité Réglementaire,

Les axes d'amélioration mis en évidence lors de l'audit et des vérifications font l'objet de plans d'action dédiés.

III. Modifications apportées au voisinage de Belleville-sur-Loire

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

Certaines entreprises situées au voisinage du CNPE de Belleville-sur-Loire ont été impactées par la réglementation ICPE. Cependant, aucun nouveau risque n'a été induit.

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

Pour l'année 2023, aucune évolution scientifique susceptible de modifier les conclusions de l'étude d'impact n'a eu lieu.

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

En 2003, le CNPE de Belleville-sur-Loire a été certifié, pour la première fois, ISO 14001. L'obtention de la norme ISO 14001 est une reconnaissance internationale de la prise en compte de l'environnement dans l'ensemble des activités de l'entreprise. Elle est

l'assurance d'une démarche d'amélioration continue et de la mise en place d'une organisation spécifique au domaine de l'environnement.

La protection de l'environnement, sur le terrain comme en laboratoire, a toujours été une priorité pour les CNPE d'EDF. Comme pour tous les sites industriels, les exigences environnementales fixées par le CNPE de Belleville-sur-Loire et la réglementation se sont sans cesse accrues au fil des années. Cette certification est le fruit de l'implication de l'ensemble des intervenants - personnels EDF et d'entreprises externes - dans une démarche de respect de l'environnement.

La norme ISO 14001 repose sur la mise en œuvre d'un Système de Management Environnemental (SME). Cela signifie que la performance en matière de protection de l'environnement est intégrée dans l'organisation, c'est-à-dire dans toutes les décisions quotidiennes du CNPE de Belleville-sur-Loire. L'ensemble des salariés du CNPE, ainsi que le personnel intervenant pour le compte d'entreprises extérieures, sont impliqués dans le respect de l'environnement.

Dans le cadre de l'amélioration continue, le CNPE de Belleville-sur-Loire a mis en place un système permettant de détecter, tracer, déclarer, les Événements Significatifs pour l'Environnement (ESE) à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, de traiter ces événements et d'en analyser les causes profondes pour les éradiquer.

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

1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

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

Typologie	Date	Description de l'évènement	Impact sur l'environnement	Principales actions correctives
ESE 2 code 025	Février 2023	Ecoulement d'hydrocarbure lors du transfert du déshuileur de site vers le déshuileur de tranche	Aucun. L'écoulement d'effluents a été contenu sur la chaussée et dans le réseau SEO jusqu'au bassin SEO Ouest.	Organisation Contrôler périodique la conformité de la ligne de transfert via l'élaboration d'un programme de contrôle. Technique Etudier et mettre en œuvre les moyens permettant de sécuriser la ligne de refoulement de la pompe de transfert.
ESE 2 code 026	Octobre 2023	Rejet d'acide citrique via les fosses neutrales à l'issue des nettoyages chimiques combinés des échangeurs	Aucun. Le pH mesuré avant rejet dans l'environnement était conforme sur toute la période concernée	Organisation Etudier une organisation qui permettra un nettoyage chimique simultané de deux échangeurs.
ESE 3 code 031	Octobre 2023	Concentration en <i>Légionella</i> <i>Pneumophila</i> égale à 100 000 UFC/L en Tranche 2	Aucun. Absence de dispersion au niveau des aéroréfrigérants	Technique En attente de la mise en œuvre de l'installation de traitement en monochloramine

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Belleville-sur-Loire a eu, durant l'année 2023, des matériels indisponibles tels que les dispositifs de traitement des effluents et de prélèvement, les dispositifs de mesure et de surveillance et les réparations des réservoirs d'entreposage d'effluents.

Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale compte tenu de la redondance de nos matériels. Des remises en état rapides des matériels ont permis de limiter au maximum l'indisponibilité du matériel.

Durant l'année 2023, le CNPE de Belleville-sur-Loire n'a pas observé de défaut d'étanchéité. Il n'a pas non plus connu un dépassement du seuil 2 de cheminée du bâtiment des auxiliaires nucléaires.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

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

vaporise sous forme d'un panache visible, au sommet de la tour. Cette vapeur d'eau n'est pas une fumée, elle ne contient pas de CO₂. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Ce système avec aéroréfrigérants permet donc de réduire considérablement les prélèvements d'eau qui sont de l'ordre de 2 m³ par seconde.

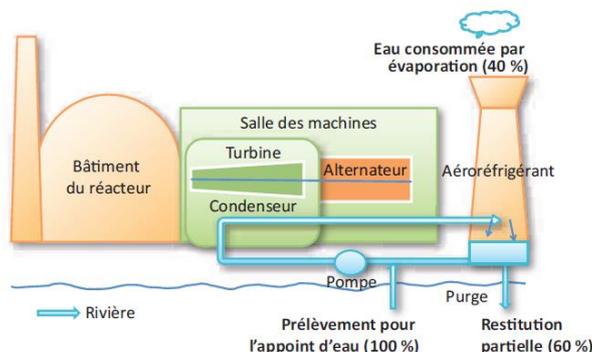


Figure 3 : Schéma d'un CNPE avec circuit de refroidissement ouvert et fermé (Source : EDF)

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

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

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

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

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

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

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	14,1
Février	12,7
Mars	14
Avril	13,5
Mai	14,3
Juin	13,6
Juillet	13,4
Août	12,4
Septembre	11,8
Octobre	13,9
Novembre	13,4
Décembre	14,3
TOTAL	161

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

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

	Prélèvement d'eau (en m ³)
TOTAL	273 753

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

Le cumul annuel des prélèvements d'eau potable destinée à usage domestique pour l'année 2023 est de 43 300 m³.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	6250
Février	3440
Mars	3250
Avril	3430
Mai	3410
Juin	3440
Juillet	3110
Août	3400
Septembre	3010
Octobre	3150
Novembre	3680
Décembre	3720
TOTAL	43300

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

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2021	Eau de surface (Loire)	169 302
2022		166 389
2023		161 703
Prévisionnel 2023		170 000
2021	Nappes phréatiques	44.8
2022		42
2023		43.3
Prévisionnel 2023		45 (dont 8 d'eau d'appoint ultime secours)

Commentaires : Le prélèvement d'eau en Loire et en nappe est conforme à l'attendu.

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n°2014-DC-0413.

Milieu	Limite		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Pompage d'appoint ultime (nappe phréatique)	Volume annuel	23 000	5 425	S.O.	m ³
	Volume journalier	2 200	1 210	178	m ³
	Débit instantané	135	60,5	S.O.	m ³ /h
Nappe phréatique (eau potable)	Volume journalier	600	212	119	m ³
	Volume annuel	90 000	43 300	S.O.	m ³
	Débit instantané	0,021	0,00618	S.O.	m ³ /s
Eau de surface (Loire)	Volume annuel	280 000 000	161 000 000	S.O.	m ³
	Volume journalier	907 000	523 000	442 000	m ³
	Débit instantané	10,5	6,06	S.O.	m ³ /s

*Correspond au volume annuel prélevé

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

A noter que dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu au CNPE de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE de Belleville-sur-Loire, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique (1 puits par tranche). Les deux puits sont en service depuis 2020. Le 12 décembre 2023 a eu lieu les premiers Essais Périodiques quinquennaux en tranche 2.

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

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

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Belleville-sur-Loire n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

Restitution d'eau					
		Eau de refroidissement (millions de m3)	Rejets radioactifs (millions de m3)	Rejets industriels (millions de m3)	Unités
Restitution mensuelle	janvier	10,50	0,0029	0,0325	millions de m ³
	février	9,28	0,0007	0,0232	
	mars	10,30	0,0029	0,0452	
	avril	9,69	0,0036	0,0423	
	mai	10,10	0,0022	0,0596	
	juin	11,40	0,0007	0,0507	
	juillet	13,00	0,0014	0,0281	
	août	12,40	0,0007	0,0361	
	septembre	10,60	0,0014	0,0326	
	octobre	12,10	0,0013	0,0336	
	novembre	11,70	0,0014	0,0591	
	décembre	12,80	0,0022	0,0487	
TOTAL	TOTAL Restitution au milieu aquatique	135			millions de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	83			%

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

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

	Consommation d'eau (milliers de m ³)
janvier	3580
février	3410
mars	3690
avril	3830
mai	3720
juin	2200
juillet	482
août	0
septembre	1150
octobre	1750
novembre	1690
décembre	1560
TOTAL	27100

Cette consommation correspond en grande majorité à l'eau évaporée par les tours aéroréfrigérantes.

2. Comparaison au prévisionnel

La prévision de consommation d'eau est évaluée en tenant compte du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche du CNPE de Belleville-sur-Loire pour l'année 2023. Il a été établi pour l'année 2023 à une valeur de 170 000 000 m³.

Le volume annuel d'eau consommé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2023.

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision¹ donnent lieu à une comptabilisation d'activité rejetée égale au seuil de décision.

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

Exploitation													
	131I (GBq)	133I (GBq)	131mXe (GBq)	133Xe (GBq)	135Xe (GBq)	41Ar (GBq)	85Kr (GBq)	113Sn (GBq)	134Cs (GBq)	137Cs (GBq)	51Cr (GBq)	58Co (GBq)	60Co (GBq)
janvier	0,0001382	0,0009766	/	22,82	9,979	1,657	/	/	0,00003255	0,00003695	/	0,00003468	0,0000606
février	0,0005727	0,0007758	0,0009235	21,77	9,483	1,873	0,006005	/	0,00003678	0,00003501	/	0,00002757	0,00004887
mars	0,0001652	0,0007549	0,0007331	22,43	9,567	2,065	0,004721	/	0,00003397	0,00003067	/	0,00003395	0,00003978
avril	0,0001324	0,0007337	/	21,78	9,356	1,756	/	/	0,00003149	0,00003747	/	0,0000336	0,00004006
mai	0,0002618	0,001697	0,00328	20,39	8,932	6,740	0,005516	/	0,00003279	0,00003676	/	0,00003295	0,0001661
juin	0,0001576	0,001026	/	25,7	11,29	0,7314	/	/	0,00004268	0,00004206	/	0,00003372	0,00005438
juillet	0,0001535	0,0007897	0,001682	27,7	11,7	5,478	0,009751	/	0,00005452	0,00005955	0,0004505	0,0005587	0,0001608
août	0,0001278	0,0006675	/	25,69	10,49	/	/	0,000004423	0,00005312	0,00004867	0,0002199	0,0009569	0,0003633
septembre	0,0001253	0,0007132	0,01491	27,34	11,55	0,432	0,018	/	0,00004238	0,00003991	/	0,0001439	0,0000826
octobre	0,0001216	0,0006325	0,0006653	23,46	9,81	1,234	0,003898	/	0,0000406	0,00003735	/	0,0001727	0,0001551
novembre	0,0001382	0,0006385	/	22,19	9,251	0,8342	/	/	0,00004321	0,00004233	/	0,0002289	0,0002584
décembre	0,0003059	0,0007445	0,0006889	24,65	10,25	0,8488	0,004345	/	0,00003644	0,0000376	/	0,00003485	0,00006792
TOTAL	0,0024	0,0101	0,0229	286	122	23,6	0,0522	0,00000442	0,000481	0,000484	0,00067	0,00229	0,0015

Exploitation						
	Volumes rejetés (m3)	Iodes (GBq)	Gaz rares (GBq)	Autres PF et PA (GBq)	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)
janvier	359 000 000	0,001115	34,46	0,0001648	90,26	62,8
février	327 000 000	0,001348	33,13	0,0001482	69,72	
mars	356 000 000	0,0009201	34,06	0,0001384	83,13	
avril	345 000 000	0,000866	32,89	0,0001426	73,7	
mai	351 000 000	0,001959	36,07	0,0002686	89,08	
juin	395 000 000	0,001183	37,73	0,0001728	170,9	
juillet	454 000 000	0,0009431	44,89	0,001284	153,9	
août	415 000 000	0,0007953	36,18	0,001646	163,9	
septembre	361 000 000	0,0008385	39,35	0,0003088	120,3	27,16
octobre	365 000 000	0,0007541	34,51	0,0004058	120,7	
novembre	354 000 000	0,0007767	32,28	0,0005728	106,5	
décembre	382 000 000	0,00105	35,76	0,0001768	84,55	269
TOTAL	4 460 000 000	0,0125	431	0,00543	11330	

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2021	420.29	1039,03	402.01	0,00989	0,00155
2022	456.53	1223.15	467	0,0118	0,00356
2023	431	1330	269	0,0125	0,00543
Prévisionnel 2023	500	1200	450	0.01	0.02

Commentaires : Le dépassement du prévisionnel des rejets en tritium gazeux est dû aux mises à l'arrêt des tranches 1 et 2. Le dépassement du prévisionnel des rejets gazeux en iodes

est dû à la modification des temps de comptages des spectrométries à la suite de l'application du document prescriptif d'analyses de spectrométrie gamma. La surestimation du prévisionnel pour les produits de fission et d'activation gazeux est liée à la méthode d'évaluation basée sur le REX.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2014-DC-0414.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	25000	455	S.O.
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	/	519000	/
		Débit moyen journalier (Bq/s)	/	/	/
	Cheminée n° 2	Débit moyen journalier (Bq/s)	/	404000	/
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1400	269	S.O.
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	5000	1330	S.O.
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5000000	40800	20200
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5000000	60000	21900
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,8	0,0125	S.O.
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	1,08	0,226
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	0,623	0,174
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	0,00543	S.O.
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	1,58	0,15
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	0,0418	0,027

*Correspond à l'activité annuelle rejetée

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2014-DC-0414. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2014-DC-0414 tout au long de l'année 2023.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- Les événements de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines,

- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

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

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

	Volume des rejets diffus (m ³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides		Autres rejets	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	7440	0	0	92300000	0	0	0
Février	4860	0	0	44230000	0	0	0
Mars	12800	0	0	75560000	0	0	0
Avril	11500	0	0	99500000	0	0	0
Mai	12800	0	0	45430000	0	0	0
Juin	14900	0	0	79910000	0	0	0
Juillet	17900	0	0	58910000	0	0	0
Août	11000	0	0	49710000	0	0	0
Septembre	17700	0	0	9455000	0	0	0
Octobre	6410	0	0	17920000	0	0	0
Novembre	14300	0	0	63270000	0	0	0
Décembre	25400	0	0	67800000	0	0	0
TOTAL ANNUEL	147000	0	0	704000000	0	0	0

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

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

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à l'atmosphère (ammoniac...) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets

sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.

- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO₂, NO_x) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.

- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.

- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.

- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniacque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SO_x) et d'azote (NO_x) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 146 heures, des turbines à combustion (TAC) ayant fonctionné pendant 27 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 67 heures, au total sur les 2 tranches pour 2023 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	TAC DUS	TOTAL
SO _x	kg	2	0	2
NO _x		29644	23401	53045

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2023, 12.5 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs 1 et 2 ont été renouvelés.

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

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	0.00215	4.86E-05
		Monoxyde de carbone	0.00201	4.53E-05

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	21,3
Morpholine / Ethanolamine		142,1

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

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

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

Paramètre	Masse en kg	Tonne équivalent CO ₂
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	kg	/
Hydrogéo-chloro-fluor-carbone (HCFC)		/
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)		64,44
Hexafluorure de soufre (SF ₆)		637,56
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO ₂		702

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2023, les émissions liées à cette activité représentent 702 tonnes équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigènes et SF₆ et de la combustion des diesels de secours, représente 0.0551g CO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 12.75 TWh sur l'année 2023.

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

La liste ci-dessous récapitule les opérations de maintenance les plus significatives de l'année 2023 :

- Remplacement du robinet 2TES042VS par coupe et soude en mai 2023 suivant l'OT 05042550

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

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

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

- par filtration et déminéralisation (résines échangeuses d'ions) permettant de retenir l'essentiel de la radioactivité,

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

Exploitation													
	131I (GBq)	110mAg (GBq)	123mTe (GBq)	124Sb (GBq)	125Sb (GBq)	134Cs (GBq)	137Cs (GBq)	54Mn (GBq)	57Co (GBq)	58Co (GBq)	59Fe (GBq)	60Co (GBq)	63Ni (GBq)
janvier	0,001048	0,001347	0,0008202	0,001221	0,004166	0,001213	0,001488	0,002672	/	0,03307	/	0,03004	0,02056
février	0,0002072	0,0002588	0,0001829	0,0002696	0,0007336	0,0002516	0,0003085	0,0002871	/	0,004036	/	0,001744	0,002506
mars	0,0008611	0,001181	0,0007053	0,001023	0,003589	0,00104	0,001302	0,001176	/	0,01808	/	0,01545	0,03903
avril	0,001158	0,001516	0,0008814	0,001291	0,00355	0,001221	0,001425	0,003206	/	0,01504	/	0,02641	0,009143
mai	0,0007309	0,0008274	0,0005363	0,0006619	0,002064	0,0007078	0,0009358	0,001412	/	0,006043	/	0,0174	0,008088
juin	0,000193	0,0002411	0,0001605	0,0002241	0,000675	0,0002046	0,0002207	0,0003019	/	0,0003073	/	0,0002887	0,0008074
juillet	0,0006033	0,00164	0,0004386	0,0008442	0,009489	0,0007721	0,0008359	0,002741	0,0005787	0,02037	0,001348	0,06894	0,01982
août	0,0002701	0,0006779	0,0001892	0,000356	0,001698	0,0003535	0,0003344	0,0005323	/	0,00725	/	0,01478	0,006188
septembre	0,0005177	0,002454	0,0006279	0,0007161	0,002003	0,0006857	0,0006115	0,001047	/	0,02337	/	0,02386	0,01467
octobre	0,00064	0,000989	0,0004865	0,003209	0,002335	0,0008047	0,0009493	0,001757	/	0,06522	/	0,07323	0,1814
novembre	0,0005895	0,0007485	0,0004014	0,0006655	0,001759	0,0006963	0,0007625	0,001092	/	0,04541	/	0,02229	0,04261
décembre	0,0005785	0,0008109	0,0004938	0,0007202	0,001777	0,0006508	0,0009015	0,0007481	/	0,01075	/	0,006119	0,01425
TOTAL	0,0074	0,0127	0,00592	0,0112	0,0338	0,0086	0,0101	0,017	0,000579	0,249	0,00135	0,301	0,359

	Volumes rejetés (m3)	Iodes (GBq)	Autres PF et PA (GBq)	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)
janvier	7440	0,001048	0,0966	8760	1,578
février	4860	0,0002072	0,01058	4207	0,7591
mars	12700	0,0008611	0,08257	6941	0,7256
avril	11500	0,001158	0,06451	9343	0,8627
mai	9750	0,0007309	0,03868	4315	0,3065
juin	10600	0,000193	0,003431	5180	0,9836
juillet	13000	0,0006033	0,1278	3909	2,281
août	7810	0,0002701	0,03236	821,2	0,1667
septembre	15500	0,0005177	0,07973	562,6	0,1028
octobre	5560	0,00064	0,3303	979,7	0,1852
novembre	9840	0,0005895	0,1164	2257	0,5201
décembre	21000	0,0005785	0,03721	4168	1,745
TOTAL	130000	0,0074	1,02	51400	10,2

Autres PF et PA : Nickel 63 inclus

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF
2021	46 312	14.21	0.0169	0.832
2022	44 700	11.14	0.0114	0.541
2023	51 400	10.20	0.0074	1.02
Prévisionnel 2023	60 000	15	0.02	0.5

Commentaires : Le dépassement du prévisionnel des rejets des produits de fission et d'activation dans les effluents liquides est dû à l'aléa site concernant la gestion des effluents au BTE.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2014-DC-0414.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	60000	51400
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	190	10,2
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	0.0074
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	10	1.02

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux de surface

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

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2023 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière			
	Valeur moyenne mesurée en 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2023	Valeur maximale mesurée en 2023	Limite réglementaire	
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,182 Bq/L	0,317 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	54,7 Bq/L	97,5 Bq/L	280 Bq/L	19,7 Bq/L	94,4 Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	3,0 mg/L	4,2 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,02635 Bq/kg sec	0,0564 Bq/kg sec	-	-	-	-

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

Commentaires : Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 2023 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les eaux vannes issues du CNPE de Belleville-sur-Loire sont traitées par sa station d'épuration.

Les principales substances utilisées sont :

- L'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- La lithine (LiOH) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine

est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.

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

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

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

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

L'injection d'acide sulfurique agit sur les causes de la formation du tartre. Il permet de se placer dans le domaine où les ions, à partir desquels se forme le carbonate de calcium, sont en dessous de la saturation ou dans les limites de sursaturation ne donnant pas lieu à précipitation.

L'injection d'anti-tartre organique agit sur le processus de germination du tartre par un ralentissement de la vitesse de croissance des cristaux et permet de limiter également l'adhésion du tartre et des matières en suspension sur les parois des principaux composants des circuits par son effet filmant et dispersant.

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

- des composés liés à la fabrication de la monochloramine sur CNPE, tels que le sodium, les chlorures et l'ammonium issus respectivement de l'hypochlorite de sodium ($NaOCl$) et de l'ammoniaque (NH_4OH),

- des composés issus de la réaction du chlore de la monochloramine avec les matières organiques présentes dans l'eau circulant dans les circuits de refroidissement, tels que les AOX (dérivés organo-halogénés),
- des nitrites et nitrates liés à la décomposition de la monochloramine et à l'oxydation de l'azote réduit (ammonium).

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

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

Une évolution des connaissances sur la toxicité de la morpholine a été identifiée en 2019.

De même, une substance formée à partir de la réaction de nitrosation d'un sous-produit de la morpholine a été identifiée récemment. Ces évolutions sont présentées ci-après. Les principaux effets connus sont également rappelés ci-après.

La morpholine a des propriétés irritantes (respiratoire, oculaire et cutané) et corrosives. Une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) chronique par voie orale de 0,12 mg/kg/j a été établie par l'ANSES en 2019. Une mise à jour de l'évaluation de risque sanitaire, à la suite de la prise en compte de cette VTR pour la morpholine, a été réalisée. Elle conclut à une absence de risque sanitaire pour les populations riveraines et à des concentrations ajoutées faibles dans l'environnement.

Les produits de dégradation de la morpholine sont constitués de composés carbonés : ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de composés azotés : diéthanolamine, éthanolamine, méthylamine, pyrrolidine, diéthylamine, éthylamine, N-nitrosomorpholine. Il s'agit de substances qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances à l'exception de la N-nitrosomorpholine. De plus, la morpholine peut notamment être transformée in vivo en Nnitrosomorpholine en présence de nitrites. Une VTR chronique par voie orale pour la N-nitrosomorpholine de 4 (mg/kg/j)-1 a été établie par l'ANSES en 2012.

De même, la pyrrolidine peut être transformée in vivo en N-nitrosopyrrolidine. Il s'agit d'une substance formée à partir de la réaction de nitrosation d'un sous-produit de la morpholine, la pyrrolidine. Une VTR chronique par voie orale pour la Nnitrosopyrrolidine de 2,1 (mg/kg/j)-1 a été établie par l'US EPA en 1987. Une mise à jour de l'évaluation de risque sanitaire, à la suite de la prise en compte de cette substance, a été réalisée. Elle conclut à une absence de risque sanitaire pour les populations riveraines et à des concentrations ajoutées faibles dans l'environnement. L'étude d'impact n'a pas mis en évidence de risque sanitaire attribuable aux rejets liquides de morpholine et de ses produits dérivés.

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, EDF mène des études afin d'améliorer la connaissance de ses rejets (identification de sous-produits de la morpholine et de l'éthanolamine, de sous-produits issus des traitements biocides, dégradation de la monochloramine et de l'hydrazine dans l'environnement etc.). EDF mène également des études afin d'améliorer la connaissance de l'incidence de ses rejets sur l'homme et

l'environnement. Ces évaluations d'impact nécessitent en effet l'utilisation de valeurs de référence qui font l'objet d'une veille scientifique :

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

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

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

b. Règles spécifiques de comptabilisation

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

3. Rejets d'effluents liquides chimiques en Loire

a. Cumul mensuel

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

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Phosphates (kg)	MES (kg)	DCO (kg)	Azote total (kg)	Sodium (kg) (Station de Déminéralisation)	Chlorures (kg) (Station de Déminéralisation)
Janvier	1420	48,3	0,114	0.063045	7,45	21,00	51,8	187	29,8	2120	4625
Février	45,1	24,00	0,03	0.003685	4,86	27,60	15,5	90,9	31,5	5071	8188
Mars	435	28,30	0,04	0.01835	12,7	32,10	38,7	522	32,5	3220	6400
Avril	604	20,50	0,05	0.034839	12,3	25,70	22,7	342	33,9	6010	10400
Mai	233	22,60	0,06	0.01093	9,76	30,90	0,751	191	37,9	3173	6577
Juin	18,3	4,58	0,05	0.007455	11,4	49,30	7,49	186	29,9	2274	5116
Juillet	270	10,06	0,04	0.017515	13	26,76	18,1	229,3	14,04	1525	2871
Août	196	70,82	0,04	0.00728	7,81	25,93	8,154	230,5	6,943	1227	3025
Septembre	833	24,46	0,04	0.006985	15,5	9,66	27,18	277,9	11,49	3529	7164
Octobre	264	6,08	0,03	0.011825	5,56	19,40	34,85	126	21,99	2012	4026
Novembre	33,3	3,24	0,02	0.007125	9,85	33,31	5,913	132,7	28,39	2524	6284
Décembre	40,9	40,76	0,28	0.03602	21	18,48	22,78	243,3	33,15	4777	9483
TOTAL ANNUEL	4390	304,00	0,81	0.225	131	320,00	254	2760	311,503	37500	74200

Le tableau ci-dessous présente le cumul mensuel des métaux totaux et de ses composants :

	Aluminium total (kg)	Chrome total (kg)	Fer total (kg)	Manganèse total (kg)	Nickel total (kg)	Plomb total (kg)	Cu (kg)	Zn (kg)	Métaux totaux (kg)
Janvier	2,863E-01	1,861E-02	6,457E+00	1,814E-01	1,861E-02	7,444E-03	8,208E+02	2,417E+02	1,066E+03
Février	1,640E-01	1,215E-02	2,957E+00	1,257E-01	1,215E-02	1,454E-02	7,251E+02	2,124E+02	9,390E+02
Mars	4,321E-01	3,185E-02	1,895E+01	8,722E-01	3,185E-02	2,439E-02	8,701E+02	3,398E+02	1,224E+03
Avril	1,153E-01	2,881E-02	1,089E+01	1,983E-01	2,881E-02	1,153E-02	7,089E+02	2,194E+02	9,328E+02
Mai	8,134E-01	2,439E-02	1,542E+01	2,403E-01	2,439E-02	1,413E-02	9,207E+02	2,360E+02	1,160E+03
Juin	3,634E-01	2,656E-02	1,107E+01	2,506E-01	2,656E-02	1,143E-02	4,061E+02	7,001 E+01	4,796E+02
Juillet	7,099E-01	3,240E-02	3,581E+00	3,575E-01	3,240E-02	1,296E-02	1,286E+02	2,524E+01	1,580E+02
Août	2,100E-01	1,951E-02	6,964E+00	3,196E-01	1,951E-02	1,370E-02	6,433E+01	7,984E+00	7,476E+01
Septembre	1,928E-01	3,876E-02	3,004E+00	3,481E-01	3,876E-02	5,549E-02	3,559E+02	9,014E+01	4,491E+02
Octobre	5,563E-02	1,391E-02	6,737E+00	2,761E-01	1,882E-02	5,563E-03	8,287E+02	2,643E+02	1,095E+03
Novembre	1,827E-01	2,461E-02	1,719E+01	4,806E-01	2,989E-02	9,845E-03	9,557E+02	3,895E+02	1,351E+03
Décembre	2,100E-01	5,251E-02	7,156E+00	5,596E-01	5,251E-02	2,889E-02	1,221E+03	6,279E+02	1,853E+03
TOTAL ANNUEL	3,74E+00	3,24E-01	1,10E+02	4,21E+00	3,34E-01	2,10E-01	8,01E+03	2,72E+03	1,08E+04

Le tableau ci-dessous présente le cumul mensuel de la station d'épuration :

	DCO (kg)	DBO (kg)	MES (kg)	Azote Kjeldahl (kg)	Phosphore (kg)
Janvier	3,39E+01	6,47E+00	1,39E+01	4,53E+00	1,26E+00
Février	4,68E+01	3,37E+01	1,10E+01	1,74E+01	1,11E+00
Mars	5,70E+01	1,96E+01	2,31E+01	2,65E+01	1,55E+00
Avril	4,39E+01	5,58E+00	1,10E+01	1,06E+01	1,32E+00
Mai	3,00E+01	5,59E+00	1,42E+01	4,66E+00	1,60E+00
Juin	3,81E+01	6,08E+00	1,62E+01	7,90E+00	1,18E+00
Juillet	4,75E+01	4,96E+00	1,52E+01	8,60E+00	1,61E+00
Août	4,77E+01	3,86E+00	1,47E+01	3,38E+01	1,87E+00
Septembre	5,17E+01	4,91E+00	7,86E+00	5,57E+00	2,10E+00
Octobre	3,05E+01	4,13E+00	8,94E+00	3,72E+00	1,51E+00
Novembre	3,75E+01	5,83E+00	1,22E+01	1,94E+01	1,76E+00
Décembre	3,75E+01	5,51E+00	5,55E+00	2,54E+01	3,10E+00
TOTAL ANNUEL	5,02E+02	1,06E+02	1,54E+02	1,68E+02	2,00E+01

b. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2021	2022	2023	Prévisionnel 2023
Acide borique	kg	6220,2	4980	4390	4500
Morpholine	kg	183,4	124,39	304	250
Hydrazine	kg	0,673	0,617	0,81	0,8
Lithine	kg	0,20	179,742	0,225	-
Détergents	kg	150,2	217	131	220
Azote total	kg	365,9	342	311,503	400
Phosphates	kg	218,9	333	320	330
Sodium	kg	23370	26000	37500	26000
Chlorures	kg	58929	58700	74200	58000
Métaux totaux (Sauf Cuivre et Zinc)	kg	24803	15400	10700	15000
MES	kg	150,20	182	254	/
DCO	kg	2315,3	2280	2760	/
Cuivre total	kg	17797	11200	8010	10 500
Zinc total	kg	6814	4110	2720	4000

Commentaires : Le dépassement du prévisionnel des rejets de morpholine est dû à un aléa d'exploitation. Le dépassement du prévisionnel des rejets de sodium et de chlorures est dû aux aléas de la station de déminéralisation et des tranches.

c. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2023 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2014-DC-0414.

Substances	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)	Valeur moyenne calculée (mg/L)	Flux 24h (kg)	Valeur maximal calculée (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Acide borique	15	0,938	0,111	1700	290	230	24,8	12000	4390
Morpholine	3,50	0,0139	0,000355	21	3,14	-	-	1160	304
Hydrazine	0,1	0,0000152	0,00000253	1	0,00498	-	-	17	0,810
Détergents	0,9	0,0014	0,000533	8	0,452	11	0,0446	2100	23,1
Azote	1,20	0,00782	0,000521	24	2,86	-	-	3230	311
Phosphates	0,9	0,0163	0,000663	60	5,96	20	0,497	1600	320
Sodium	28	2,94	1,54	750	94	-	-	-	-
Chlorures	47	5,59	1,60	1300	1080	-	-	58000	-
Métaux totaux	0,560	0.214	0.0851	106	78	-	-	-	10900
MES	0,5	0,0259	0,00445	80	9,58	10	0,798	-	-
DCO	0,6	0,101	0,0181	150	31,9	14	2,66	-	-

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2023, la quantité de lithine rejetée par le CNPE de Belleville-sur-Loire est évaluée à 0.225 kg.

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n°2017-DC-0588.

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

La liste ci-dessous récapitule les actions les plus significatives de l'année 2023 :

- Réseaux gravitaires
 - Traitement des anomalies classées G1 sur le réseau SEH
 - Traitement des anomalies classées G1 sur le réseau SEV
 - Réparation des anomalies classées G1 sur le réseau SEO branches 3, 4 et 5 ;
 - Réparation des anomalies classées G2 sur le réseau SEO branche 6.

Des réparations ont été réalisées sur les EIPR suivants :

TEM / AT	Localisation	Référence	Description
TEM	DUS Tr1	1HDU0601FW	Reprise des trous de chevilles dans le revêtement armé
TEM	DUS Tr2	2HDU0601FW	Reprise des trous de chevilles dans le revêtement armé
AT	BR Tr1	1HRA000SYST (peau composite)	Reprise du revêtement armé à la suite des tests d'arrachement (contrôle type 2bis)

5. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Belleville-sur-Loire n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2023.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

Les contrôles destinés à s'assurer du respect des limites réglementaires s'appuient sur des mesures de températures réalisées dans le rejet et dans l'environnement ou sur des

calculs effectués à partir de paramètres physiques tels que le rendement thermodynamique, l'énergie électrique produite, les débits de rejet et du cours d'eau.

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Belleville-sur-Loire et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2014-DC-0414.

Le CNPE de Belleville-sur-Loire réalise en continu des mesures de températures en amont, au rejet et en aval du CNPE et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2023 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)			Echauffement amont-aval calculé (°C)			Température aval après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	6,8	6,3	6,5	0,16	0,07	0,10	6,9	6,5	6,7
Février	6,9	5,8	6,4	0,24	0,13	0,18	7,2	6,1	6,7
Mars	10,3	9,0	9,6	0,26	0,04	0,12	10,5	9,2	9,9
Avril	13,9	12,1	13,0	0,12	0,03	0,07	14,0	12,3	13,2
Mai	19,1	17,0	18,0	0,11	0,01	0,06	19,2	17,1	18,2
Juin	25,6	22,8	24,2	0,04	-0,02	0,02	25,5	22,8	24,1
Juillet	25,4	22,3	23,8	0,08	-0,04	0,02	25,1	22,3	23,7
Août	25,0	22,0	23,5	0,09	-0,09	-0,04	24,8	22,0	23,3
Septembre	23,8	20,6	22,2	0,16	-0,04	0,08	23,6	20,8	22,1
Octobre	17,1	14,9	16,0	0,52	0,05	0,22	17,1	15,2	16,1
Novembre	10,5	9,9	10,1	0,13	0,02	0,06	10,6	10,0	10,2
Décembre	7,5	7,0	7,2	0,09	0,02	0,05	7,6	7,1	7,3

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article EDF-BEL-134 de la décision ASN n°2014-DC-0414.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement amont-aval calculé	°C	1°C ou 1,5°C si la température de la Loire est > 15°C	0,52
Température aval après mélange	°C	-	25,5

Commentaires : Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées.

3. En conditions climatiques exceptionnelles

Aucun épisode caniculaire nécessitant l'utilisation des limites en conditions climatiques exceptionnelles n'a eu lieu en 2023.

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

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

Partie V - Prévention du risque microbiologique

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

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

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

I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2023 en *Legionella pneumophila* mesurées en bassin et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Les résultats des analyses de suivi de la concentration en *Legionella pneumophila* et en *Naegleria fowleri* calculés et mesurés en aval dans le fleuve sont détaillés en annexe 2.

Paramètre	Valeur maximale observée en 2023	Seuil d'action
<i>Legionella pneumophila</i>	270 000	10 000 UFC / L
<i>Naegleria fowleri</i>	8,00	100 <i>N.fowleri</i> / L

Pendant toute la durée du suivi microbiologique, la concentration en *Naegleria fowleri* calculée dans la Loire après dilution du rejet n'a jamais atteint la valeur limite de 100 *Nf/L*, et la concentration en *Legionella pneumophila* n'a jamais atteint le seuil d'action de 10 000 UFC/L.

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

Pour 2023, le CNPE de Belleville-sur-Loire n'a pas fait usage de traitements biocide. L'installation de traitement à la monochloramine sera mise en service en 2024.

Partie VI - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

rejets de ses installations nucléaires, le niveau de radioactivité dans l'environnement à proximité du CNPE a considérablement diminué depuis une vingtaine d'année.

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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

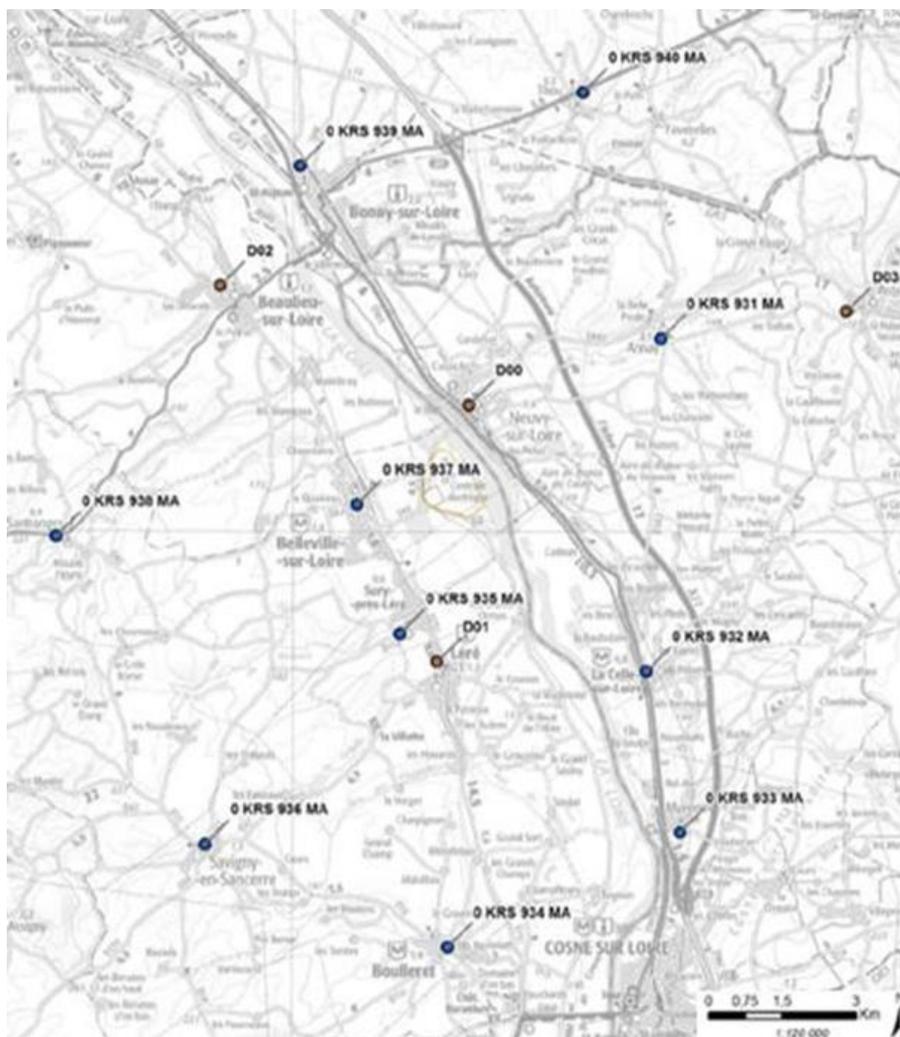


Figure 4 : Localisation des stations KRS (réseaux 5 et 10km)

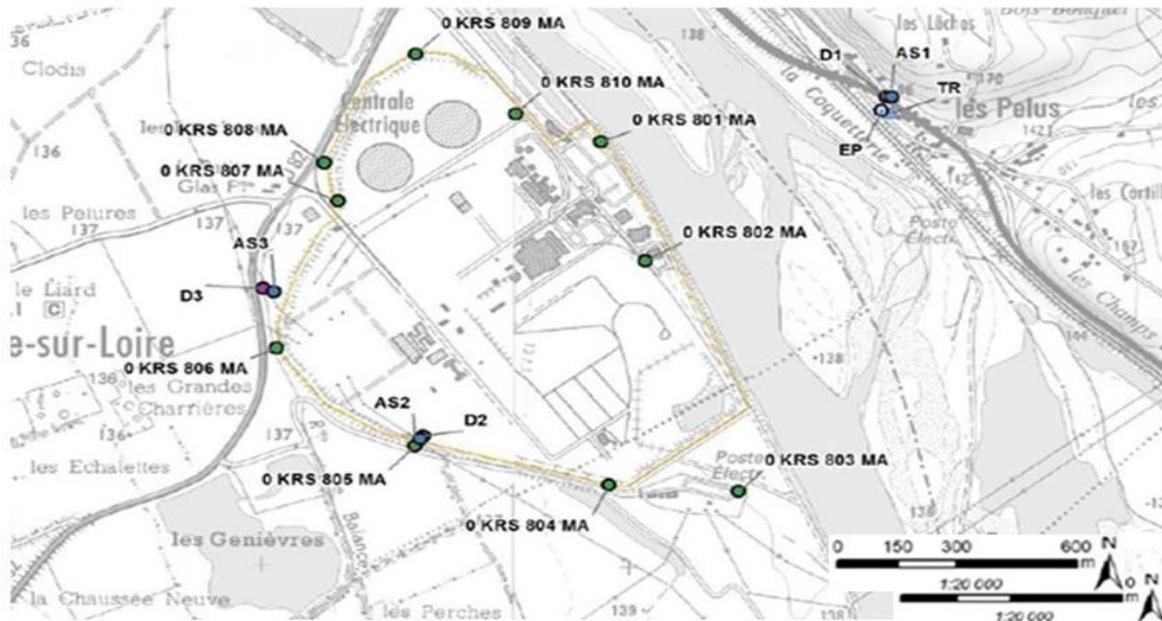


Figure 5 : Localisation des stations KRS (réseaux clôture et 1km)

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation et l'enregistrement des données. Les débits de dose moyens enregistrés par les différents réseaux de mesure pour l'année 2023 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux et les données relatives aux années antérieures sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2023 (nSv/h)	Débit de dose max année 2023 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)
Réseau clôture	133,18	260	133,4	131,5
Réseau 1 km	109,19	270	108	112
Réseau 5 km	127,04	270	128	128,3
Réseau 10 km	129,17	250	129	132,3

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

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

Un dispositif de prélèvement du tritium atmosphérique par barbotage est également implanté sous les vents dominants à la station dite AS1. L'analyse du tritium atmosphérique

piégé est réalisée pour chacune des périodes définies réglementairement (du 1er au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 22 à la fin du mois).

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

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

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)	
Poussières atmosphériques (Bq/m ³)	Bêta globale	0,000552	0,00305	0,01 Bq/m ³	
	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	< 0,0000117	< 0,000017	-
		⁶⁰ Co	< 0,00000834	< 0,000013	-
		¹³⁴ Cs	< 0,00000933	< 0,000013	-
		¹³⁷ Cs	< 0,0000068	< 0,0000098	0,000010 Bq/m ³
⁴⁰ K	< 0,000136	< 0,00023	-		
Tritium atmosphérique (Bq/m ³)		< 0,179	< 0,249	50 Bq/m ³	
Eau de pluie (Bq/L)	Bêta globale	0,151	0,296	-	
	Tritium	< 5,33	< 7,62	-	

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

3. Surveillance du milieu terrestre

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

Nature du prélèvement	Radionucléide		Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	Mensuelle	0,388	0,93
		⁴⁰ K		698,5	1050
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	⁴⁰ K	Mensuelle	51,85	77

Commentaires : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2022 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 3**. La surveillance de la radioactivité du sol, de la faune et de la flore ne révèle aucun défaut. Les radioéléments mesurés sont à l'état de traces (mêmes ordres de grandeurs observés depuis 2003).

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2022 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 3**.

5. Surveillance des eaux souterraines

Les eaux souterraines situées au droit du CNPE font l'objet d'une surveillance radiologique dont les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Paramètre	Unité	Valeur maximale mesurée
Tritium 3H	Bq/L	31,8
Bêta Global (eau filtrée)	Bq/L	< 1
Bêta Global MES	Bq/L	0,352
Potassium	mg/L	18

Commentaires : Les valeurs maximales en tritium des eaux souterraines proviennent du piézomètre 0 SEZ 005 PZ qui est historiquement marqué. La radioactivité de l'eau est conforme à l'attendu.

II. Physico-chimie des eaux souterraines

Une surveillance physico-chimique des eaux souterraines est effectuée sur les paramètres physicochimiques par le biais de prélèvements sur 33 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	8,00
Conductivité	µS/cm	708
Température	°C	32,6
Hydrocarbures totaux	mg / l	0,11
DCO		14,8
COT		2,3
Ammonium		0,16
NTK		4,10
Métaux totaux		9,45
Phosphates		0,81
Nitrites		0,05
Nitrates		39,6
Chlorures		32,2
Sulfates		29,8
Sodium		< 100

Commentaires : La physico-chimie de l'eau est conforme à l'attendu.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie en continu

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

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 2023 pour les stations amont, rejet et aval.

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11.6	11.9	10.7	9.8	8.5	7.5	8.3	8.3	8.0	9.5	10.0	11.2
Conductivité (µS/cm)	254	275	241	217	216	227	258	269	271	280	224	205
pH	7.8	8.0	8.0	7.9	7.8	7.9	8.3	8.6	8.1	8.4	7.7	7.7
Température	6.5	6.4	9.6	13.0	18.0	24.2	23.8	23.5	22.2	16.0	10.1	7.2

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10.2	10.4	9.7	9.4	8.7	8.2	8.3	8.2	8.2	9.1	10.2	10.6
Conductivité (µS/cm)	325	367	320	224	290	267	270	270	301	317	252	237
pH	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.3	8.4	8.5	8.2	8.4	8.0	7.9
Température	13.8	13.2	15.6	17.2	21.1	24.8	24.2	23.1	23.2	18.6	13.4	7.2

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11.9	12.1	11.0	10.1	9.1	8.2	8.6	8.9	9.1	10.1	10.3	11.3
Conductivité (µS/cm)	257	287	252	224	290	237	267	273	273	285	224	212
pH	7.9	7.9	8.0	8.0	8.4	8.0	8.3	8.5	8.3	8.3	7.6	7.6
Température	6.7	6.7	9.9	13.2	18.2	24.1	23.7	23.3	22.1	16.2	10.3	7.3

Commentaires : La surveillance des stations multi-paramètres ne révèle aucun défaut.

Il n'y a pas de différence significative des mesures moyennes mensuelles de pH, oxygène dissous et de conductivité entre les stations amont et aval du CNPE.

2. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par le laboratoire IANESCO, en amont et en aval, des mesures de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Station Sury-près-Léré et Neuvy-sur-Loire (amont)	Unité	06/06/23	19/07/23	09/08/23	06/09/23	20/09/23	10/10/23
Température	°C	22	23	20	23	19	16
Turbidité Secchi	cm	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Conductivité à 25°C	µS/cm	254	279	284	283	287	303
Oxygène dissous	mgO2/L	8,4	8,6	9,3	6,1	8,2	7,9
pH	pH	8,1	8,1	8,7	7,7	7,8	8,3
Saturation en oxygène dissous (IN SITU)	%	96	99	104	71	90	80
Turbidité	NFU	5	1,3	1	5,1	3,9	1,4
Titre alcalimétrique (TA)	°F	0	0	0,4	0	0	0
Titre alcalimétrique complet (TAC)	°F	7,9	9,1	9,3	8,7	8,2	9,5
Titre acidimétrique (TACi)	°F	3,4	3,6	4,1	4,1	3,7	2,6
Dureté dissoute (TH)	°F	8,8	9,8	9,1	9	8,5	10,2
Dureté calcique dissoute	°F	6,8	7,5	7	6,8	6,3	7,8
Dureté magnésienne dissoute	°F	2	2,3	2,1	2,3	2,2	2,4
Carbone organique dissous (COD)	mg/L	3,2	3	3,2	3,2	3,5	2,9
Silice (SiO2)	mg/L	11	8,1	4,6	8,5	7	0,9
Calcium dissous (Ca)	mg/L	27	30	28	27	25	31
Magnésium dissous (Mg)	mg/L	4,9	5,6	5,2	5,6	5,4	5,9
Sodium dissous (Na)	mg/L	13	14	16	17	18	20
Potassium dissous (K)	mg/L	3,3	3,9	3,9	4,3	4,5	4,3
Hydrogénocarbonates HCO3	mg/L	96	111	104	106	100	116
Sulfates (SO4)	mg/L	14	15	16	16	16	17
DBO5J (non diluée)(éch.congelé)(ATU)	mgO2/L	<0,5	<0,5	0,6	1	0,6	<0,5
ST-DCO	mgO2/L	<10	<10	10	14	12	<10
Matières en suspension (MES)	mg/L	6,6	2	<2	7,6	4,7	<2
Nitrates (NO3)	mg/L	6,3	3	1,2	1,6	3	0,9
Nitrites (NO2)	mg/L	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01
Ammonium (NH4)	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	<0,01
Chlorures (Cl)	mg/L	19	19	20	22	23	25
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5
Azote global (N)	mg/L	1,93	0,69	0,29	0,87	0,71	0,21
Phosphore total (en P)	mg/L	0,07	0,05	0,02	0,06	0,07	0,01
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,12	0,08	<0,02	0,06	0,11	<0,02

Station Les Mantelots (aval)	Unité	06/06/23	19/07/23	09/08/23	06/09/23	20/09/23	10/10/23
Température	°C	21	22	20	23	20	17
Turbidité Secchi	cm	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Conductivité à 25°C	µS/cm	267	291	290	288	293	310
Oxygène dissous	mgO2/L	8,9	8,7	8,3	7,6	8,4	8,9
pH	pH	8	7,9	8,5	8,1	7,9	8,4
Saturation en oxygène dissous (IN SITU)	%	101	100	93	90	94	92
Turbidité	NFU	4	3,1	1,3	5,8	4,5	1,8
Titre alcalimétrique (TA)	°F	0	0	0,3	0	0	0,1
Titre alcalimétrique complet (TAC)	°F	8,6	9,5	9,8	9,1	8,7	9,8
Titre acidimétrique (TACi)	°F	2,7	3	3,7	3,8	3,5	2,7
Dureté dissoute (TH)	°F	9,8	10,3	9,3	9,5	9	10,3
Dureté calcique dissoute	°F	7,5	8	7,1	7,3	6,8	8
Dureté magnésienne dissoute	°F	2,3	2,3	2,1	2,3	2,2	2,3
Carbone organique dissous (COD)	mg/L	3,1	3	3	3,1	3,4	2,9
Silice (SiO2)	mg/L	11	8,5	4,9	8,6	6,9	0,8
Calcium dissous (Ca)	mg/L	30	32	29	29	27	32
Magnésium dissous (Mg)	mg/L	5,5	5,5	5	5,5	5,4	5,7
Sodium dissous (Na)	mg/L	13	14	15	17	17	20
Potassium dissous (K)	mg/L	3,5	3,8	3,7	4,3	4,5	4,2
Hydrogénocarbonates HCO3	mg/L	105	116	112	111	106	117
Sulfates (SO4)	mg/L	14	15	16	15	16	17
DBO5J (non diluée)(éch.congelé)(AT U)	mgO2/L	<0,5	<0,5	<0,5	3	0,7	<0,5
ST-DCO	mgO2/L	<10	10	11	13	12	<10
Matières en suspension (MES)	mg/L	3,3	<2	2,4	7,1	7	2,3
Nitrates (NO3)	mg/L	6,7	3,5	1,7	1,7	3,3	1,1
Nitrites (NO2)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
Ammonium (NH4)	mg/L	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	<0,01
Chlorures (Cl)	mg/L	17	19	20	21	22	25
Azote Kjeldahl (NTK)	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5
Azote global (N)	mg/L	2,02	0,80	0,41	0,89	0,77	0,25
Phosphore total (en P)	mg/L	0,06	0,04	0,02	0,04	0,06	0,01
Orthophosphates (PO4)	mg/L	0,11	0,06	<0,02	0,03	0,10	<0,02

Commentaires : Très peu de disparités de la qualité physico-chimique de l'eau de la Loire sont constatées pour ce suivi hydro-écologique 2023 réalisé de part et d'autre du CNPE de Belleville-sur-Loire. Globalement, les caractéristiques physico-chimiques sont équivalentes aux deux stations amont et aval. Les moyennes obtenues en 2023 sont du même ordre de grandeur que celles obtenues en 2021, 2020 et en 2019, pour les paramètres analysés dans le cadre de ce suivi 2023. A noter que la valeur moyenne de la turbidité et des teneurs en MES

sont plus élevées en 2021, résultant des conditions de forte hydrologie pour les campagnes du 22/09/2021 et du 06/10/2021.

Comme pour les suivis annuels précédents, cette expertise ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE de Belleville-sur-Loire sur la qualité physico-chimique de l'eau de la Loire.

3. Chimie des eaux de surface

Les rejets chimiques résultant du fonctionnement du CNPE sont issus :

- des produits de conditionnement des circuits ;
- des traitements de l'eau des circuits contre le tartre, la corrosion ;
- de l'usure normale des matériaux
- du lavage du linge utilisé en zone contrôlée

Ces rejets font l'objet d'une surveillance des concentrations présentes dans le milieu récepteur. A cet effet, des mesures de substances chimiques sont effectuées trimestriellement dans le fleuve en amont et en aval du CNPE. Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux deux stations amont et aval sur l'année 2023.

Paramètres Station amont		Unité	06/06/23	19/07/23	09/08/23	06/09/23	20/08/23	10/10/23
Bore		mg/L	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	0,07
Aluminium	Fraction Dissous	µg/L	8	10	10	4	4	8
	Total		210	75	97	140	260	37
Cuivre	Fraction Dissous		1,3	1,4	1	1,1	1,2	1
	Total		1,9	1,8	1,3	1,5	1,7	1,3
Fer	Fraction Dissous		25	6	10	9	10	12
	Total		290	83	30	190	230	43
Manganèse	Fraction Dissous		4,1	2,8	4,5	16	8,2	11
	Total		14	6,8	7,1	53	44	16
Zinc	Fraction Dissous		2	2	2	2	2	2
	Total		23	7	2	4	6	4

Paramètres Station aval		Unité	06/06/23	19/07/23	09/08/23	06/09/23	20/08/23	10/10/23
Bore		mg/L	<0,05	<0,05	,07	<0,05	<0,05	0,06
Aluminium	Fraction Dissous	µg/L	8	7	8	15	4	8
	Total		130	80	45	80	250	57
Cuivre	Fraction Dissous		3,5	1,6	1,1	2,5	3,5	5,4
	Total		4,4	2,1	1,4	3,2	4,8	6,1
Fer	Fraction Dissous		23	4	9	9	9	11
	Total		170	86	41	120	220	61
Manganèse	Fraction Dissous		7,6	5,1	6,7	10	7	11
	Total		13	10	9,9	39	41	19
Zinc	Fraction Dissous		2	2	1	2	2	2
	Total		14	5	2	4	4	4

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance physico-chimique et hydrobiologique à Ianesco et Fish-Pass. La période d'analyse à l'étiage est adaptée chaque année par le bureau d'études retenu en fonction des conditions hydro climatiques, et une justification sera apportée dans le rapport annuel.

L'objectif de la surveillance pérenne est de suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de détecter une évolution anormale de l'écosystème, sur le long terme, qui pourrait être attribuable au fonctionnement du CNPE. Au contraire, les surveillances en conditions climatiques exceptionnelles et situations exceptionnelles ont plutôt pour objectif d'étudier la réponse à court terme de l'écosystème sous conditions de débits contraints et températures ambiantes élevées, le CNPE étant en fonctionnement.

1. Surveillance pérenne

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

Cette étude s'inscrit dans le cadre du suivi hydro-écologique et chimique réglementaire du CNPE de Belleville-sur-Loire, conformément à la décision n°2014-DC-0413 de l'Autorité de Sécurité Nucléaire du 16 janvier 2014. L'objectif de ce suivi est de :

- connaître la concentration dans l'eau des substances chimiques rejetées par le CNPE
- suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de détecter une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement du CNPE.

Ce suivi hydro-écologique et chimique 2023 intègre un programme d'échantillonnage saisonnier de juin à octobre pour la caractérisation physico-chimique des eaux de la Loire (6

campagnes), de mai à septembre pour l'expertise de la chlorophylle a et des phéopigments (6 campagnes). Il comporte également un suivi de trois groupes biologiques, représentatifs du milieu benthique. Les algues diatomées (indice IBD) sont échantillonnées au printemps (avril) et en automne (octobre) alors que la végétation aquatique (indice IBMR) est expertisée au cours de l'étiage estival (septembre). Le suivi des macro-invertébrés benthiques (protocole MGCE) couvre quant à lui l'essentiel du cycle annuel en intégrant 4 campagnes d'échantillonnage représentatives de contextes saisonniers très variés, au printemps (avril) et début d'été (juin), au cœur de l'étiage estival (août), et en début d'automne (octobre). La surveillance chimique comprend des éléments métalliques (l'Aluminium, le Cuivre, le Fer, le Manganèse et le Zinc) et le bore ; elle porte sur 6 campagnes de juin à octobre. Le suivi hydrobiologique 2023 s'inscrit dans **un contexte hydrologique très déficitaire**.

Sur l'ensemble de l'année, les écoulements apparaissent très inférieurs aux moyennes. Des conditions de basses eaux s'installent dès le mois de juillet et se prolongent jusqu'au mois de novembre.

► Après une caractérisation des principaux **paramètres physico-chimiques**, utilisés pour évaluer la qualité des eaux de surface (matière organique, matières en suspension, éléments azotés, phosphorés, ...) l'analyse détaille les disparités spatio-temporelles pointées par ces indicateurs physico-chimiques déterminés à l'amont et à l'aval du CNPE de Belleville-sur-Loire. Ces paramètres ont été analysés conformément aux normes en vigueur et sont pour la majorité accrédités COFRAC. Très peu de différences de qualité physico chimique de l'eau de la LOIRE sont constatées en 2023 de part et d'autre de la centrale. La comparaison interannuelle 2023/2022/2021/2020 ne met pas en évidence de différences particulières. A noter que la valeur moyenne de la turbidité, et des teneurs en MES sont plus élevées en 2021, résultant des conditions de forte hydrologie pour les campagnes 22/09/2021 et du 06/10/2021. Comme pour les suivis annuels précédents, cette expertise ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE de Belleville-sur-Loire sur la qualité physico-chimique de l'eau de la Loire.

► Lors de ce suivi 2023, **5 éléments métalliques** suivis à la fois sur fraction brute et fraction dissoute, ont été contrôlés à l'amont et à l'aval du CNPE. Hormis pour le cuivre, l'analyse spatio-temporelle des concentrations en métaux dans l'eau de la Loire à l'amont et à l'aval du CNPE de Belleville-sur-Loire ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE. L'augmentation de la valeur moyenne du Cuivre dissous de l'amont (1,2 µg/l) vers l'aval du CNPE (2,9 µg/l) et du Cuivre total (1,6 µg/l en amont à 3,7 µg/l en aval) reste modeste.

► Les concentrations en **pigments chlorophylliens actifs** (chlorophylle a) ou bien celles issues de la dégradation des molécules de chlorophylles (phéopigments) sont faibles pour 2023 et du même ordre de grandeur en amont et en aval de la centrale. Ces résultats sont conformes aux données antérieures. La comparaison interannuelle 2023/2022/2021/2020 ne met pas en évidence de différences particulières, même si les valeurs moyennes en chlorophylle a en 2023, en 2022 et en 2021 sont plus de 2 fois inférieures à celles observées en 2020. Ces deux paramètres (chlorophylle a et phéopigments) ont été analysés conformément aux normes en vigueur et sont accrédités COFRAC. Ce suivi annuel est complété par la caractérisation des peuplements de plusieurs groupes biologiques de part et d'autre du rejet du CNPE de Belleville-sur-Loire : les algues diatomées, les macrophytes, et les macro-invertébrés benthiques.

► Les **algues diatomées** sont expertisées selon la norme NF T90-354, dite de l'Indice Biologique Diatomées. Leur échantillonnage a lieu au printemps (avril) et à l'automne (octobre).

Cette communauté biologique montre une certaine disparité selon la période de prélèvement. Elle pointe une qualité biologique modérée en avril et bonne en octobre.

Néanmoins, les cortèges varient peu entre les deux stations du suivi, ce qui permet de conclure à **l'absence d'influence du rejet du CNPE de Belleville-sur-Loire sur les algues périphytiques.**

► Les **macrophytes** sont expertisés selon la norme NF T90-395, associée à l'Indice Biologique Macrophytes en Rivière (IBMR) ; l'échantillonnage a eu lieu en conditions de basses eaux (septembre 2023).

Les peuplements sont typiques de la Loire moyenne ; ils présentent quelques légères différences entre l'amont et l'aval du CNPE. Ce constat provient essentiellement des caractéristiques mésologiques différentes entre les deux sites de suivi, ce qui influence de manière différente la colonisation végétale.

Les indicateurs IBMR et EQR sont assez proches entre les deux stations du suivi, et permettent de conclure à **l'absence d'influence du fonctionnement du CNPE de Belleville-sur-Loire sur la flore aquatique.**

► L'expertise des peuplements de **macro-invertébrés benthiques** met en œuvre le protocole MGCE (Macro-invertébrés Grands Cours d'Eau), qui s'appuie sur les normes XP T90-337 (phase d'échantillonnage) et NF T90-388 (analyses au laboratoire). Les prélèvements ont été réalisés de part et d'autre du CNPE lors de quatre campagnes bimestrielles (avril, juin, août et octobre). Cette communauté benthique pointe une bonne à très bonne qualité biologique dans ce secteur d'étude. Les peuplements des deux stations du suivi sont diversifiés et pointent une très bonne qualité de l'eau. Aucune différence interstationnelle réellement significative n'est perçue, **ce qui permet de conclure à l'absence d'influence du fonctionnement de ce CNPE sur la faune invertébrée de la Loire.**

Comme pour les suivis annuels précédents, ces suivis de la flore et de la faune aquatique de la Loire ne mettent pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE de Belleville-sur-Loire, sur l'hydrosystème du fleuve.

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Belleville-sur-Loire.

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles

En 2023, le CNPE de Belleville-sur-Loire n'a pas recouru à cette surveillance.

V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE de Belleville réalise des informations, par le biais du numéro vert du CNPE mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km, lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

Le fil X (ex-Twitter) [@EDFBelleville](#) permet de retrouver toute l'actualité du CNPE.

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

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl,...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par le laboratoire SUBATECH, présenté en annexe 3.

L'IRSN produit également un bilan radiologique de l'environnement français disponible au lien suivant :

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace³ est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...);
- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux

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

souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du CNPE est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;

➤ on considère que l'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration), et donc qu'aucune rétention de radionucléides n'a été effectuée lors de procédés de traitement ;

➤ la pêche de poissons dans les fleuves à l'aval des CNPE est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

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

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

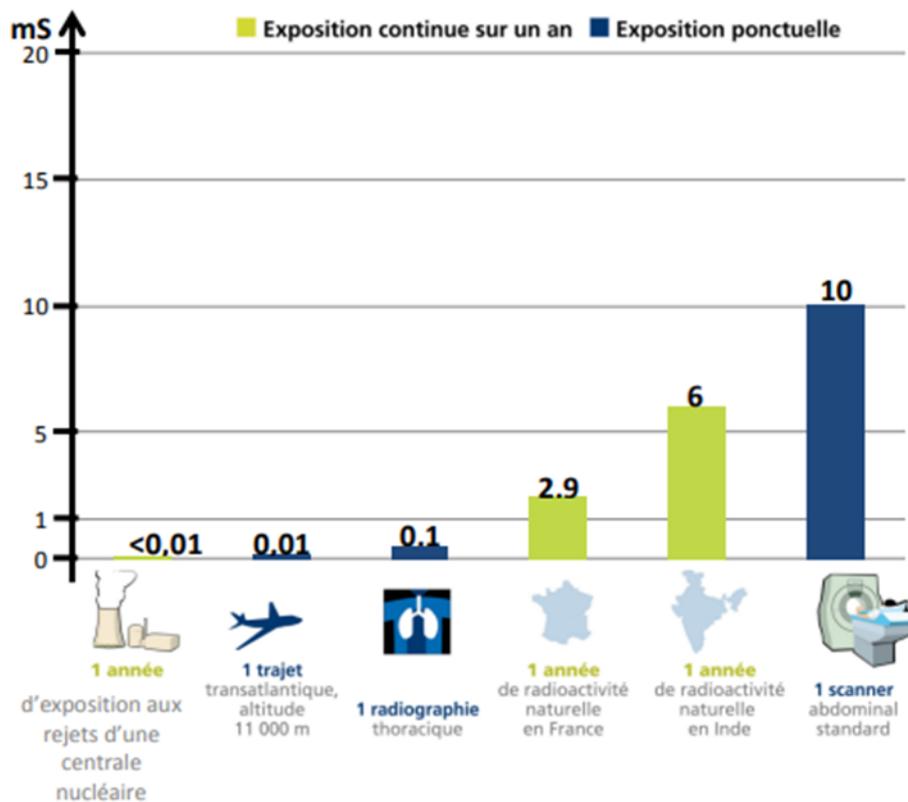


Figure 6 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

L'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants (d'origine naturelle et artificielle) est de 4,5 mSv/an. Les contributions des différentes sources d'exposition sont présentées sur la figure 7 ci-après.

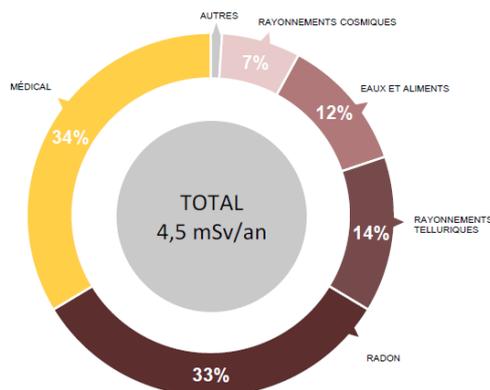


Figure 7 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2023 effectués par le CNPE de Belleville-sur-Loire, pour la personne représentative. Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du CNPE.

ADULTE	EXPOSITION EXTERNE (mSv)	EXPOSITION INTERNE (mSv)	TOTAL (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,3E-07	7,3E-06	7,8E-06
Rejets d'effluents liquides	5,7E-06	2,6E-04	2,6E-04
Total	6,2E-06	2,6E-04	2,7E-04

ENFANT DE 10 ANS	EXPOSITION EXTERNE (mSv)	EXPOSITION INTERNE (mSv)	TOTAL (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,2E-07	6,7E-06	7,2E-06
Rejets d'effluents liquides	s.o.	2,8E-04	2,8E-04
Total	5,2E-07	2,9E-04	2,9E-04

ENFANT DE 1 AN	EXPOSITION EXTERNE (mSv)	EXPOSITION INTERNE (mSv)	TOTAL (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	5,1E-07	1,1E-05	1,2E-05
Rejets liquides	s.o.	3,6E-04	3,6E-04
Total	5,1E-07	3,7E-04	3,8E-04

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

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2023 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne les déchets de haute et moyenne activité « à vie longue », la solution industrielle de gestion à long terme retenue par la loi du 28 juin 2006 est celle du stockage géologique (projet Cigéo, en cours de conception).

ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés) a été mis en service fin 2020

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

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

2. Le transport des déchets

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

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

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

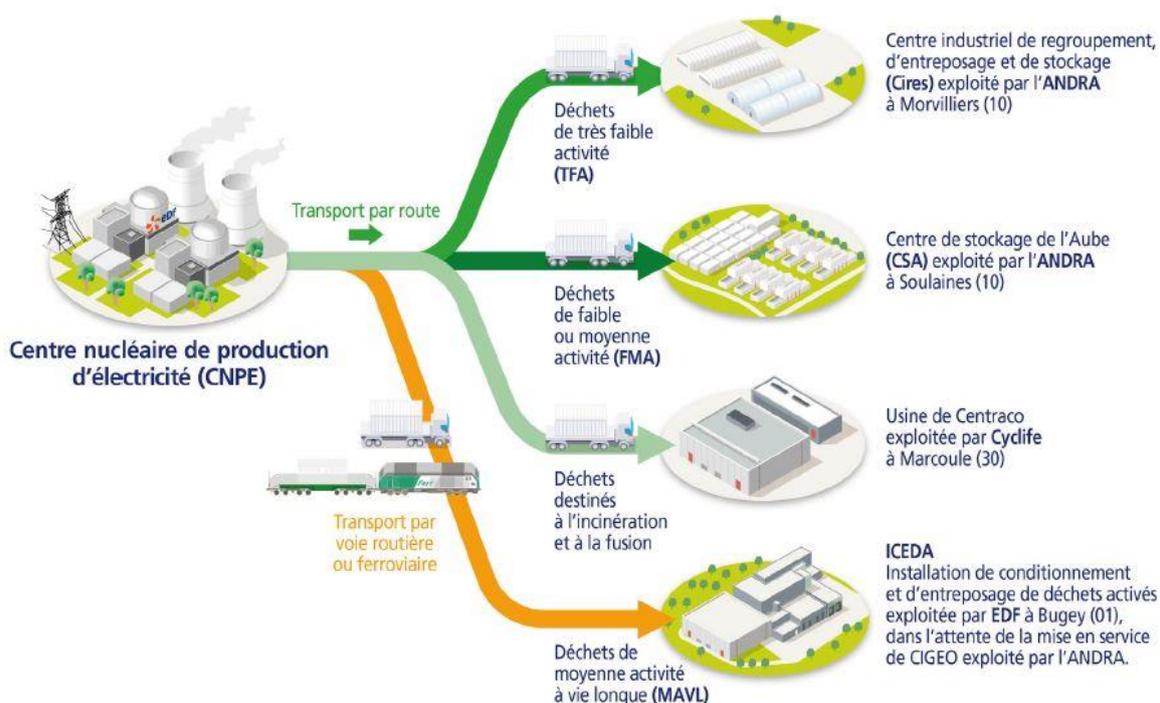


Figure 8 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

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

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023	Commentaires
TFA	390 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	0 tonne	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	1348 tonnes	Localisation : Bâtiment des auxiliaires nucléaire et Bâtiment de traitement des effluents (BTE)
FAVL	0	/
MAVL	173 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques, galette inox, bloc béton et chemise graphite)

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

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2023	Type d'emballage
TFA	173 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (Liquides)	48 colis	Coques béton
FMAVC (Solides)	738 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
MAVL	23 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

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

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	139
CSA à Soulaines	838
Centraco à Marcoule	3033

En 2023, 4010 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

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

Quantités 2023 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux (non inertes)		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	12413	10648	47494	38151	94495	91502	154402	140301
Sites en déconstruction	109	39	2010	1978	938	938	3057	2954

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

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

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

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

En 2023, les 2 unités de production du CNPE de Belleville-sur-Loire ont produit 4546 tonnes de déchets conventionnels : 97,05% de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

STEP - Station d'Épuration

TAC – Turbine à Combustion

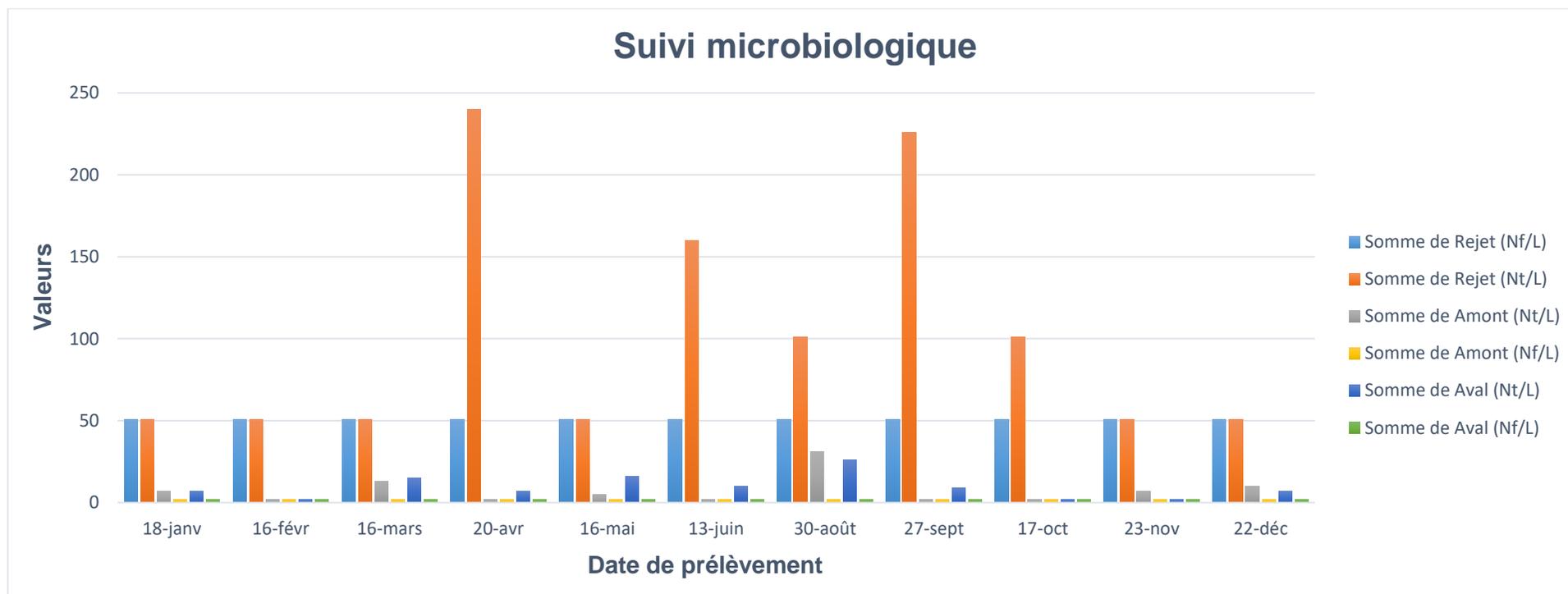
TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique – Amibes du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2023



ANNEXE 2 : Suivi microbiologique – Légionnelles du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2023

Janvier 2023

	Tranche 1			Tranche 2			
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	
1		Bi-Hebdomadaire			Hebdomadaire		
2							
3	4 200			<100			
4							
5							
6	20 000						
7							
8							
9							
10	11 000			< 100			
11							
12							
13	55 000						
14							
15							
16							
17	3 200			<100			
18							
19							
20	400						
21							
22							
23							
24	27 000			200			
25							
26							
27	68 000						
28							
29							
30							
31	59 000			100			

Février 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1		Bi-Hebdomadaire			Hebdomadaire	
2						
3	<100 (1)					
4						
5						
6						
7	5 000			<100		
8						
9	2 200					
10						
11						
12						
13						
14	1600			< 100		
15						
16						
17	3 000					
18						
19						
20	2 600			240		
21						
22						
23	3 100					
24		Hebdomadaire				
25						
26						
27	3 400			300		
28						

Mars 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1		Hebdomadaire			Hebdomadaire	
2						
3						
4						
5						
6						
7	5 900			200		
8						
9						
10						
11						
12						
13	<100			<100		
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20	4 200			<100		
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27	5 100			100		
28						
29						
30						
31						

Avril 2023

	Tranche 1			Tranche 2			
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	
1		Hebdomadaire			Hebdomadaire		
2							
3	6 700					300	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11	2 500					300	
12							
13							
14							
15							
16							
17	4 200					200	
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25	50 000					<100	
26							
27							
28							
29							
30							

Mai 2023

		Tranche 1		Tranche 2			
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	
1		Hebdomadaire					
2							
3	10 000					100	
4		Bi-hebdomadaire			Hebdomadaire		
5	13 000						
6							
7							
8							
9	<100					1 600	
10							
11	2 200						
12							
13							
14							
15	<100			< 100			
16							
17	<100						
18							
19							
20							
21							
22	<100			<100			
23							
24		Hebdomadaire			2F0123	/	
25							
26							
27							
28							/
29							
30	<100						
31							

Juin 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1		Hebdomadaire		/	2F0123	/
2						
3						
4						
5	<100					
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12	10 000					
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19	13 000					
20						
21		Bi-Hebdomadaire				
22	1 500					
23						
24						
25						
26	14 000					
27						
28						
29	6 200					
30						

Prélèvement annuel Amont le 12/06/2023 : Lp < 100 UFC/l (NF T90-431) ; [MeS] = 5,4 mg/l (NF EN 872)

Juillet 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1		Bi-Hebdomadaire				
2						
3	6 100					
4						
5						
6	4 800					
7						
8	/	1P2523	/	/	2F0123	/
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

Août 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11				/	/	2F0123
12						
13						
14						
15						
16	/	/	1P2523			
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25				<100		
26						
27					Hebdomadaire	
28				<100		
29						
30						
31						

Septembre 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1						
2						
3						
4				100		
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11				<100		
12						
13						
14						
15	/	/	1P2523		Hebdomadaire	
16						
17						
18				6 000		
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25				50 000		
26						
27						
28						
29						
30						

Octobre 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1						
2				100 000	Hebdomadaire	
3						
4						
5						
6				160 000		
7						
8					Bi-Hebdomadaire	
9				86 000		
10						
11						
12				16 000 (1)		
13				160 000		
14				270 000		
15				77 000		
16	/	/	1P2523	11 000		
17				26 000(1)		
18				20 000 (1)		
19				13 000	Quotidien	
20				15 000 (1)		
21				11 000		
22				13 000		
23				14 000		
24				13 000		
25				24 000 (1)		
26				15 000		
27						
28						
29					Bi-Hebdomadaire	
30				18 000 (1)		
31						

Novembre 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1						
2				24 000 (1)		
3						
4						
5						
6				8 500		
7						
8						
9				9 200		
10						
11						
12						
13				15 000		
14						
15	/	/	1P2523		Bi-Hebdomadaire	
16				12 000		
17						
18						
19						
20				20 000		
21						
22						
23				22 000 (1)		
24						
25						
26						
27				15 000		
28						
29						
30				3 200		

Décembre 2023

	Tranche 1			Tranche 2		
	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques	Lp (UFC/L)	Fréquence	Remarques
1						
2						
3						
4	/	/	1P2523	1 900		
5						
6						
7						
8						
9				15 000		
10						
11	<100			<100		
12						
13						
14				2600		
15					Bi-Hebdomadaire	
16						
17						
18	<100			<100		
19		Hebdomadaire				
20						
21				<100		
22						
23						
24						
25						
26	<100			2600		
27						
28						
29						
30					Hebdomadaire	
31						

ANNEXE 3 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Belleville-sur-Loire : Année 2022

Suivi radioécologique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire – Année 2022
Rapport SUB/RE/RC/22-L



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

- Année 2022 -

Bassin de la Loire

Rapport SUB/RE/RC/22-L

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	9
2. Méthodologie du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français	10
3. Origine de la radioactivité dans l'environnement des C.N.P.E.	11
4. Contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E.	17
5 C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire	25
6. C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly	79
7. C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux	135
8. C.N.P.E. de Chinon-Avoine	191
9. C.N.P.E. de Civaux	245
10. Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Loire	299
11. Annexe	313
12. Glossaire	329

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].	15
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].	15
Figure 4-1. Hydrologie de la Loire à la station de Saint-Satur (a) et à la station de Saumur (b) pour l'année 2022 (Qjm : débit moyen journalier en m ³ .s ⁻¹ ; QMM : débit moyen mensuel en m ³ .s ⁻¹)	19
Figure 4-2. Hydrologie de la Vienne à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2022 (Qjm : débit moyen journalier en m ³ .s ⁻¹ ; QMM : débit moyen mensuel en m ³ .s ⁻¹)	20

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 56 réacteurs à eau sous pression (R.E.P.) répartis sur 18 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 2022 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 2022 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 2022, 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 2022 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 313). 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, ^{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 de ^{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;26].

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 ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, $^{133\text{Xe}}$ 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 fut 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 fut 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 [3,27;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) [26-27]. 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 15) [27]. Les différentes données bibliographiques indiquent que l'activité en tritium est actuellement comprise entre 0,5 et 2 Bq.L⁻¹ dans l'eau de pluie et les eaux fluviales, et entre 0,1 et 0,2 Bq.L⁻¹ dans les eaux de mer [27,30]. En 2022, le bruit de fond du TOL dans les feuilles d'arbre, les herbages et différents types de denrées d'origine végétale et animale varie entre 0,34 et 1,7 Bq.L⁻¹ d'eau de combustion [27]. 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].

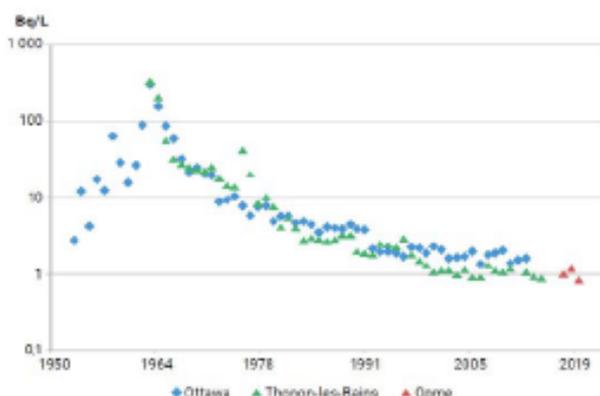


Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955 [27].

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 15) 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 2022, la teneur moyenne ambiante hors influence industrielle mesurée dans le milieu terrestre sur des matières végétales s'élève à $222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone [27,34]. Dans le milieu aquatique, les teneurs sont beaucoup plus variables. Dans les bicarbonates de l'eau, elles varient actuellement entre 150 et 250 Bq.kg^{-1} de carbone et elles sont proches de 200-220 Bq.kg^{-1} de carbone dans les végétaux aquatiques et les poissons. Par ailleurs, l'IRSN estime que la gamme de référence du ^{14}C en milieu marin est décalée de 4 ans par rapport au milieu terrestre avec une incertitude un peu plus élevée ($\pm 10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C au lieu de $\pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) [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].

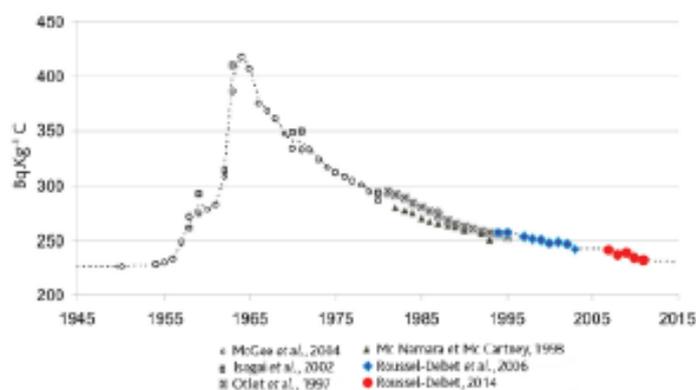


Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, Bq.kg^{-1} de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].

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 de ^{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 Comiacien-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'aurole Crétacé du bassin. L'environnement proche du site est constitué d'alluvions de la Loire sablo-graveleuses de différentes époques, qui érodent et recoupent les terrains crétacés affleurants à proximité du fleuve. Au niveau du site, le sol est recouvert de terre végétale sablonneuse. Sous ce dépôt, des alluvions quaternaires anciennes composées de sables moyens à grossiers reposent sur une formation argileuse. Les formations sous-jacentes sont composées de différents faciès calcaires qui se succèdent sur 25 à 45 mètres puis de marnes grises. Les principaux aquifères exploités pour l'alimentation en eau potable sont la nappe alluviale, les sables et graviers du 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-toarcienne du Jurassique, la nappe infra-toarcienne et les ressources du socle cristallin qui constituent la principale source d'approvisionnement en eau souterraine de la région. La principale caractéristique de l'agriculture à proximité du C.N.P.E. est la prédominance des grandes cultures (céréales et oléagineux). Les exploitations maraîchères et laitières sont en voie de disparition dans l'environnement proche du C.N.P.E.

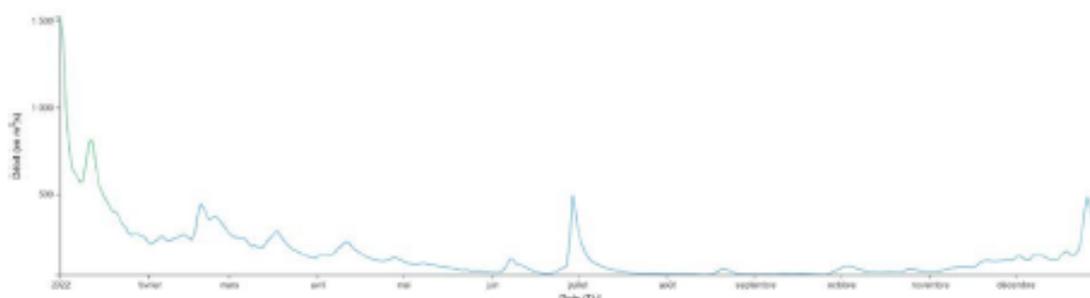
4.3. Hydrographie et hydrologie de la Loire et de la Vienne

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

Les Figure 4-1 (a) et Figure 4-1 (b) (page 19) 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 2022 [37].

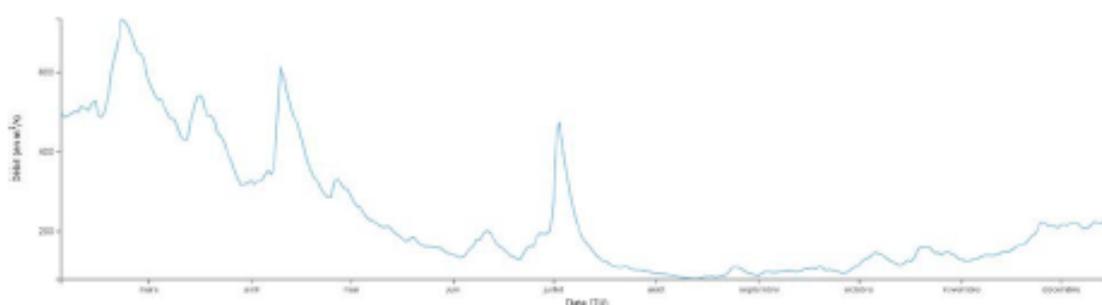
En 2022, ces hydrogrammes montrent que la Loire a connu plusieurs épisodes de crues entre janvier et juillet. Sur la période 2012-2022, la crue décennale a atteint un débit de 1950 m³.s⁻¹ à Saint-Satur (06/05/2013) et de 3870 m³.s⁻¹ à Saumur (04/06/2016).

Débit moyen sur n jours (n=1, non glissant) - Données les plus valides de l'esté - 8401 0010 01 - La Loire à Saint-Satur - Ecluse de Saint-Thibault - du 01/01/2022 00:00 au 31/12/2022 23:59 (TU)



(a)

Débit moyen sur n jours (n=1, non glissant) - Données les plus valides de l'esté - L800 0010 20 - La Loire à Saumur - du 01/01/2022 00:00 au 31/12/2022 23:59 (TU)



(b)

Figure 4-1. Hydrologie de la Loire à la station de Saint-Satur (a) et à la station de Saumur (b) pour l'année 2022 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3 \cdot s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3 \cdot s^{-1}$)

La Vienne, sur laquelle est implanté le C.N.P.E. de Civaux, est une rivière longue de 372 km, qui draine un bassin de 21105 km². Elle prend sa source en Corrèze (19), au pied du Mont Audouze, sur le Plateau de Millevaches à 920 m d'altitude. Elle se jette dans la Loire à Candes-Saint-Martin, en rive gauche, dans le département de l'Indre-et-Loire (37). La Vienne est l'un des principaux affluents de la Loire, avec l'Allier et le Cher. Sur le bassin, on observe de nombreux barrages hydroélectriques principalement sur la partie amont en Limousin (complexe de Vassivière sur la Maulde et 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 [28].

La Figure 4-2 (page 20) 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 2022 [37].

Débit moyen sur n jours (n=1, non glissant) - Données les plus validées de l'entité - L143 0610 01 - La Vienne à Lussac-les-Châteaux - Pont de Mazerolles - du 01/01/2022
00:00 au 31/12/2022 21:09 (11)

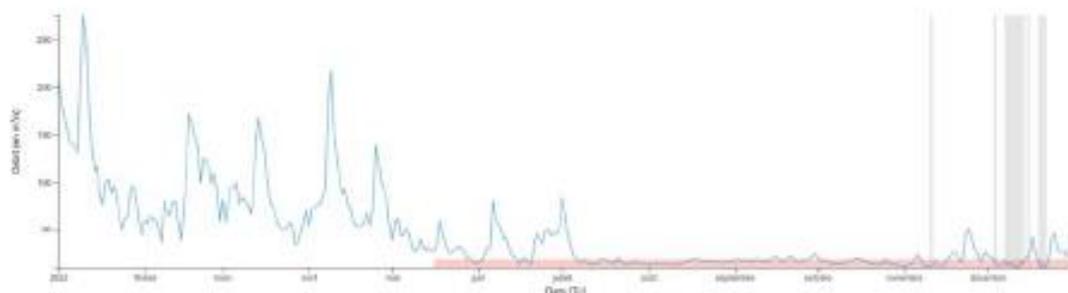


Figure 4-2. Hydrologie de la Vienne à la station de Lussac-les-Châteaux pour l'année 2022 (Qjm : débit moyen journalier en $m^3.s^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $m^3.s^{-1}$)

En 2022, l'hydrogramme montre que la Vienne a connu plusieurs épisodes de crues, en particulier entre janvier et mai. Sur la période 2012-2022, la crue décennale a atteint un débit de $782 m^3.s^{-1}$ (02/02/2021).

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., Goutier 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] Exposition de la population française aux rayonnements ionisants – Bilan 2014-2019 – IRSN/2021 – 00108, 88p, juin 2021
- [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] <https://www.iaea.org/fr>
- [8] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DOM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEL/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., Castelner 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] ASN. Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2022. Mai 2023
- [26] EDF. Centrales nucléaires et environnement – Prélèvements d'eau et rejets. Edition 2020, 282p.
- [27] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2021, 408 p., 2021.
- [28] R.I.V.E. de la Vienne. Diagnostic territorial du bassin versant Vienne aval. Janvier 2011.
- [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-radionucléides/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. Les essentiels 2021, 28p.
- [36] Etablissement Public Loire. Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France. Décembre 2003. Site internet : <http://www.epfb-loire.fr>.
- [37] Banque Hydro. <http://www.hydro.eaufrance.fr>.

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

- Année 2022 -

Bassin de la Loire

Belleville-sur-Loire

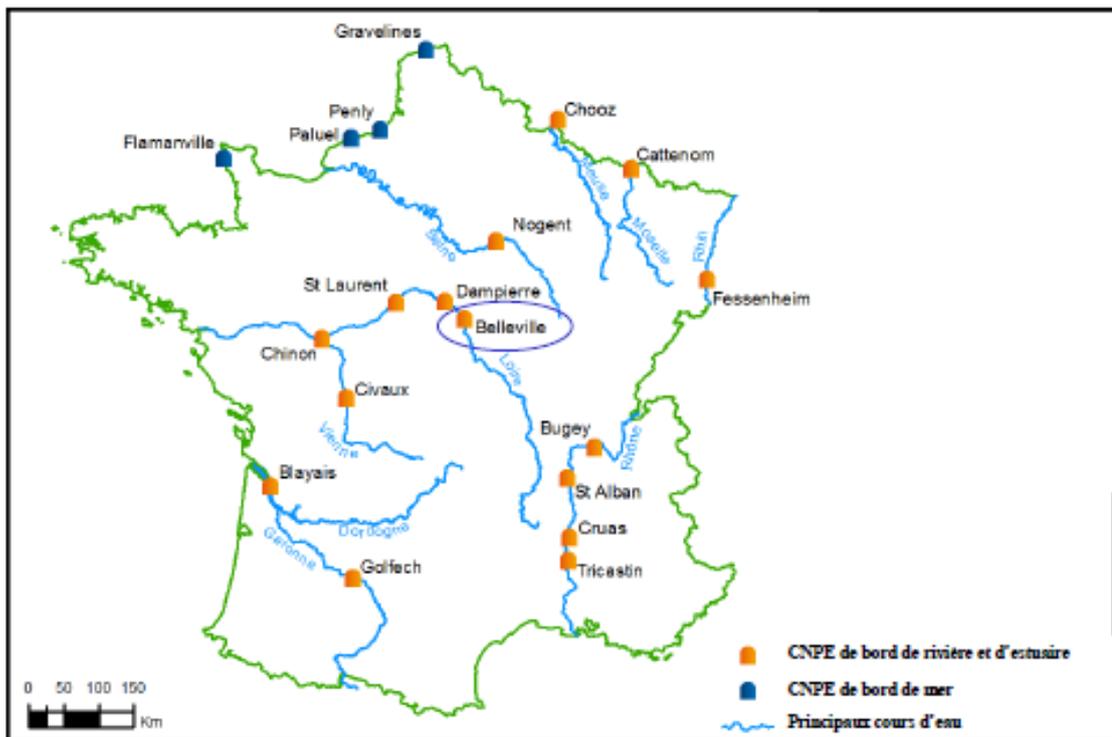
Dampierre-en-Burly

Saint-Laurent-des-Eaux

Chinon-Avoine

Civaux

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



Source : EDF/DIPDE

Résumé	33
5. Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire	35
5.1. <i>Généralités et chronologie des études radioécologiques</i>	35
5.2. <i>Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	37
5.2.1. Stratégie d'échantillonnage	37
5.2.2. Résultats et interprétation	40
5.2.2.1. <i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	40
5.2.2.2. <i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	42
5.3. <i>Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	45
5.3.1. Stratégie d'échantillonnage	45
5.3.2. Résultats et interprétation	48
5.3.2.1. <i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	48
5.3.2.2. <i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	52
5.4. <i>Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire</i>	55

LISTE DES FIGURES

Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.	36
Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2022 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.	39
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 2022.	41
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 2013 à 2022. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($0,5$ à $2,0$ Bq.L ⁻¹)[3,5].	42
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 2013 à 2022. Les lignes en pointillés représentent la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($0,63$ à $3,0$ Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion en 2013 et $0,34$ à $1,7$ Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion en 2022) [3,5]. Les valeurs seuilées en 2021 dans les productions agricoles correspondent aux mesures dans les maïs.	43
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 2013 à 2022. Les courbes en pointillés représente l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle (232 ± 7 Bq.kg ⁻¹ de C en 2013 et 222 ± 7 Bq.kg ⁻¹ de carbone en 2022). Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et l'IPNL.	44
Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2022 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.	47
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 2022.	49
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 2022.	50
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 2022.	51
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 2013 à 2022.	52
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 2013 à 2022.	53
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 2013 à 2022. Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et l'IPNL.	54

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 2022.....	38
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 2022.....	46
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 2013 à 2022 (Bq.kg ⁻¹ sec).....	56
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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	57
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 (et le lierre depuis 2022) dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	58
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 2022 (¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	59
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 2013 à 2022 (Bq.kg ⁻¹ sec).....	60
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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.L ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	61
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).....	62
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 2022.....	63
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 2022.....	64
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 2022.....	65
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 2022.....	65
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 2022.....	65
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 2022.....	66
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 2022.....	66

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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.L^{-1} ; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C).....	67
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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} sec ; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone).....	68
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 2013 à 2022.....	69
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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).....	70
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 2022.....	71
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 2022.....	72
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 2022.....	73
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 2022.....	73
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 2022.....	74
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 2022.....	74
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 2022.....	75
Tableau 5-28. Activités du ^{59}Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2022.....	75
Tableau 5-29. Activités β globale dans l'eau de boisson prélevée dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2022.....	75
Tableau 5-30. 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 2022.....	76

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 2022 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui constaté avant la mise en fonctionnement de l'installation de Belleville-sur-Loire.

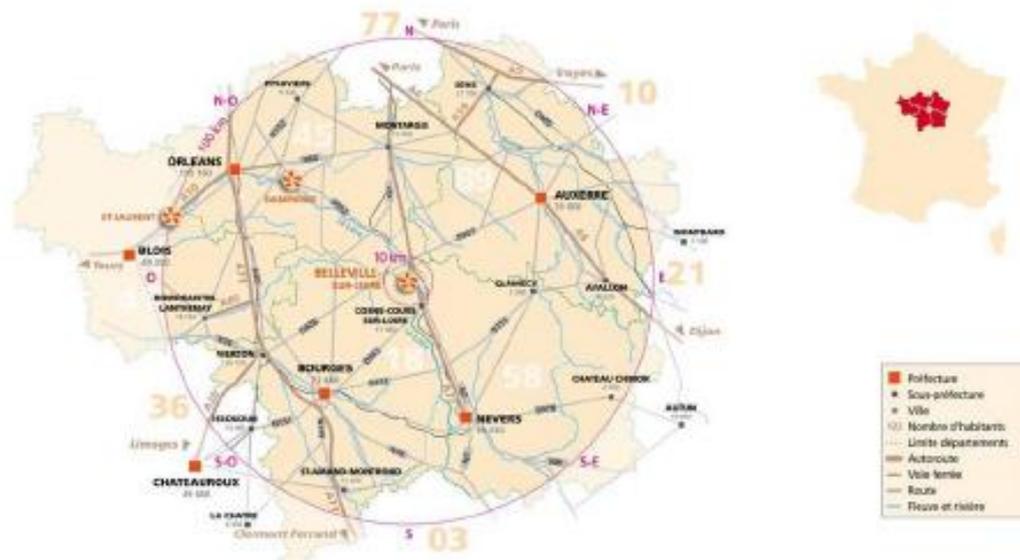
Dans le **milieu terrestre**, la radioactivité gamma d'origine artificielle est liée en 2022 uniquement à la présence du ^{137}Cs . Il provient principalement de la rémanence des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en ^3H libre et en ^3H organiquement lié sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle locale. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants montrent des activités dans les salades, le lierre et le lait cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques du site n'est mise en évidence pour ce radionucléide.

En 2022, 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. Les activités détectées à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. sont similaires aux incertitudes de mesure près dans les sédiments et supérieures à l'amont dans les végétaux aquatiques. Le ^{137}Cs provient donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Du ^{60}Co et du ^{54}Mn sont également détectés dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés à l'aval lointain du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, ainsi que du ^{54}Mn uniquement dans les sédiments prélevés à l'aval lointain du site, mettant en évidence l'influence des rejets liquides du site sur le milieu aquatique environnant. Dans les prélèvements effectués à l'aval lointain du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, les analyses de ^3H libre dans les poissons, de ^3H organiquement lié dans les phanérogames et de ^{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 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 36) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire depuis 1983.

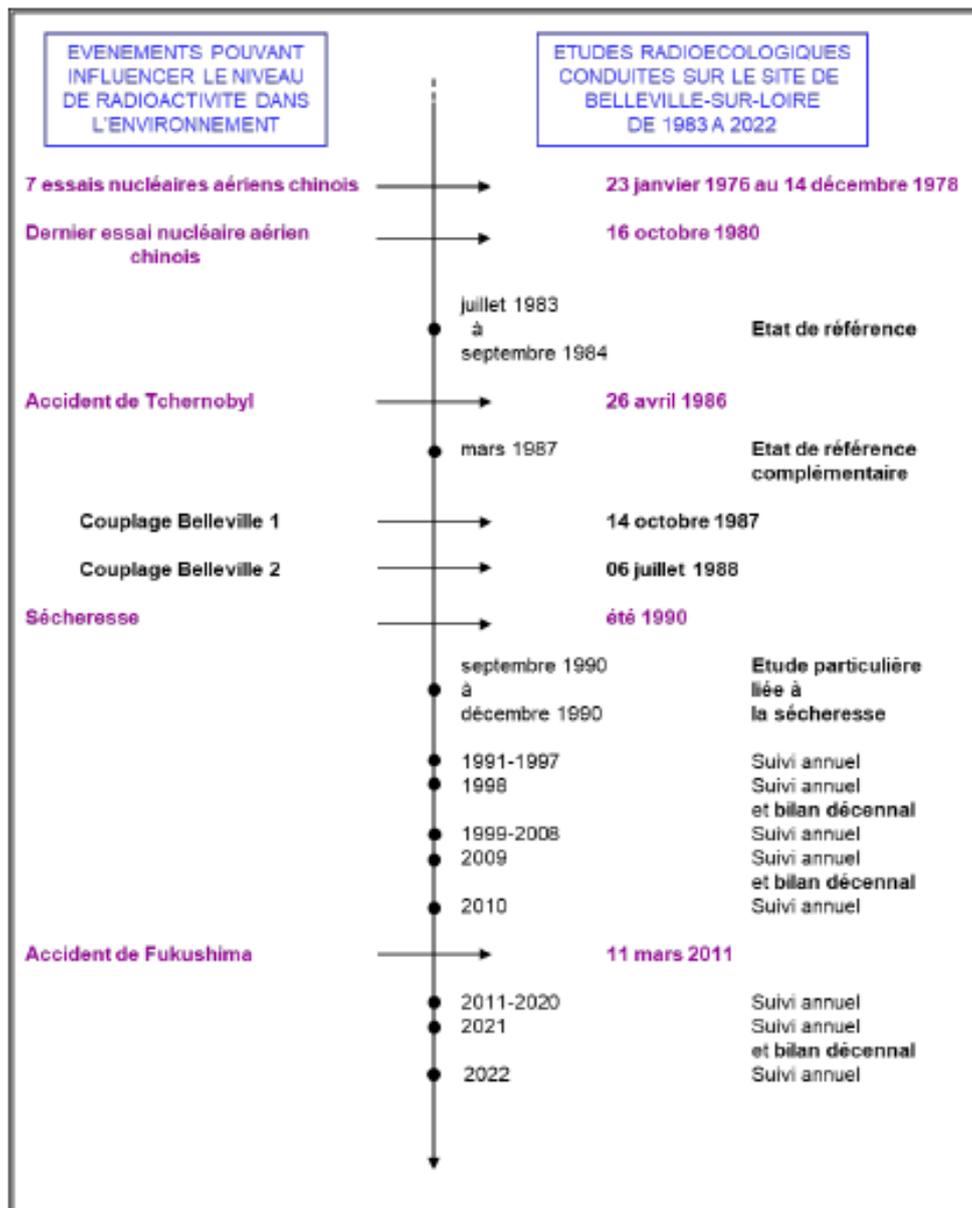


Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

5.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 5-1 (page 38) 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 39) présente les stations de prélèvements et la nature des échantillons prélevés en 2022.

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 39), 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, feuilles de lierre), des vecteurs directs ou indirects de transfert de radionucléides à la chaîne alimentaire (salade et lait) et des milieux d'accumulation (sols non cultivés). 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 2022, quatre prélèvements de feuilles de lierre ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AS1 du site dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

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

Tableau 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 2022.

Sous les verts

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 Chailoux	5,7 km NE	47,53722	2,90444	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	02/05/22	Spectrométrie y en frais (bde 131)	1,08	-
Beaulieu-sur-Loire	5,5 km NO	47,54750	2,82750	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuilles	14/06/22	Spectrométrie y	31,23	4,06
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	14,38	
Neuzy-sur-Loire	2,2 km NE	47,51972	2,90028	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	02/05/22	Spectrométrie y Granulométrie, TMO	1,17	-
Neuzy-sur-Loire	2,2 km NE	47,51972	2,90028	Végétaux herbacés	Lierre <i>Hedera helix L.</i>	Feuilles	25/07/22	Spectrométrie y	2,88	9,55
								Tritium libre Tritium organiquement lié	2,91	
Santanges	9,9 km O	47,50194	2,74381	Lait	Lait de vache	Entier	03/05/22	Spectrométrie y Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,82	18,00
Neuzy-sur-Loire	2,8 km NE	47,52472	2,90187	Lait	Lait de vache	Entier	02/05/22	Spectrométrie y Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,80	18,25
Neuzy-sur-Loire	2,8 km NE	47,51380	2,86000	Végétaux herbacés	Lierre <i>Hedera helix L.</i>	Feuilles	05/04/22	Carbone 14	2,10	-
Neuzy-sur-Loire	2,8 km NE	47,51380	2,86000	Végétaux herbacés	Lierre <i>Hedera helix L.</i>	Feuilles	04/07/22	Carbone 14	2,87	-
Neuzy-sur-Loire	2,8 km NE	47,51380	2,86000	Végétaux herbacés	Lierre <i>Hedera helix L.</i>	Feuilles	04/10/22	Carbone 14	2,79	-
Neuzy-sur-Loire	2,8 km NE	47,51380	2,86000	Végétaux herbacés	Lierre <i>Hedera helix L.</i>	Feuilles	10/01/23	Carbone 14	2,87	-

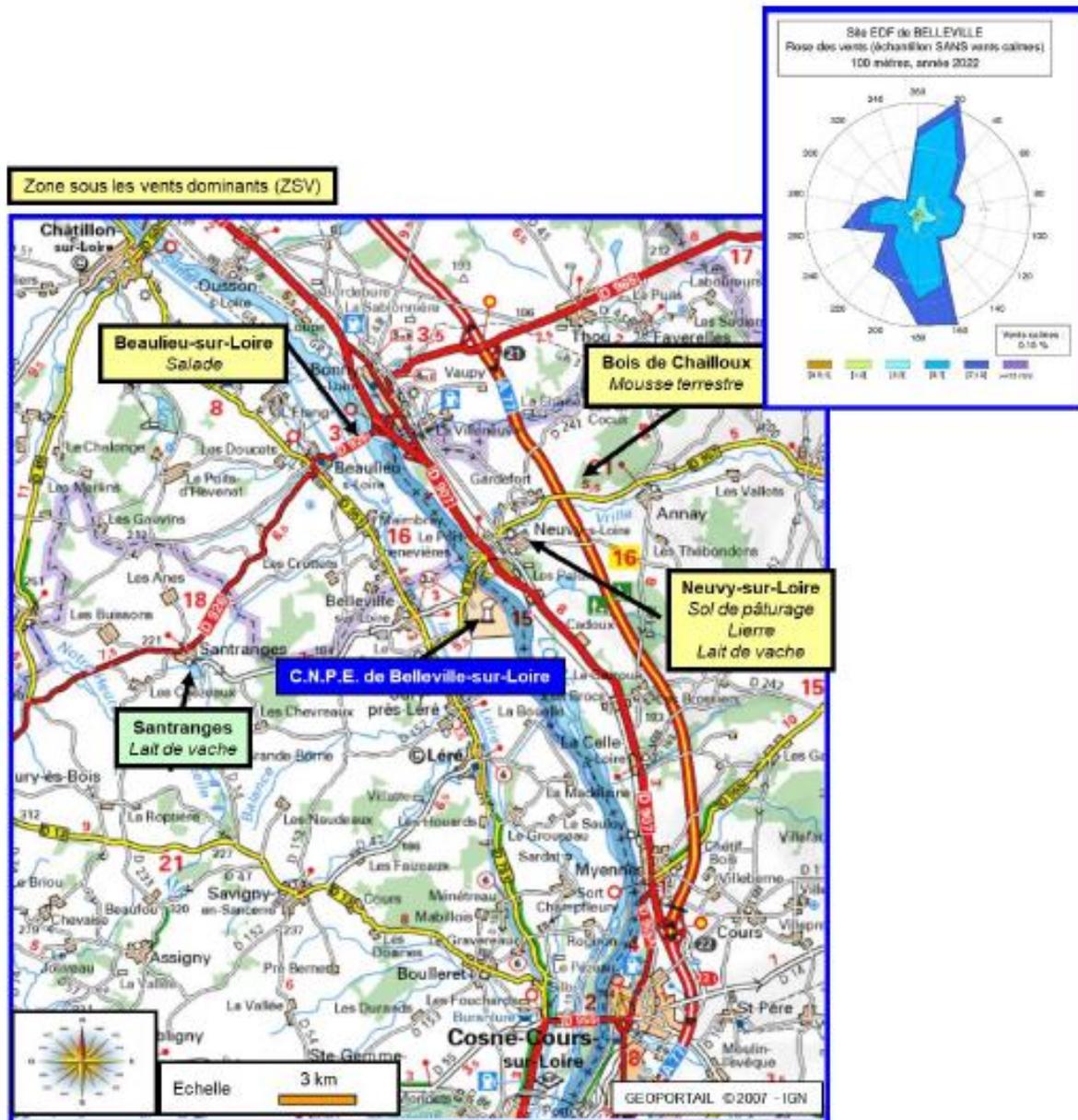


Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2022 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2022, 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 lors de l'état de référence de 1983-1984 et la réactualisation post-Tchernobyl de cet état initial en 1987, ainsi que depuis 1991. 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 63). Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

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

Le ^7Be est détecté dans tous les échantillons de végétaux (mousses terrestres, salades et lierre) et dans le sol de pâturage (horizon superficiel 0-5cm). 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

En 2022, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de ^{137}Cs dans tous les échantillons analysés dans le milieu terrestre à l'exception du lait et des salades prélevés dans la zone influencée (Tableau 5-11, page 64). Les niveaux d'activité sont cohérents avec les observations des années antérieures et la présence de traces de ^{137}Cs en 2022 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, y compris dans le cadre de la recherche spécifique de ^{131}I dans les mousses terrestres. En 2022, 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 la plupart des compartiments échantillonnés due aux retombées des essais nucléaires, à l'exception de certains végétaux cultivés (carottes, tomates) et de certains échantillons d'herbe et de foin (Figure 5-3, page 41). 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 , de ^{103}Ru , $^{106}\text{Ru-Rh}$, ^{125}Sb , ^{110m}Ag et ^{144}Ce 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 et à des niveaux d'activité comparables quelle que soit la zone de prélèvement (hors et sous les vents dominants). En 2011, la détection de ^{134}Cs et d' ^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [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 1987 avaient mis en évidence la présence de ^{125}Sb , de ^{103}Ru , de $^{106}\text{Ru-Rh}$, de $^{144}\text{Ce-Pr}$ et d' ^{110m}Ag liée aux retombées de l'accident de Tchernobyl. L' ^{241}Am détecté sporadiquement en 1993 et 1996 dans des mousses terrestres provenait des essais aériens nucléaires. A l'occasion du bilan décennal de 1998, de ^{110m}Ag a été détecté dans des champignons. Depuis 1998, aucun de ces radionucléides artificiels n'a été détecté.

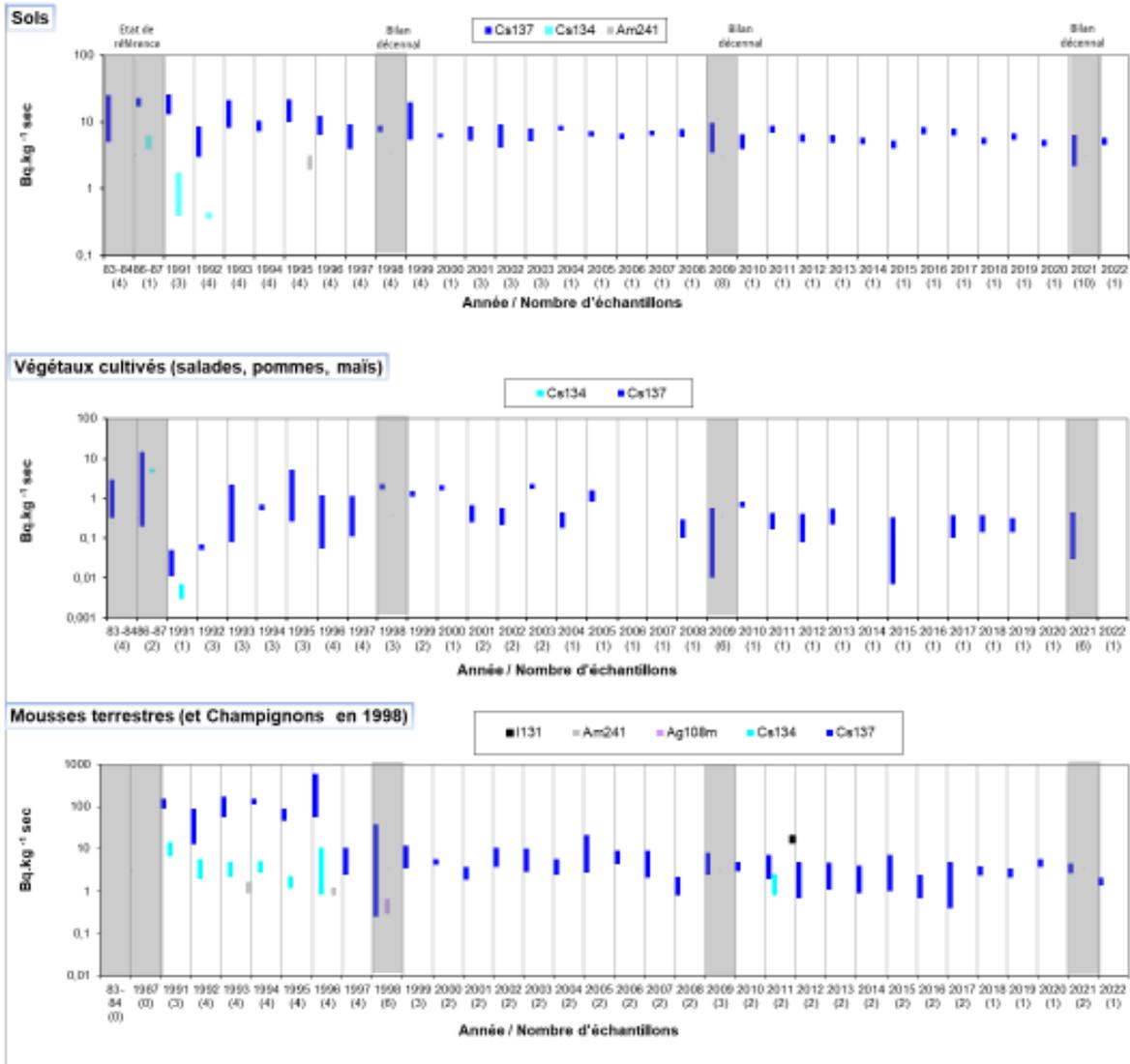


Figure 5-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2022.
 (*) 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 2022, les activités en ^3H libre (HTO) mesurées sont proches de 1-2 Bq.L^{-1} dans les salades, le lierre et le lait prélevés sous les vents et inférieures aux seuils de décision dans le lait prélevé hors vent ($<0,60 \text{ Bq.L}^{-1}$) (Tableau 5-13, page 65). Les valeurs de ^3H organiquement lié sont inférieures au seuil de décision dans le lierre (ZSV - $\text{SD}<0,73 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion) et les laits (ZSV et ZHV - $\text{SD}<0,66 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion), et s'élève à $1,61\pm 0,75 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion dans les salades prélevées sous les vents (Tableau 5-14, page 65). Les résultats obtenus sont cohérents avec les mesures de ^3H libre et organiquement lié réalisées lors des études antérieures et sont conformes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($0,5$ à 2 Bq.L^{-1}) [3,5]. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire n'est mise en évidence sur le milieu terrestre pour ces radionucléides, à l'exception des mesure en tritium (libre et organiquement lié) en 2020 dans l'herbe (ZSV) et des activités en TOL mesurées dans les pommes (ZSV et ZHV) en 2021 (Figure 5-4, page 42 et Figure 5-5, page 43). Aucune conclusion sur l'origine de la détection du tritium organiquement lié n'a pu être effectuée pour les pommes, les mesures étant équivalentes hors et sous les vents dominants de l'installation.

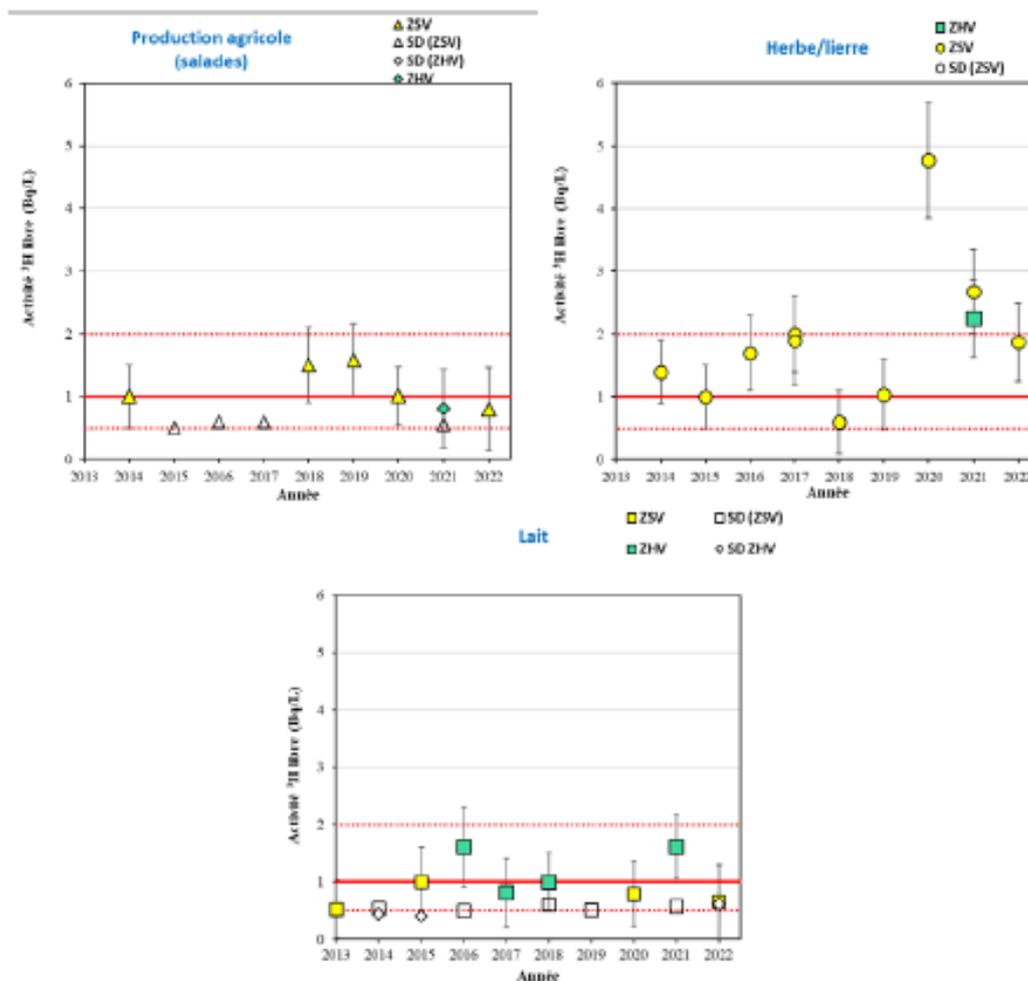


Figure 5-4. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022. Les lignes rouges représentent la valeur et la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($0,5$ à $2,0 \text{ Bq.L}^{-1}$)[3,5].

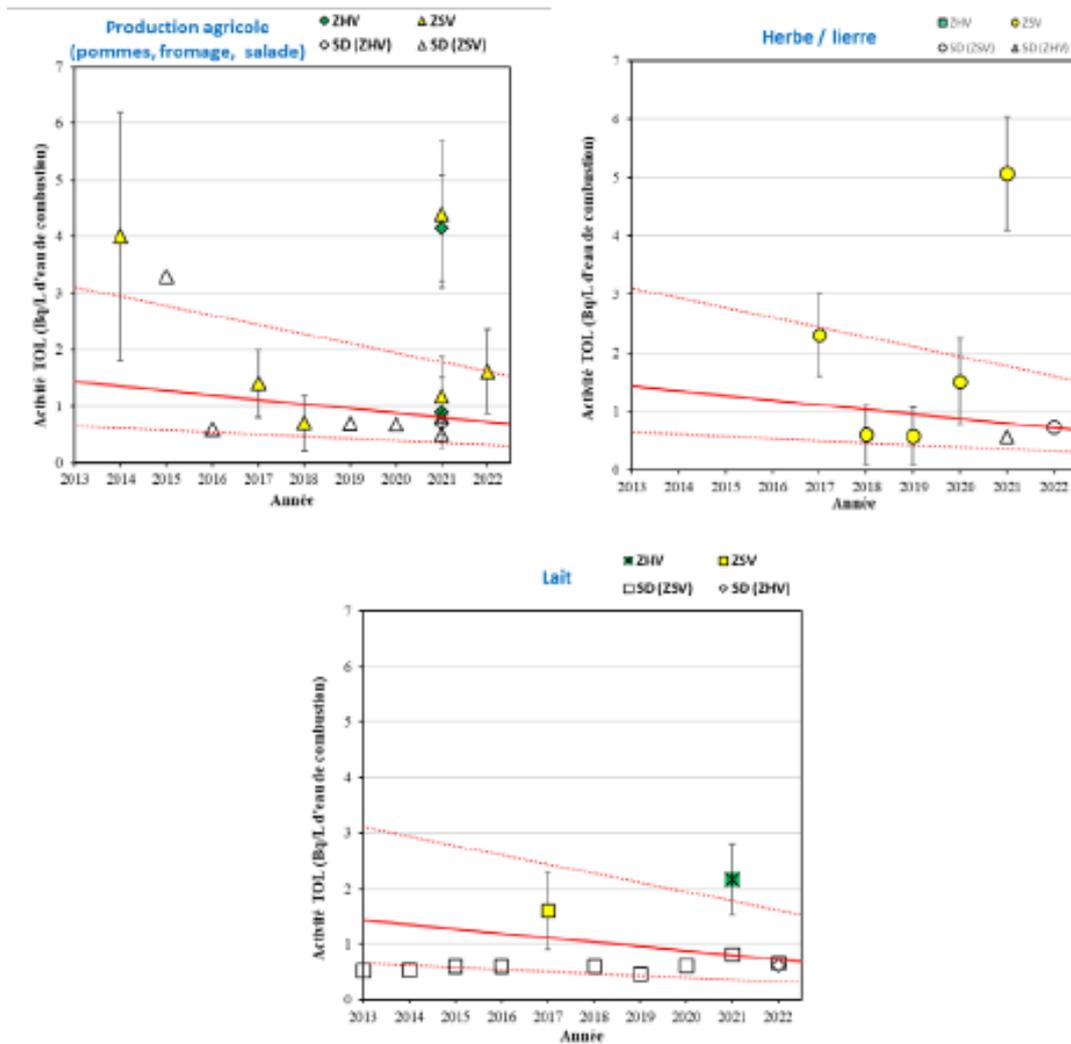


Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022. Les lignes en pointillés représentent la gamme de référence du bruit de fond ambiant hors influence industrielle (0,63 à 3,0 Bq.L⁻¹ d'eau de combustion en 2013 et 0,34 à 1,7 Bq.L⁻¹ d'eau de combustion en 2022) [3,5]. Les valeurs seuillées en 2021 dans les productions agricoles correspondent aux mesures dans les maïs.

5.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats d'analyse du ^{14}C dans les salades (ZSV), les échantillons de lait (ZHV et ZSV) et les lierres trimestriels (ZSV) montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesures près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2022) [3] (Tableau 5-15, page 66).

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 des activités dans la gamme haute du bruit de fond hors influence industrielle et dans un lait trimestriel en 2017 (Figure 5-6, page 44). Ces marquages ponctuels sont également observés sur certains prélèvements trimestriels de lierre réalisés depuis 2015 à proximité du C.N.P.E.

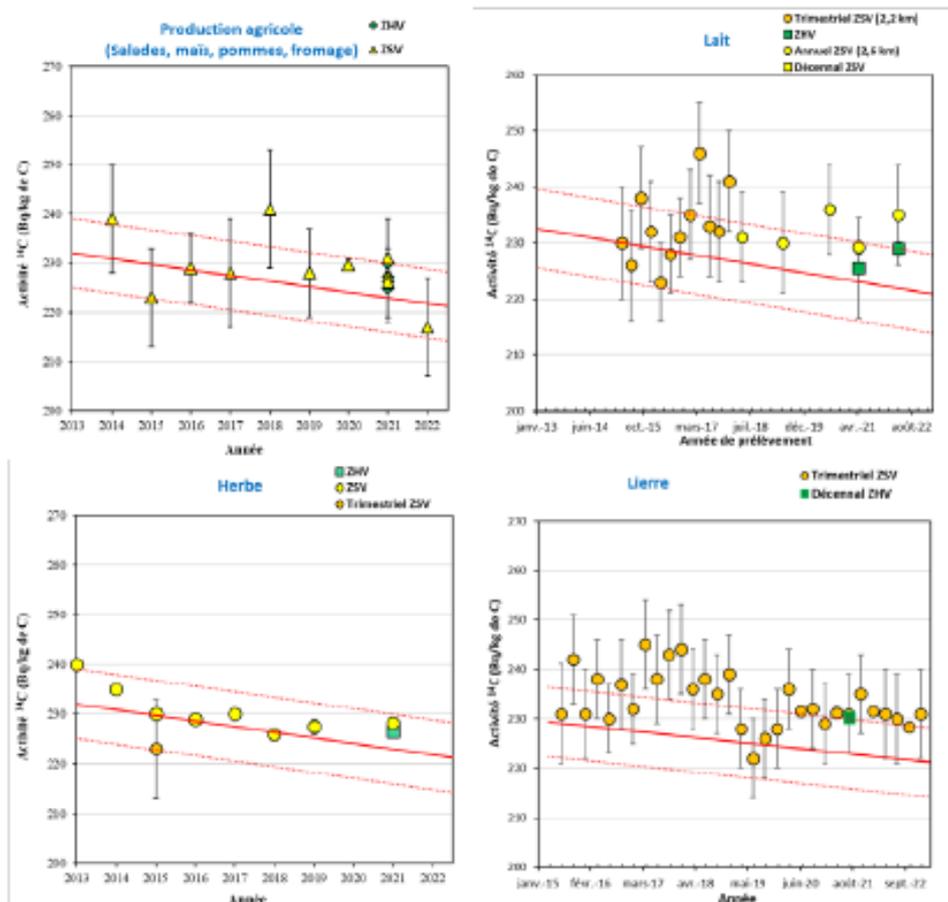


Figure 5-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022. Les courbes en pointillés représente l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle ($232 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C en 2013 et $222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2022). Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et l'IPNL.

5.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 5-2 (page 46) 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 47) présente les stations de prélèvements et la nature des échantillons prélevés en 2022.

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 Cénomaniens. 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 2022, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E., 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 (phanérogames et poissons) et des milieux d'accumulation (sédiments). Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire. Il est à noter que le prélèvement de végétaux aquatiques en aval proche du site n'a pas pu être réalisé faute de ressources suffisantes, comme les années précédentes. Les analyses initialement prévues sur cet échantillon ont donc été effectuées sur le prélèvement en aval lointain.

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 2022.

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/bendres
		Latitude	Longitude							
La Celle-sur-Loire Rive droite	3,0 km amont	47,40028	2,90111	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	Spectrométrie γ Grandométrie, TMO	3,25	-
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	5,3 km aval	47,54880	2,83361	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	Spectrométrie γ Grandométrie, TMO	1,98	-
Ouzon-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	Spectrométrie γ Grandométrie, TMO	3,31	-
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	13,7 km amont	47,38880	2,90556	Phanérogame immergée	Myriophyllum spicatum	Parties aériennes	27/09/22 13/10/22*	Spectrométrie γ en frais (Isde 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	8,95	2,64
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	7,11	
Ouzon-sur-Loire Rive droite	10,7 km aval lointain	47,58722	2,78944	Phanérogame immergée	Myriophyllum spicatum	Parties aériennes	26/09/22 13/10/22*	Spectrométrie γ en frais (Isde 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	10,08	3,52
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	6,05	
Sury-près-Lairé Rives gauche et droite	1 km amont	47,50417	2,86556	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	19/09/22	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,10	16,22
Les Martelots Rives gauche et droite	12 km aval lointain	47,59111	2,78861	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	20/09/22	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	4,18	12,47
Beaulieu-sur-Loire	5,7 km aval	47,54361	2,81667	Eau	Eau de boisson	Entier	03/05/22	Tritium libre	-	-
Borny-sur-Loire Station de pompage	5,1 km aval	47,55083	2,84167	Eau	Eau de boisson	Entier	30/11/22	Spectrométrie γ Tritium libre Bêta global Eau filtrée Bêta global MES	-	-
Beaulieu-sur-Loire	4,4 km aval	47,54167	2,83944	Eau	Eau d'irrigation	Entier	30/11/22	Tritium libre	-	-

*Deuxième prélèvement pour mesure en frais par spectrométrie gamma pour les phanérogames.

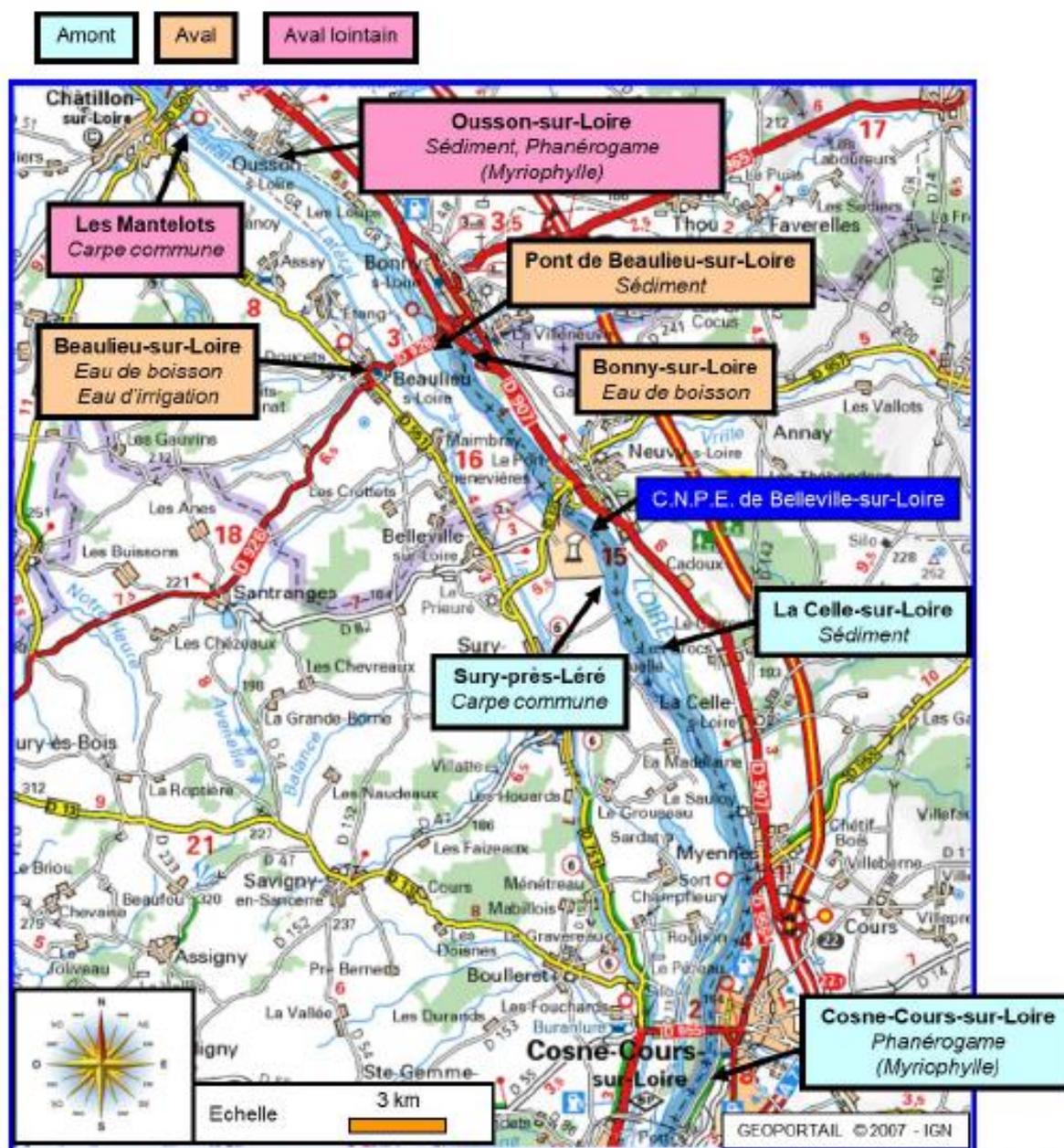


Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2022 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire.

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 2022, le niveau de radioactivité d'origine naturelle observé dans les différents compartiments du milieu aquatique est similaire à celui mesuré lors des études menées lors de l'état de référence de 1983-1984 et la réactualisation de l'état initial en 1987, ainsi que depuis 1991. 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 71). 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, le ^{40}K est le seul radionucléide naturel détecté. Les activités en ^{40}K mesurées dans les poissons sont conformes aux valeurs attendues (environ 100 Bq.kg^{-1} frais), la teneur en potassium étant physiologiquement régulée. Du ^{210}Pb est également mis en évidence dans les poissons prélevés en amont du C.N.P.E. avec une activité proche du seuil de décision ($0,28 \pm 0,27 \text{ Bq.kg}$ frais - $\text{SD} = 0,26 \text{ Bq.kg}$ frais).

Le ^7Be est systématiquement détecté dans les sédiments et les végétaux aquatiques (phanérogames).

5.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

En 2022, la radioactivité d'origine artificielle est liée à la présence de ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co et ^{54}Mn (Tableau 5-22, page 72).

Le ^{137}Cs est quantifié systématiquement dans les sédiments et les végétaux aquatiques. Les activités détectées à l'amont et à l'aval sont similaires aux incertitudes de mesure près dans les sédiments et supérieures à l'amont dans les végétaux aquatiques. Ces mesures montrent que les activités en ^{137}Cs mesurées en 2022 résultent des retombées des essais nucléaires et de celles de l'accident de Tchernobyl.

Le ^{58}Co et le ^{60}Co sont détectés dans les sédiments et les phanérogames prélevés à l'aval lointain, tandis que le ^{54}Mn est détecté uniquement à l'aval lointain dans les sédiments. Ces résultats démontrent l'influence des rejets d'effluents liquides du site sur le milieu aquatique environnant. L'absence de marquage en aval proche dans les sédiments pourrait être due à une granulométrie plus importante (texture sableuse à 67% environ) et/ou à une teneur en matière organique inférieure, comparée au marquage observé en aval lointain sur les sédiments qui présentent au contraire une texture limono-argileuse (65% environ). Le même phénomène avait été observé en 2016, avec une activité détectée uniquement en aval lointain en ^{60}Co .

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 49, à Figure 5-10 page 51). Suite à l'accident de Tchernobyl, l'état de référence complémentaire effectué en 1987 mettait en évidence la présence simultanée de ^{137}Cs et de ^{134}Cs dans les sédiments, les héliophytes et les poissons et de ^{134}Cs dans l'eau douce. 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, 1998 et en 2018, 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 ^{110m}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 et 2022, de ^{58}Co en 2014, 2015 et 2022, de ^{110m}Ag en 2018 ainsi que ^{54}Mn en 2020 et 2022; phanérogames : détection de ^{58}Co en 2012, 2015, 2016 et 2022).

En 2022, 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 en 2007 à l'amont et à l'aval du site et en 2015 à l'amont uniquement. Sa présence était probablement liée à des activités de médecine nucléaire ou universitaires conduites en amont de l'installation.

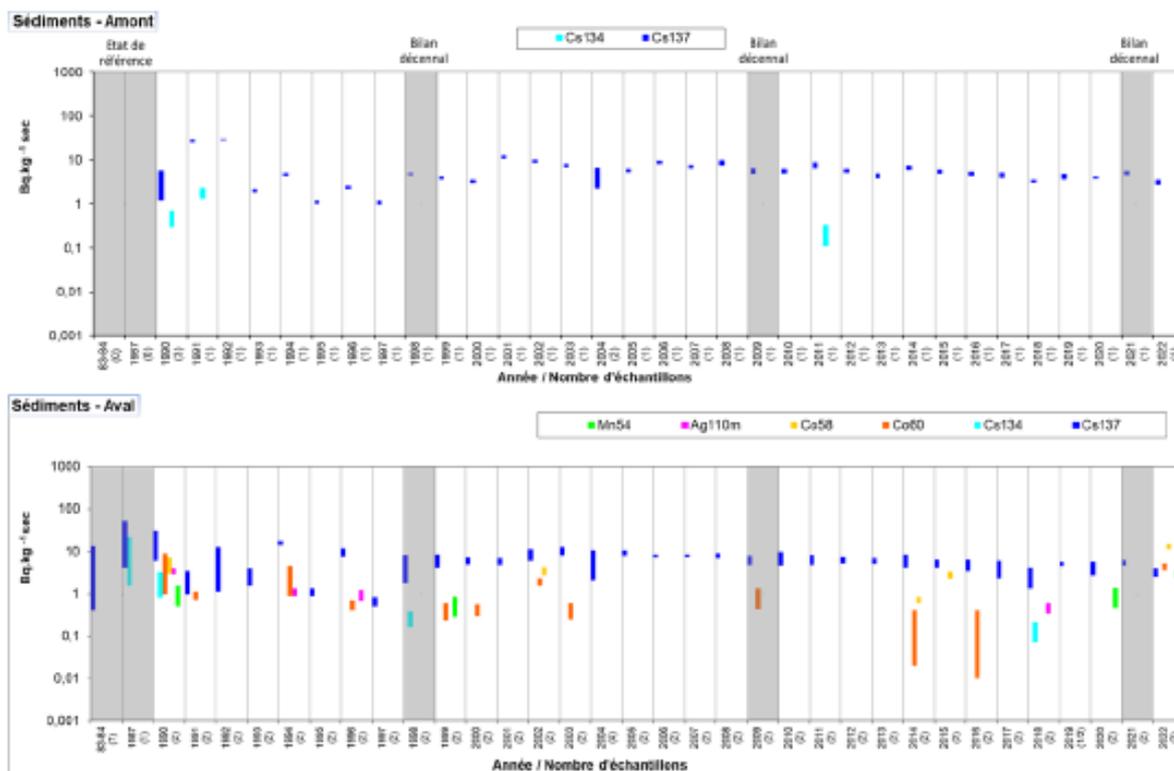


Figure 5-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les sédiments prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2022.
 (*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude.

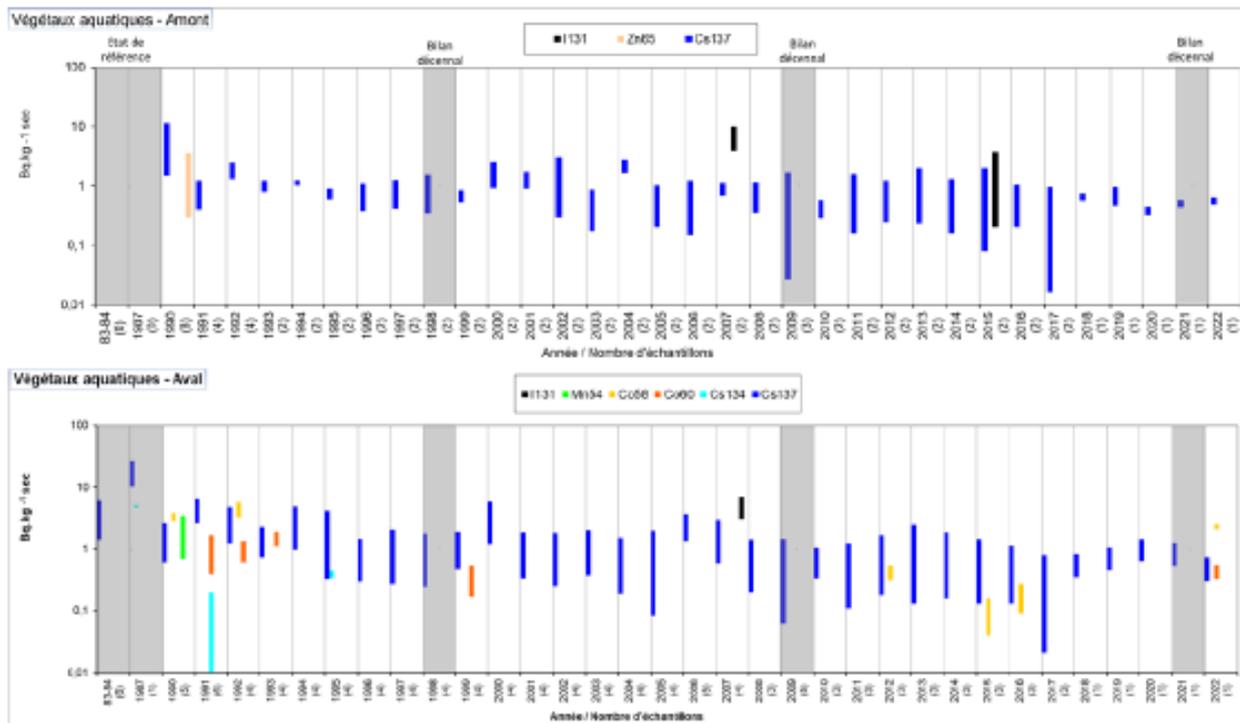


Figure 5-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les végétaux aquatiques (toutes fractions confondues) prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2022.
 (*) valeur minimale minorée de son incertitude à valeur maximale majorée de son incertitude.

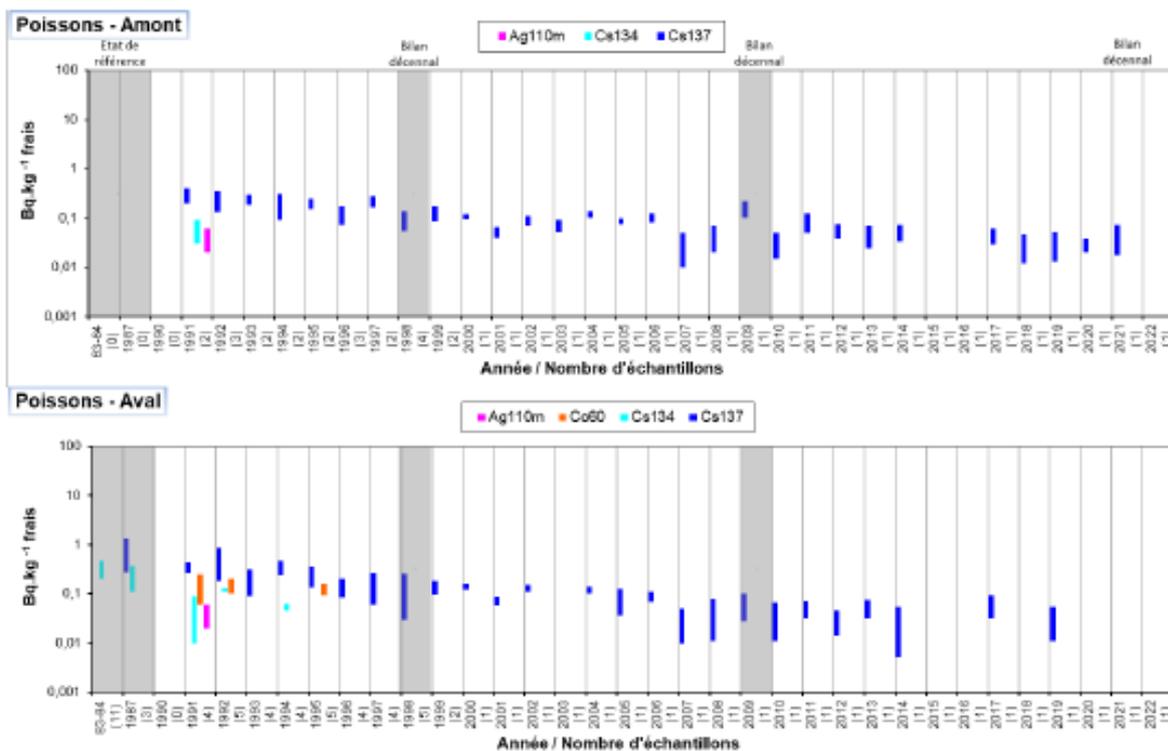


Figure 5-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans les poissons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors des études menées depuis l'état de référence de 1983/1984 au suivi radioécologique de 2022.
 (*) 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 2022 inférieure au seuil de décision dans les myriophylles ($\text{SD} < 0,63 \text{ Bq.L}^{-1}$) et les eaux (eaux de boisson et eau d'irrigation, $\text{SD} < 1,1 \text{ Bq.L}^{-1}$) ou proche de 1 Bq.L^{-1} dans les poissons prélevés à l'amont du site ($1,13 \pm 0,57 \text{ Bq.L}^{-1}$ - Tableau 5-24, page 73), alors qu'à l'aval, l'activité mesurée dans les poissons s'élève à $4,59 \pm 0,87 \text{ Bq.L}^{-1}$. 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, 2020, 2021 et 2022) et dans les phanérogames immergées (myriophylles en 2017, 2018 et 2020) (Figure 5-11, page 52). Le ^3H libre a également été détecté dans une eau de Loire prélevée à l'aval de l'installation en 2009 ($30 \pm 6 \text{ Bq.L}^{-1}$) et une eau d'irrigation en 2018 ($15 \pm 3 \text{ Bq.L}^{-1}$). 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.

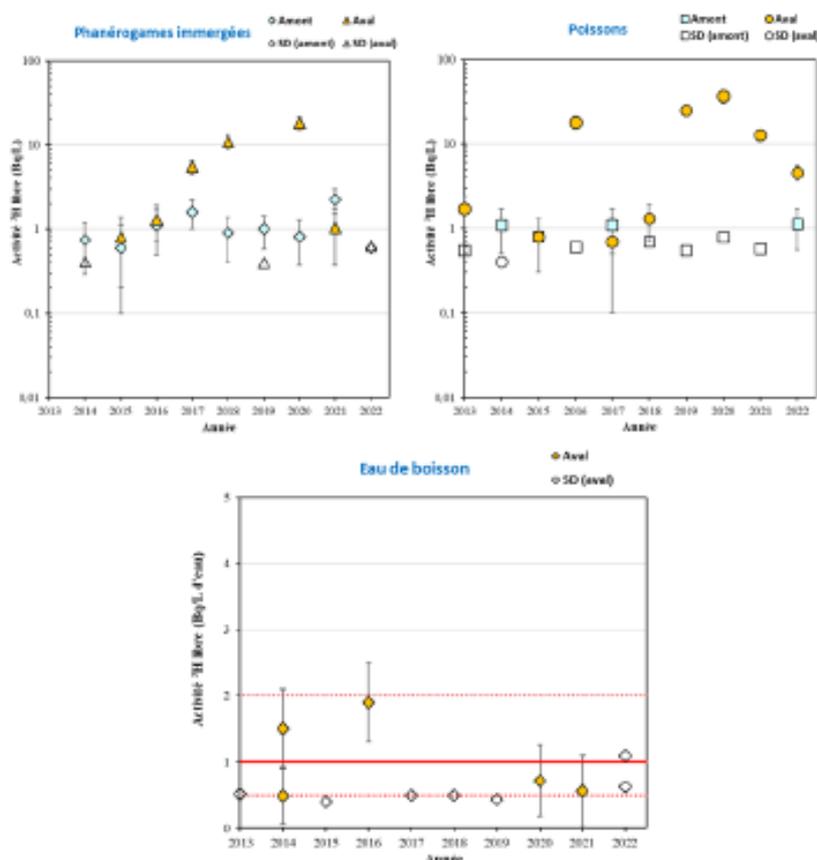


Figure 5-11. Activités en tritium libre dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022.

L'activité en ^3H organiquement lié mesurée en 2022 dans les phanérogames immergées prélevées à l'amont du C.N.P.E. est cohérente avec celle attendue en dehors de tout apport industriel local ($0,5\text{-}2\text{Bq.L}^{-1}$) [3]. En revanche, les activités mesurées en TOL dans les prélèvements à l'amont et à l'aval du site dans les poissons (respectivement $3,75\pm 0,79$ et $3,2\pm 1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion), ainsi qu'à l'aval dans les phanérogames ($9,4\pm 1,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ 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 73), bien qu'aucune différence significative n'est observée entre les valeurs de TOL dans les poissons pêchés à l'amont et à l'aval du site.

De tels résultats sont retrouvés à plusieurs reprises sur les dix dernières années (Figure 5-12, page 53).

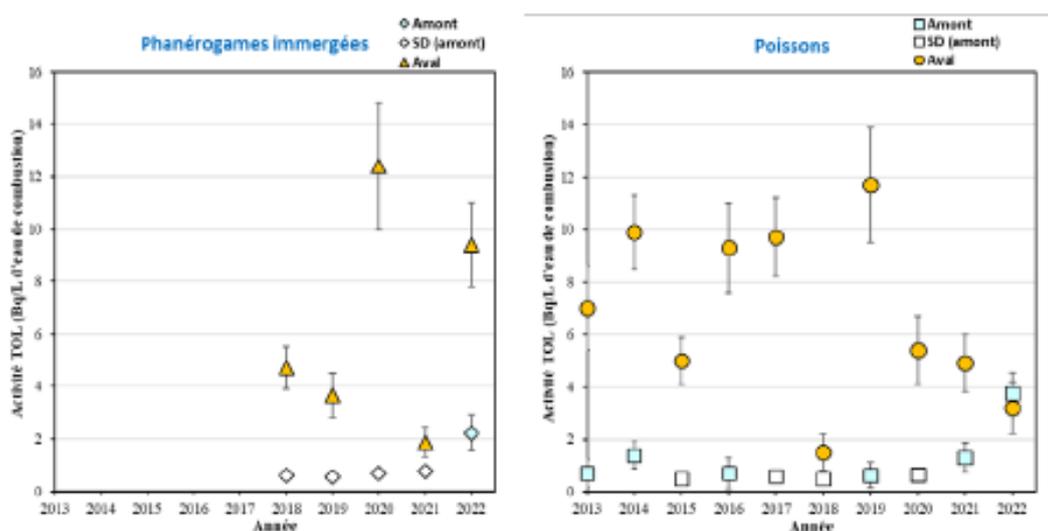


Figure 5-12. Activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022.

5.3.2.2.2. Carbone 14

Les activités en ^{14}C mesurées en 2022 à l'amont du C.N.P.E. dans les poissons et les myriophylles sont cohérentes avec celles attendues en dehors de tout apport industriel local (de l'ordre de 200-220 Bq.kg^{-1} de C [3]), tandis que les activités mesurées dans les phanérogames immergées et les poissons prélevés à l'aval (respectivement 245 ± 12 et 695 ± 21 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 74).

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, page 54).

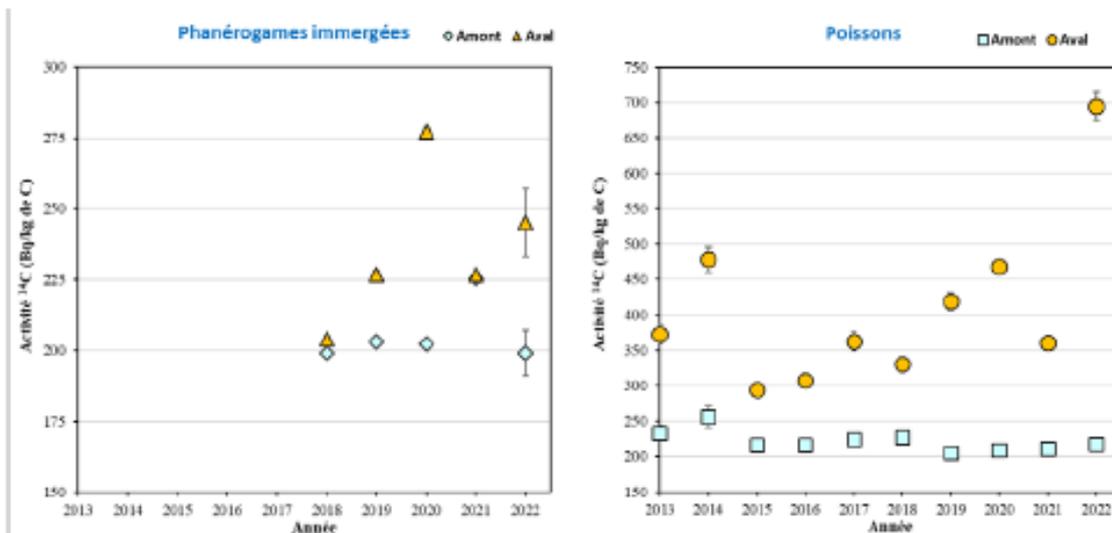


Figure 5-13. Activités spécifiques en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022. Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et l'IPNL.

5.3.2.2.3. Nickel 63 et fer 55

En 2022, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les phanérogames immergées (Tableau 5-27, page 75, et Tableau 5-28, page 75).

5.3.2.2.4. Beta global

En 2022, les activités beta global sur l'eau de boisson filtrée ($0,063\pm 0,028$ Bq.L^{-1}) et sur les matières en suspensions ($< 0,0066$ Bq.L^{-1}) sont cohérentes avec celles attendues en dehors de tout apport industriel local (Tableau 5-29, page 75). Pour rappel, la réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 1 Bq.L^{-1} hors contribution du potassium 40, au-delà la dose indicative (DI) doit être déterminée afin de comparer la valeur obtenue à la référence de qualité de 0,1mSv par an.

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

Le suivi radioécologique établi en 2022 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 2022 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 et en ^3H organiquement lié sont cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle locale. Les analyses de ^{14}C dans les échantillons prélevés dans des zones sous les vents dominants montrent des activités dans les salades, le lierre et le lait cohérentes aux incertitudes de mesure près avec le bruit de fond ambiant. Aucune influence des rejets d'effluents atmosphériques du site n'est mise en évidence pour ce radionucléide.

En 2022, 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. Les activités détectées à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. sont similaires aux incertitudes de mesure près dans les sédiments et supérieures à l'amont dans les végétaux aquatiques. Le ^{137}Cs provient donc principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Du ^{58}Co et du ^{60}Co sont également détectés dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés à l'aval lointain du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, ainsi que du ^{54}Mn uniquement dans les sédiments prélevés à l'aval lointain du site, mettant en évidence l'influence des rejets liquides du site sur le milieu aquatique environnant. Dans les prélèvements effectués à l'aval lointain du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, les analyses de ^3H libre dans les poissons, de ^3H organiquement lié dans les phanérogames et de ^{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 Belleville-sur-Loire.

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 2013 à 2022 (Bq.kg⁻¹.sec).

Année de prélèvement	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	jul. 2020	avril et jul. 2021	mai 2022
Distance par rapport au site	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 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	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)	2,46-5,62 (6/6)	5,10 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

0 n.a. : non analysé ; 0 : 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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ sec ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement	juil. 2013	juil. 2014	juin 2015	juil. 2016	sept. 2017	juin 2018	oct. 2019	juil. 2020	juil. 2021	juin 2022
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	5,1 et 5,5 km	5,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,39 (1/1)	-	0,25 (1/1)	-	0,24 (1/1)	0,26 (1/1)	0,23 (1/1)	-	0,16-0,31 (2/2)	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	239 (1/1)	223 (1/1)	229 (1/1)	228 (1/1)	241 (1/1)	228,0 (1/1)	229,7 (1/1)	227,2- 230,0 (1/1)	217 (1/1)
^3H libre	n.a.	1,0 (1/1)	-	-	-	1,5 (1/1)	1,58 (1/1)	1,01 (1/1)	0,81 (1/2)	0,80 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	4,0 (1/1)	-	-	1,4 (1/1)	0,7 (1/1)	-	-	0,89-1,19 (2/2)	1,51 (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 (et le lierre depuis 2022) dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	juin 2018	mai 2019	oct. 2020	avril 2021	juillet 2022
Distance par rapport au site	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 et 9,9 km	2,6 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,121- 0,183 (2/2)	0,134 (1/1)
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{109m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	240 (1/1)	235 (1/1)	223-230 (2/2)	229 (1/1)	230 (1/1)	226 (1/1)	227,5 (1/1)	n.a.	226,5- 228,3 (2/2)	228,3- 231 (4/4)
^3H libre	n.a.	1,4 (1/1)	1,0 (1/1)	1,7 (1/1)	2,0 (1/1)	0,6 (1/1)	n.a.	4,77 (1/1)	2,25-2,68 (2/2)	1,87 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6 (1/1)	n.a.	1,51 (1/1)	5,07 (1/2)	-

n.a. : non analysé ; 0 : inférieur au seuil de décision

Tableau 5-6. Activités du ¹⁴C, 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 2022 (¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ³H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	juil. 2015		oct. 2015		janv. 2016		avr. 2016		juil. 2016		oct. 2016		janv. 2017		avr. 2017		juil. 2017		oct. 2017		janv. 2018		avr. 2018		juil. 2018		oct. 2018		janv. 2019		avr. 2019		juil. 2019		oct. 2019	
	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	
Distance par rapport au site																																				
	Emetteurs β																																			
	¹⁴ C																																			
	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)	238 (1/1)	235 (1/1)	243 (1/1)	244 (1/1)	236 (1/1)	238 (1/1)	238 (1/1)	235 (1/1)	239 (1/1)	228 (1/1)	222 (1/1)	226 (1/1)													
	³ H libre																																			
	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	1,9 (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	1,04 (1/1)	
	³ H organiquement lié																																			
	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	2,3 (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	0,58 (1/1)	

Année de prélèvement	avr. 2019		juil. 2019		oct. 2019		janv. 2020		avr. 2020		juil. 2020		oct. 2020		janv. 2021		avr. 2021		juil. 2021		oct. 2021		janv. 2022		avr. 2022		juil. 2022		oct. 2022		janv. 2023					
	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km					
Distance par rapport au site																																				
	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)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	235 (1/1)	232 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	
	³ H libre																																			
	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	1,04 (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)		
	³ H organiquement lié																																			
	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	0,58 (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)	n.a. (1/1)		

n.a. : non analysé ; 0 - 0 : inférieur au seuil de décision

Tableau S-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 2013 à 2022 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	juil. 2020	avril 2021	mai 2022
Distance par rapport au site	5,7 et 9,4 km	5,7 km	5,7 km	5,7 km	5,7 et 9,4 km	5,7 km					
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	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)	3,70 (1/2)	1,74 (1/1)
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

0 : 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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.L ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	mai 2018	mai 2019	juil. 2020	avril 2021	mai 2022
Distance par rapport au site	2,2 km	2,2 km	2,2 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 km	2,6 et 9,9 km	2,6 et 9,9 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	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)	0,0085 (1/2)	0,0143 (1/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	231 (1/1)	230,0 (1/1)	236 (1/1)	225,5- 229,2 (2/2)	229-235 (2/2)
^3H libre	0,52 (1/1)	-	1,0 (1/2)	1,6 (1/2)	0,8 (2/2)	1,0 (1/2)	-	0,78 (1/1)	1,60 (1/2)	0,65 (1/2)
^3H organiquement lié	-	-	-	-	1,6 (1/1)	-	-	-	2,16 (1/2)	-

n.a. : non analysé ; 0 : inférieur au seuil de décision

Tableau 5-9. Activités du ¹⁴C 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)
³ H libre	n.a.	0,8 (1/1)	n.a.	n.a.								

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 2022.

Station	Hors vent		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine naturelle									
	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Famille de ^{232}Th		Famille de ^{235}U			^{70}Ge	
							^{232}Th	^{208}Tl	^{232}Th	^{235}Pa	^{235}U	^{214}Pb		
Bois de Chailbour	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Erfer	02/05/22	04/05/22	Frais	113 ± 18	2,3 ± 1,5	< 4,0	n.a.	n.a.	180 ± 27	180 ± 22	
Beaufeu-sur-Loire	Production agricole	Salade Bâchée <i>Lactuca sativa</i> L.	Feuille	14/06/22	28/07/22	Cendres	2560 ± 370	2,17 ± 0,85	< 2,2	n.a.	n.a.	8,3 ± 3,1	88 ± 10	
Neuzy-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	02/05/22	13/06/22	Sec	488 ± 87	30,0 ± 3,0	n.a.	25 ± 17	n.a.	n.a.	4,9 ± 3,0	
Neuzy-sur-Loire	Végétaux herbacés	Liane	Feuilles	25/07/22	18/08/22	Cendres	479 ± 88	7,37 ± 0,97	< 0,53	n.a.	n.a.	20,8 ± 3,1	116 ± 13	
Sierbarges	Lait	Lait de vache	Erfer	03/05/22	30/05/22	Cendres	45,0 ± 8,4	< 0,032	< 0,078	n.a.	n.a.	< 0,012	< 0,078	
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Erfer	02/05/22	23/05/22	Cendres	50,1 ± 7,2	< 0,034	< 0,083	n.a.	n.a.	< 0,12	< 0,074	

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

Tableau 5-11. Activités des radionucléides émetteurs y d'origine artificielle des échantillons dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2022.

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Émetteurs y d'origine artificielle						
							¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	^{109m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Bois de Chaillob	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	02/05/22	04/05/22	Frais	< 0,47	1,74 ± 0,36	< 0,37	< 0,40	< 0,46	< 0,38	< 0,47
Bellefleur-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	14/06/22	28/07/22	Cendres	< 0,13	< 0,13	< 0,19	< 0,17	< 0,14	n.a.	
Neuville-sur-Loire	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	02/05/22	13/06/22	Sec	< 0,16	5,10 ± 0,60	< 0,200	< 0,15	< 0,2	< 0,23	n.a.
Neuville-sur-Loire	Végétaux herbacés	Lierre	Feuilles	25/07/22	16/09/22	Cendres	< 0,027	0,134 ± 0,047	< 0,0430	< 0,034	< 0,038	< 0,035	n.a.
Saint-Genès	Lait	Lait de vache	Entier	03/05/22	30/05/22	Cendres	< 0,0082	0,0143 ± 0,0083	< 0,0058	< 0,0053	< 0,0056	< 0,0064	n.a.
Neuville-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	02/05/22	23/05/22	Cendres	< 0,0084	< 0,0085	< 0,0059	< 0,010	< 0,0056	< 0,0085	n.a.

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

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 2022.

Sous les verts							^{127}I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais (végétaux) mg.L ⁻¹ (lait)
Bois de Chailoux	Mousse terrestre	Mousse <i>Eurhynchium striatum</i>	Entier	02/05/22	01/03/23	Lyophilisée	< 17

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 2022.

Hors vert		Sous les verts					^3H 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
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	14/06/22	26/02/23	Eau de lyophilisation	0,80 ± 0,66	0,74 ± 0,62
Neuzy-sur-Loire	Végétaux herbacés	Lierre	Feuilles	25/07/22	22/10/22	Eau de lyophilisation	1,67 ± 0,62	1,23 ± 0,40
Sentranges	Lait	Lait de vache	Entier	03/05/22	25/05/22	Eau de lyophilisation	< 0,60	< 0,51
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	02/05/22	24/05/22	Eau de lyophilisation	0,65 ± 0,64	0,57 ± 0,56

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 2022.

Hors vert		Sous les verts					^3H 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
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia <i>Lactuca sativa L.</i>	Feuille	14/06/22	11/04/23	Lyophilisé	1,61 ± 0,75	0,061 ± 0,029	0,99 ± 0,48
Neuzy-sur-Loire	Végétaux herbacés	Lierre	Feuilles	25/07/22	12/11/22	Lyophilisé	< 0,73	0,00 ± 0,00	< 0,56
Sentranges	Lait	Lait de vache	Entier	03/05/22	18/06/22	Lyophilisé	< 0,62	< 0,056	< 0,48
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	02/05/22	14/06/22	Lyophilisé	< 0,66	< 0,060	< 0,51

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

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 2022.

Hors vent		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	$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ‰	PMC %			
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait						
Beaulieu-sur-Loire	Production agricole	Salade Batavia Lactuca sativa L.	Feuille	14/06/22	18/06/23	Lyophilisé	217 ± 10	5,91 ± 0,27	27	-28,33	97			
Neuzy-sur-Loire Station AS1	Végétaux herbacés	Liens Hedera helix L.	Feuilles	05/04/22	14/09/22	Lyophilisé	231 ± 9	49,5 ± 1,9	214	-31,88	104			
Neuzy-sur-Loire Station AS1	Végétaux herbacés	Liens Hedera helix L.	Feuilles	04/07/22	19/11/22	Lyophilisé	230 ± 9	38,8 ± 1,5	160	-31,15	103			
Neuzy-sur-Loire Station AS1	Végétaux herbacés	Liens Hedera helix L.	Feuilles	04/10/22	01/06/23	Lyophilisé	228,3 ± 1,0	38,75 ± 0,17	170	-31,44	102			
Neuzy-sur-Loire Station AS1	Végétaux herbacés	Liens Hedera helix L.	Feuilles	10/01/23	29/07/23	Lyophilisé	231 ± 9	39,9 ± 1,6	173	-31,01	103			
Santranges	Lait	Lait de vache	Entier	03/05/22	13/01/23	Lyophilisé	229 ± 9	15,25 ± 0,60	67	-28,45	102			
Neuzy-sur-Loire	Lait	Lait de vache	Entier	02/05/22	18/01/23	Lyophilisé	235 ± 9	14,61 ± 0,56	62	-21,22	103			

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

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 2022.

Sous les vents						
Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%	
Neuzy-sur-Loire	Sol de pâturage Horizon 0 - 6 cm	02/05/22	01/09/22	Granulométrie 6 fractions		
				Argile		17,3
				Liments fins		17,9
				Liments grossiers		10,3
				Sables fins		13,3
				Sables grossiers		41,2
				Teneur en matières organiques	8,6	

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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.L^{-1} ; ^3H : Bq.L^{-1} ; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de C).

Année de prélèvement	avril 2013	avrildéc. 2014	avr/Nov. 2015	avril 2016	avr/loct. 2017	mal/oct. 2018	mal/sept. 2019	juil. 2020	avr/loct. 2021	mal/nov. 2022
Distance par rapport au site	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	1 à 12 km	4,4 à 5,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{57}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{109}Ag	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
Émetteurs β										
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	202,7-205,8 (2/2)	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)	0,56 (1/3)	-

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 liés dans les sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire de 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ sec ; ^3H : Bq.L $^{-1}$; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone).

Année de prélèvement	juillet 2013		sept 2014		sept 2015		oct. 2016		sept 2017		oct. 2018		sept 2019		juil. 2020		juil. 2021		sept. 2022		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval											
Emetteurs γ d'origine artificielle																					
^{137}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	4,3 (1/1)	5,5-6,0 (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)	5,21 (2/2)	3,95 (1/1)	4,99 (2/2)	5,00 (1/1)	5,42 (2/2)	3,14 (1/1)	2,91- 3,50 (2/2)	3,14 (1/1)
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	0,72 (1/2)	-	2,8 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,0 (1/2)
^{90}Co	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	0,21 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,32 (1/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91 (1/2)	-	-	-	-	2,4 (1/2)
Emetteurs β																					
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	215,0 (1/1)	215,5 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.										
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,86 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.										

n.a. : non analysé ; 0 - 0 : 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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juil/sept. 2013		juil/sept. 2014		juin/oct. 2015		sept/oct. 2016		sept/déc. 2017		oct. 2018		sept. 2019		juil. 2020		oct. 21		sept. 22			
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval		
Situation par rapport au site	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Emetteurs γ d'origine artificielle																						
^{137}Cs	0,27- 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)	0,501 (1/1)	0,617 (1/1)	0,568 (1/1)	0,371 (1/1)	1,75 (1/1)	
^{60}Co	-	-	-	-	0,10 (1/3)	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44 (1/1)	
^{137}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{109}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^3\text{H}_{\text{lib}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{129}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)	225,5 (1/1)	226,7 (1/1)	199 (1/1)	245 (1/1)	245 (1/1)							
^3H libre	n.a.	n.a.	0,74 (1/1)	-	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)	-	0,92 (1/1)	18,2 (1/1)	2,26 (1/1)	1,04 (1/1)	-	-	-	
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	4,7 (1/1)	-	3,65 (1/1)	-	12,4 (1/1)	-	1,88 (1/1)	2,22 (1/1)	9,4 (1/1)	9,4 (1/1)							

n.a. : non analysé ; 0 : 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 2013 à 2022 (spectrométrie γ : Bq.kg $^{-1}$ frais ; ^{14}C : Bq.kg $^{-1}$ de carbone ; ^3H : Bq.L $^{-1}$).

Année de prélèvement Situation par rapport au site	sept. 2013		sept. 2014		sept. 2015		oct. 2016		sept. 2017		sept. 2018		oct. 2019		oct. 2020		oct. 2021		sept. 2022		
	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	0,047 (1/1)	0,053 (1/1)	0,029 (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)	-	0,045 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{65}Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{109}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{152}Eu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β																					
^{14}C	233 (1/1)	373 (1/1)	255 (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)	211,3 (1/1)	350,5 (1/1)	217 (1/1)	695 (1/1)	
^3H libre	-	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)	-	12,6 (1/1)	1,13 (1/1)	4,6 (1/1)	
^3H organiquement lié	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)	1,3 (1/1)	4,9 (1/1)	3,75 (1/1)	3,2 (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 2022.

Station	Aval		Espèce	Nature	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	^{40}K	Emission γ d'origine naturelle				
	Aval	Aval lointain								Familille de ^{238}U		Familille de ^{235}U		
									^{232}Th	^{232}Th	^{232}Th	^{232}Th	^{232}Th	^{232}Th
La Celle-sur-Loire Rive droite			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	19/10/22	Sec	740 ± 110	65,5 ± 8,6	n.a.	56 ± 29	n.a.	83 ± 10
Fort de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	29/11/22	Sec	850 ± 120	95 ± 12	n.a.	82 ± 25	n.a.	23,3 ± 3,6
Ouzon-sur-Loire Rive droite			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/09/22	12/04/23	Sec	652 ± 93	70,8 ± 9,2	n.a.	70 ± 25	n.a.	134 ± 28
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite			Phanérogame immergée	Phanérogame immergée	Partie aérienne	27/09/22	07/11/22	Cendres	421 ± 60	27,8 ± 3,6	20,8 ± 3,8	n.a.	52,1 ± 7,9	155 ± 18
Ouzon-sur-Loire Rive droite			Phanérogame immergée	Phanérogame immergée	Partie aérienne	26/09/22	31/10/22	Cendres	446 ± 64	33,3 ± 4,3	12,4 ± 2,1	n.a.	30,0 ± 4,9	86,1 ± 9,8
Surpôts-Lent Rives gauche et droite			Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Poisson	Muscle	19/09/22	05/12/22	Cendres	106 ± 15	< 0,082	< 0,18	n.a.	0,28 ± 0,27	< 0,37
Les Mantelets Rives gauche et droite			Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Poisson	Muscle	20/09/22	17/10/22	Cendres	136 ± 20	< 0,12	< 0,26	n.a.	< 0,38	< 0,29
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage			Eau de boisson	Eau	Entier	30/11/22	06/01/23	Liquide	0,056 ± 0,029	< 0,0054	< 0,028	n.a.	< 0,03	< 0,019

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

Tableau S-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 2022.

Station	Aval	Aval kinéan	Émetteurs γ d'origine artificielle										
			Qualité	Date de prélèvement	Date de mesure	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Ag	^{137}mIn	^{137}mBa	
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	Sec	19/10/22	26/09/22	< 0,27	3,14 ± 0,41	< 0,27	< 0,24	< 0,30	< 0,27	n.a.
Port de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	Sec	20/11/22	26/09/22	< 0,21	2,91 ± 0,37	< 0,33	< 0,21	< 0,28	< 0,28	n.a.
Ouzon-sur-Loire Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	Sec	12/04/23	26/09/22	< 0,28	3,50 ± 0,41	13,0 ± 1,6	4,32 ± 0,73	< 0,46	2,4 ± 1,2	n.a.
Coane-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	Cendres	07/11/22	27/09/22	< 0,04	0,568 ± 0,089	< 0,12	< 0,096	< 0,12	< 0,090	n.a.
Coane-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	Frais	13/11/22	13/11/22	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,2
Ouzon-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	Cendres	31/10/22	26/09/22	< 0,090	0,371 ± 0,064	1,75 ± 0,31	0,44 ± 0,11	< 0,11	< 0,11	n.a.
Ouzon-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle Myriophyllum spicatum	Partie aérienne	Frais	13/11/22	13/11/22	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,2
Sury-piles-Lavé Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	Cendres	05/12/22	19/09/22	< 0,021	< 0,020	< 0,039	< 0,028	< 0,030	< 0,023	n.a.
Les Martellais Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune Cyprinus carpio	Muscle	Cendres	17/11/22	20/09/22	< 0,034	< 0,031	< 0,038	< 0,036	< 0,040	< 0,031	n.a.
Berry-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Elder	Liquide	06/01/23	30/11/22	< 0,0018	< 0,0015	< 0,0020	< 0,0016	< 0,0019	< 0,0015	n.a.

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

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 2022.

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	27/09/22	29/08/23	Lyophilisée	< 7,0	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	26/09/22	01/03/23	Lyophilisée	< 8,3	

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 2022.

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	27/09/22	13/05/23	Eau de lyophilisation	< 0,60	< 0,52		
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	26/09/22	17/10/22	Eau de lyophilisation	< 0,63	< 0,54		
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Polisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/09/22	09/12/22	Eau de lyophilisation	1,13 ± 0,57	0,85 ± 0,43		
Les Mantelots Rives gauche et droite	Polisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	20/09/22	04/10/22	Eau de lyophilisation	4,59 ± 0,87	3,49 ± 0,66		
Beauville-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau de boisson	Entier	03/05/22	23/05/22	-	< 0,63	-		
Bonny-sur-Loire Rive droite Station de pompage	Eau	Eau de boisson	Entier	30/11/22	17/12/22	-	< 1,1	-		
Beauville-sur-Loire Rive gauche	Eau	Eau d'irrigation	Filtrée à 0,22µm	30/11/22	18/12/22	-	< 1,1	-		

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 2022.

										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	26/09/22	28/06/23	Eau de combustion	2,22 ± 0,68	0,123 ± 0,042	1,36 ± 0,47			
Cousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	19/09/22	22/11/22	Eau de combustion	9,4 ± 1,6	0,49 ± 0,11	5,0 ± 1,2			
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/09/22	02/07/23	Eau de combustion	3,75 ± 0,79	0,63 ± 0,15	2,80 ± 0,67			
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	20/09/22	20/10/22	Eau de combustion	3,2 ± 1,0	0,53 ± 0,17	2,36 ± 0,78			

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

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 2022.

							¹⁴ C		C tot	¹³ C/ ¹² C	PMC
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais	g.kg ⁻¹ frais	‰	‰
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	26/09/22	04/10/23	Lyophilisé	199 ± 8	8,37 ± 0,34	42	-20,21	89
Cousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	19/09/22	05/05/23	Lyophilisé	245 ± 12	9,42 ± 0,48	38	-22,58	110
Sury-près-Léré Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/09/22	20/01/23	Lyophilisé	217 ± 8	25,88 ± 0,95	118	-25,52	98
Les Mantelots Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	20/09/22	25/01/23	Lyophilisé	695 ± 21	81,9 ± 2,5	118	-24,65	913

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 2022.

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	Myrtophylle <i>Myrtophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	27/09/22	15/10/23	Cendres	< 0,38	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myrtophylle <i>Myrtophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	26/09/22	12/10/23	Cendres	< 0,49	

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

Tableau 5-28. Activités du ⁵⁹Fe dans les végétaux prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2022.

Amont		Aval lointain						⁵⁹ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Cosne-Cours-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myrtophylle <i>Myrtophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	27/09/22	21/10/23	Cendres	< 4,3	
Ousson-sur-Loire Rive droite	Phanérogame Immergée	Myrtophylle <i>Myrtophyllum spicatum</i>	Partie aérienne	26/09/22	22/10/23	Cendres	< 2,1	

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

Tableau 5-29. Activités β globale dans l'eau de boisson prélevée dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire lors du suivi radioécologique de 2022.

Aval							β global	β global hors K40
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.L ⁻¹
Bonny-sur-Loire Station de pompage Rive droite	Eau	Eau de boisson	Filtrée à 0,22µm	30/11/22	06/01/23	-	0,063 ± 0,028	< 0,025
Bonny-sur-Loire Station de pompage Rive droite	Eau	Eau de boisson	Matières en suspensions	30/11/22	13/01/23	-	< 0,0066	-

Tableau 5-30. 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 2022.

Amont		Aval		Aval lointain	
Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
La Celle-sur-Loire Rive droite	Sédiment	26/09/22	09/11/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	24,00
				Limons fins	16,20
				Limons grossiers	8,50
				Sables fins	13,00
				Sables grossiers	38,30
Teneur en matières organiques	10,95				
Pont de Beaulieu-sur-Loire Rive gauche	Sédiment	26/09/22	09/11/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	15,10
				Limons fins	11,00
				Limons grossiers	7,10
				Sables fins	27,20
				Sables grossiers	39,60
Teneur en matières organiques	4,76				
Ousson-sur-Loire Rive droite	Sédiment	26/09/22	09/11/22	Granulométrie 5 fractions	
				Argile	33,80
				Limons fins	22,30
				Limons grossiers	8,50
				Sables fins	15,90
				Sables grossiers	19,50
Teneur en matières organiques	10,36				

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 – Produire de manière sûre une électricité bas carbone à un coût compétitif en région Centre Val-de-Loire. 2023.
- [3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2021, 408 p., 2021.
- [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 DEL/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.

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

- Année 2022 -

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), des poissons et des eaux (boisson, irrigation...). Les campagnes de prélèvements se sont déroulées d'avril à novembre 2022.

Dans toutes les matrices prélevées, hormis les eaux de boisson, les analyses portent sur la mesure des radionucléides quantifiables par spectrométrie gamma (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{110m}Ag , ^{54}Mn , ^{131}I ...) et, depuis 2000, la détermination du tritium libre dans le lait et les eaux de boisson. Depuis 2010, le programme d'analyses du suivi radioécologique annuel a progressivement intégré des mesures de tritium organiquement lié 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 2022 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 2022

La Figure 10-1 (page 302) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés en 2022 (>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. Les données sont représentées en fonction des stations de prélèvements, hors des vents dominants et secondaires ou sous les vents dominants et secondaires.

En 2022, la radioactivité d'origine artificielle est due à la présence de ¹³⁷Cs dans l'ensemble des matrices du milieu terrestre. Il est observé dans 28 des 32 échantillons (88%) prélevés aussi bien dans les zones hors des vents dominants et secondaires que dans les zones soumises aux vents dominants et secondaires. 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., à l'exception des choux prélevés sous les vents dominants et secondaires à proximité du C.N.P.E. de Civaux. Ces observations indiquent que la présence de ¹³⁷Cs en 2022 provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

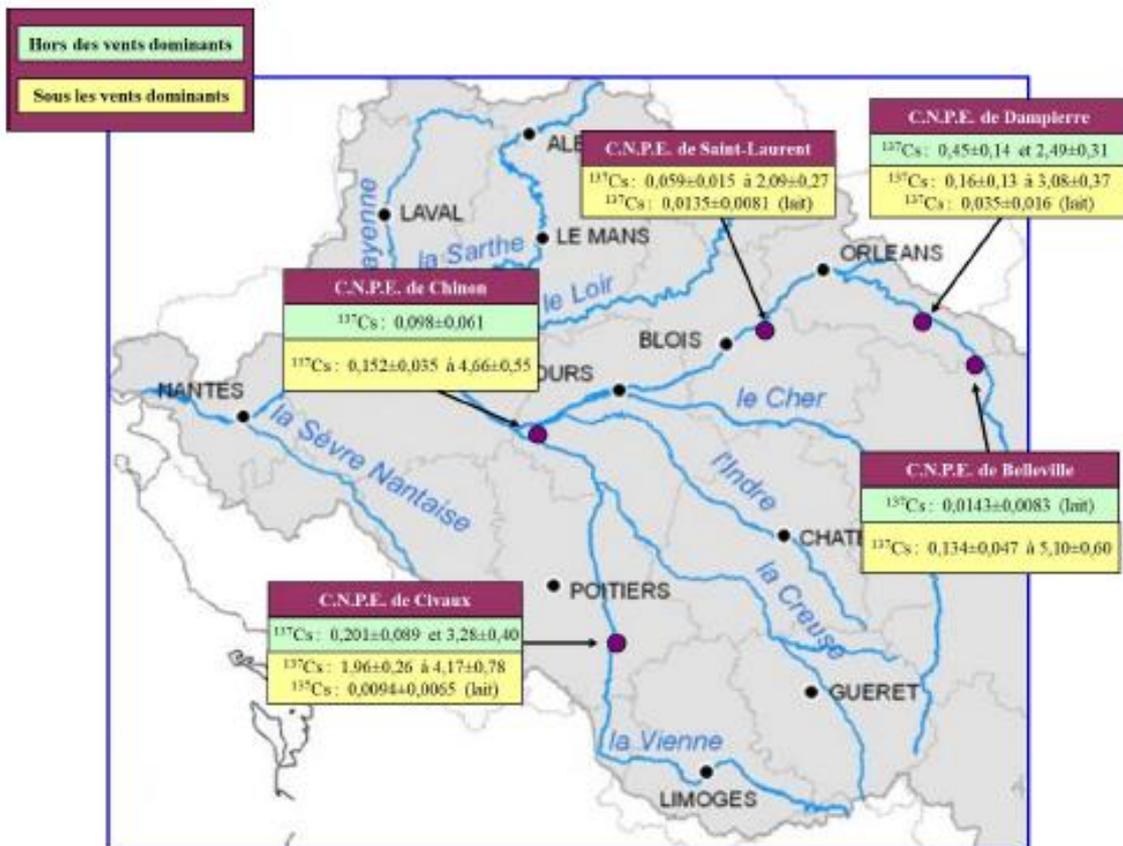


Figure 10-1. Synthèse des activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés dans les échantillons prélevés en 2022 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

La Figure 10-2 (page 303) présente les activités spécifiques en ^{14}C mesurées de 2013 à 2019 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 et secondaires (suivis annuels et décennaux, hors prélèvement trimestriels). Les activités sont exprimées en Bq.kg^{-1} de carbone. La mesure de l'activité du ^{14}C dans les prélèvements annuels d'herbe n'est plus effectuée depuis 2018 dans l'environnement de St Laurent-des-Eaux, Chinon-Avoine et Civaux, depuis 2019 pour Dampierre-en-Burly et 2020 pour Belleville-sur-Loire.

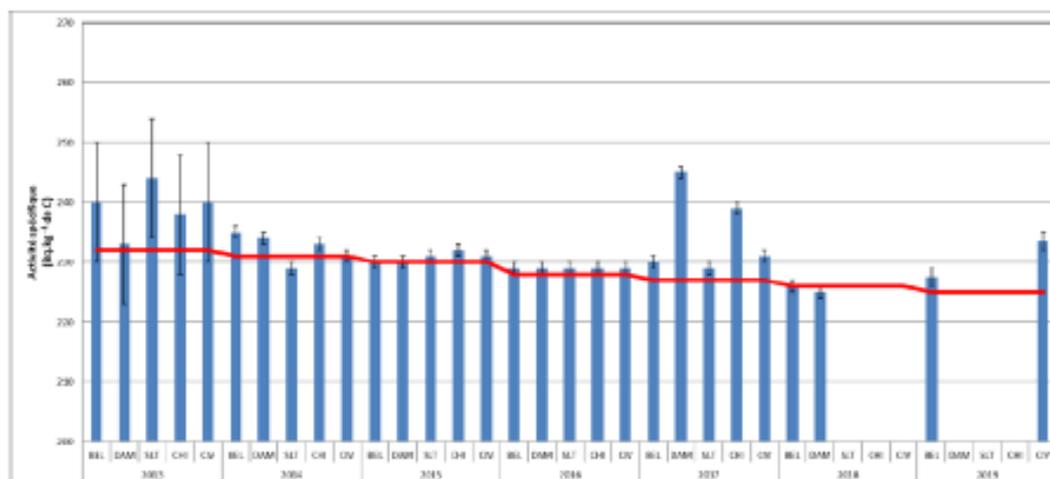


Figure 10-2. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les herbes de pâturage prélevées dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Loire de 2013 à 2019. La ligne rouge représente le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C en 2022).

En 2022, 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 ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2022) [1]. Ponctuellement, les activités mesurées dans les légumes feuilles et les herbes prélevées sous les vents dominants et secondaires 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 2022 sur les légumes feuilles, les herbes et les laits prélevés sous les vents dominants et secondaires 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 des activités en ^3H libre mesurées dans les salades (ZSV et ZHV) et dans l'herbe de pâturage (ZSV), et des activités mesurées en ^3H organiquement lié dans les salades (ZHV et ZSV) prélevées dans l'environnement du site de Chinon-Avoine qui témoignent 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 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].

10.2 Radioécologie du milieu aquatique en 2022

Les Figure 10-3 (page 304), Figure 10-4 (page 305) et Figure 10-5 (page 306) présentent les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ^{14}C , du ^3H libre et/ou du ^3H organiquement lié détectés ($>SD$) en 2022, 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.

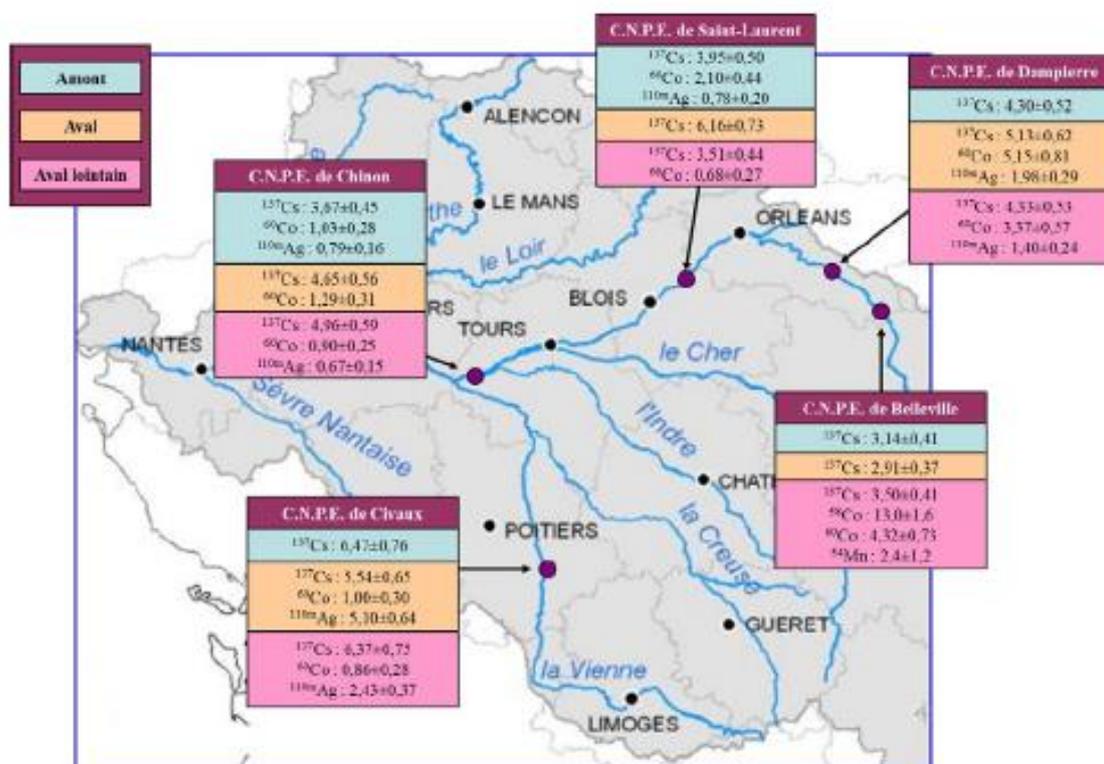


Figure 10-3. Synthèse des activités des radionucléides artificiels détectés dans les sédiments prélevés en 2022 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire (Bq.kg^{-1} sec).

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 les échantillons de sédiments (15/15) et de végétaux (14/14) prélevés en 2022 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 7 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 Chimon-Avoine. Les variations d'activité observées sont liées aux différences de granulométrie et de teneur en matières organiques des échantillons. En 2022, la présence de ^{137}Cs provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de celles de l'accident de Tchernobyl.



Figure 10-4. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ¹⁴C et du ³H détectés dans les phanérogame prélevés en 2022 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

En 2022, 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 ⁵⁸Co, de ⁶⁰Co, d'^{110m}Ag et de ⁵⁴Mn.

Aucun radionucléide d'origine artificielle autre que le ¹³⁷Cs n'est détecté à l'amont du bassin de la Loire (C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire). Le ⁶⁰Co est détecté à l'aval des cinq C.N.P.E. ainsi qu'à l'amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et du site de Chinon-Avoine (10/15 sédiments et 9/14 végétaux). En 2022, le ⁵⁸Co est également mesuré à l'aval des C.N.P.E., à l'exception du C.N.P.E. de Civaux, ainsi qu'à l'amont du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly et du site de Saint-Laurent-des-Eaux (1/15 sédiments et 8/14 végétaux). L'^{110m}Ag est détecté à l'aval des C.N.P.E., à l'exception du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, ainsi qu'à l'amont du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et du site de Chinon-Avoine (7/15 sédiments et 8/14 végétaux). Enfin, le ⁵⁴Mn est quantifié à l'aval des C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre-en-Burly, Belleville-sur-Loire et Civaux (1/15 sédiments et 3/14 végétaux).

Enfin, l'¹³¹I a été détecté à l'amont du C.N.P.E. du site de Chinon-Avoine et du C.N.P.E. de Saint-Laurent-des-Eaux et à l'aval du site de Chinon-Avoine (3/10 végétaux analysés en 2022).

La Figure 10-5 (page 306) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma, du ¹⁴C, du ³H libre et du ³H organiquement lié détectés en 2022 (>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 ¹⁴C 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.

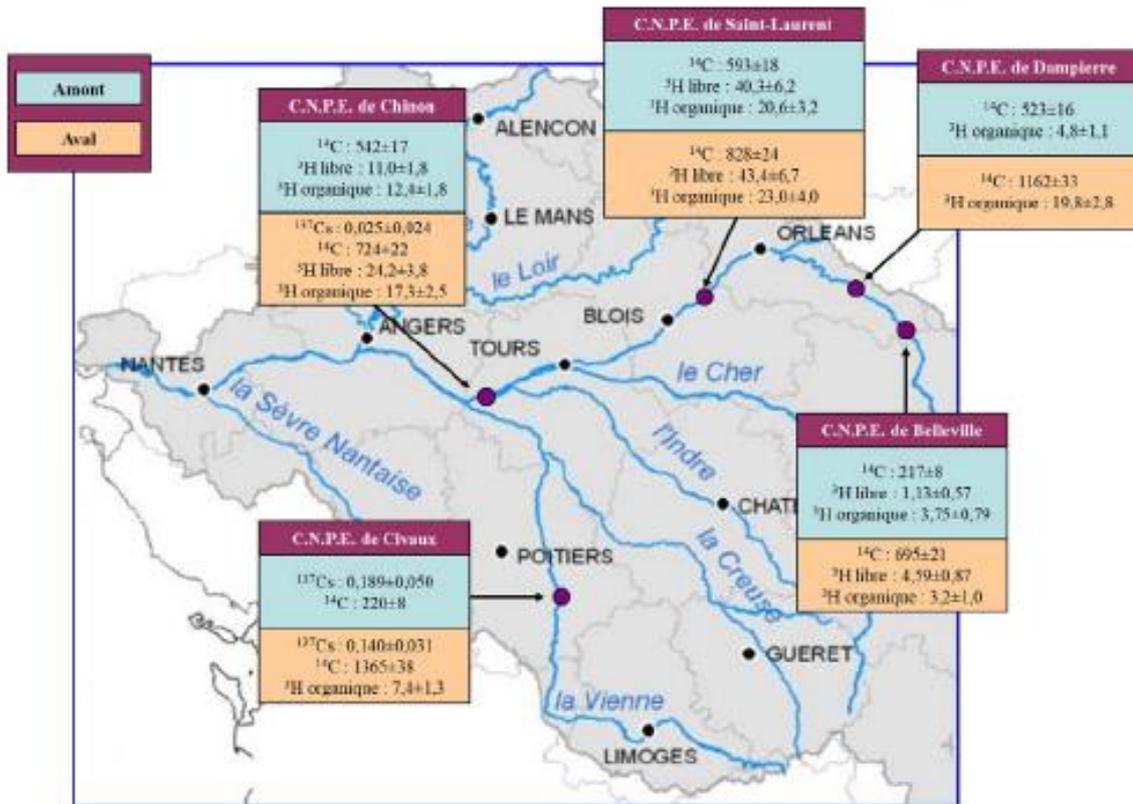


Figure 10-5. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^3H détectés dans les poissons prélevés en 2022 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Loire.

Le ^{137}Cs est détecté dans 3 des 10 échantillons de poissons analysés en 2022. 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 mesuré de 2008 à 2017 et 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 308) et la Figure 10-7 (page 309) 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 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, l'activité mesurée en 2022 est cohérente avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($0,5\text{-}2,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ [1]). Les résultats montrent des augmentations significatives dans les végétaux et/ou les poissons à l'aval des C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et de Civaux, ainsi qu'à l'aval et à l'amont des sites de Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des Eaux et Chignon-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 quatre échantillons sur les huit prélevés en 2022. L'activité est proche de 10 Bq.L^{-1} dans l'eau de boisson prélevée à la station de Saumur près du site de Chinon-Avoine, proche de $7,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ à la mairie de Blois (Site de Saint-Laurent des eaux). Elle est proche du seuil de décision dans les eaux prélevées à Ouzouer-sur-Loire près du C.N.P.E. de Dampierre-en-Burly, ainsi qu'à Muiltes-sur-Loire près du site de Saint-Laurent-des-Eaux. 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 sites de Chinon-Avoine et 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.

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 du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire, les activités détectées sont de l'ordre de $2-4 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion. A l'amont du site de Civaux, l'activité en TOL est proche de 3 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans les phanérogames et inférieure au seuil de décision dans les poissons ($<0,60 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion). Les analyses montrent une augmentation à l'aval de chaque C.N.P.E. dans les végétaux et/ou les poissons. Les valeurs mesurées sont comprises entre $3,2$ et 23 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans les poissons et entre $2,76$ et $51,6 \text{ Bq.L}^{-1}$ 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.

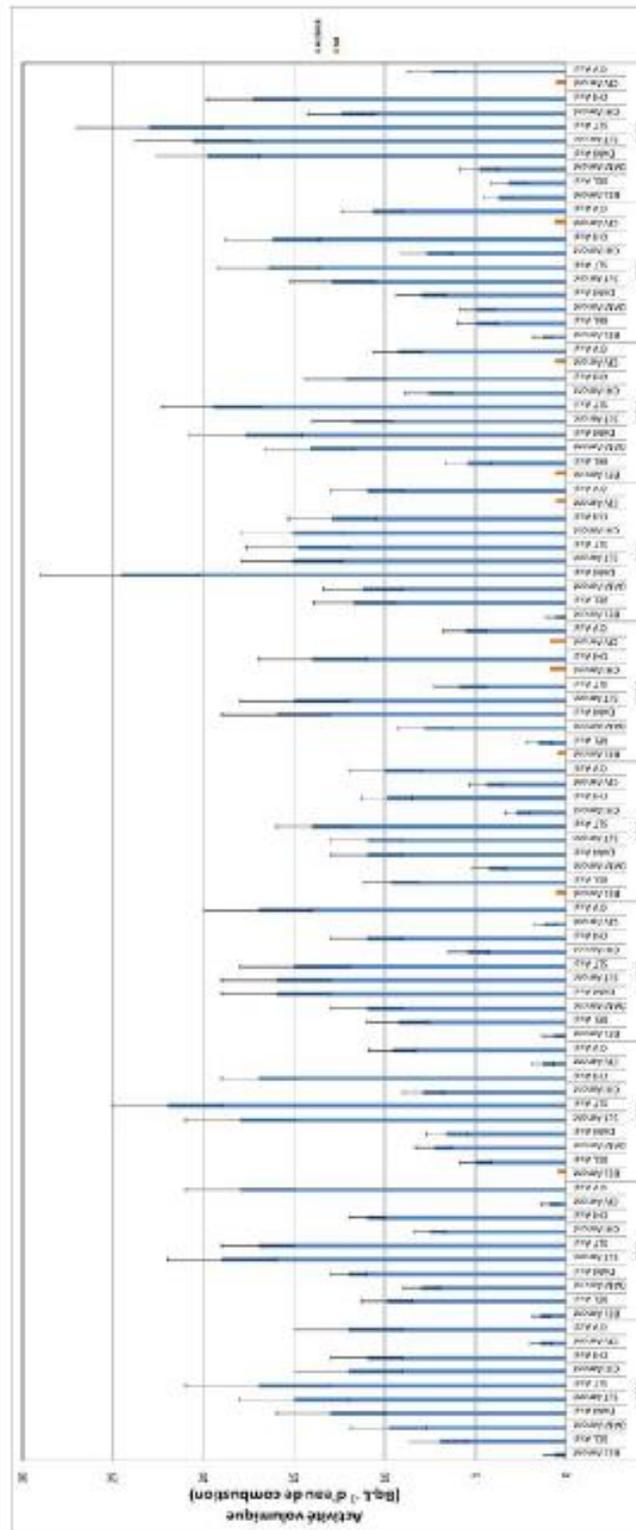


Figure 10-7. Activités volumiques du ³H organiquement lié mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur la période 2013-2022.

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 311) 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 2013-2022.

En tête du bassin de la Loire, à l'amont du C.N.P.E. de Belleville-sur-Loire et du C.N.P.E. de Civaux, les analyses montrent des activités cohérentes aux incertitudes de mesures près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle, de $222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2022 [1] (Figure 10-8, page 311). 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, en 2017 et en 2019 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 2022 sont systématiquement supérieures à l'aval des installations. 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 2022 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat.

De même, les analyses de ^{55}Fe et de ^{63}Ni montrent des activités inférieures aux seuils de décision à l'amont et à l'aval, à l'exception du site de Chinon-Avoine pour lequel une activité en ^{63}Ni a été mesurée ($0,99 \pm 0,42 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Cette valeur met en évidence l'influence des rejets liquides du site sur l'environnement aquatique environnant. Concernant les émetteurs alpha recherchés (^{239}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am) dans les sédiments prélevés dans l'environnement du site de Saint-Laurent-des-Eaux, les rapports $^{239}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ déterminés en 2022 sont caractéristiques aux incertitudes de mesure près de l'unique influence des essais aériens nucléaires, mais avec des incertitudes associées élevées rendant l'interprétation délicate.

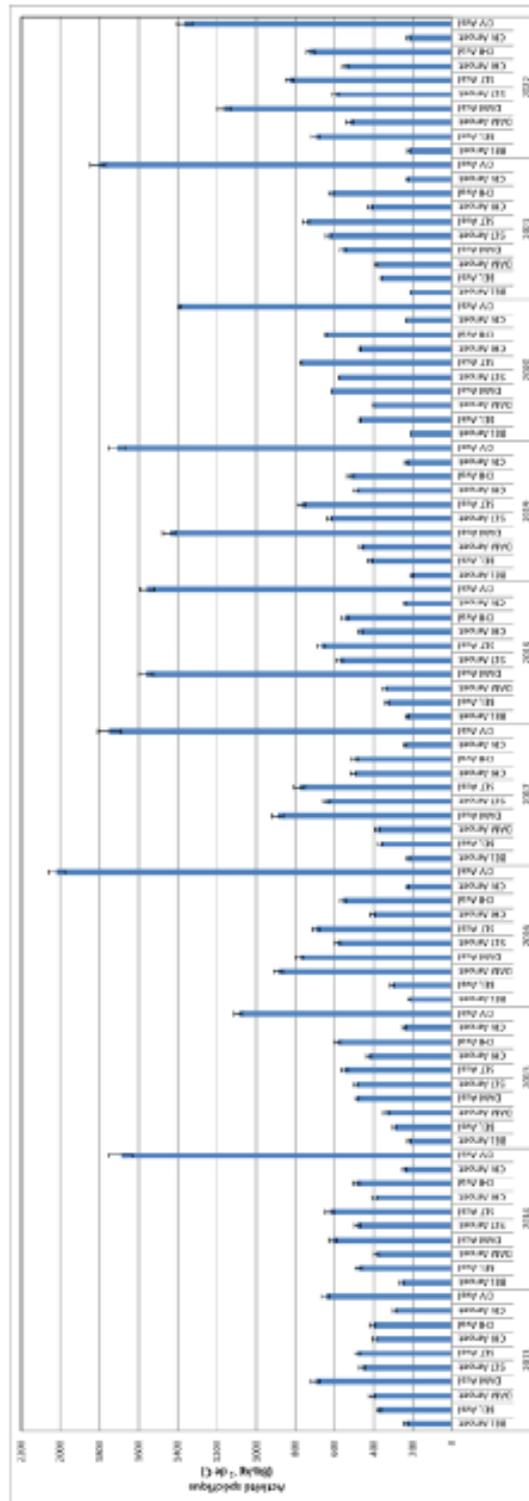


Figure 10-8. Activités spécifiques en ¹⁴C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Loire sur la période 2013-2022.

Bibliographie

- [1] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2021, 408 p., 2021.
- [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 – 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}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 315). Parmi les émetteurs gamma, ^{131}I est spécifiquement recherché dans les milieux terrestre et aquatique depuis 1997 ; il s'agit d'un élément volatil de courte période (8,0233 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 $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ en spectrométrie gamma, de 1 Bq.L^{-1} pour les analyses de tritium libre et de 1 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans le cas de la mesure du tritium organiquement lié. Dans le cas des analyses de carbone 14, la méthode basée sur la synthèse de benzène permet d'obtenir des incertitudes inférieures à 15%.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire. En revanche, seuls les échantillons du milieu terrestre issus des zones influencées sont systématiquement analysés. Ainsi, certains prélèvements issus des zones non soumises aux vents dominants ne sont analysés qu'en cas de découverte d'activité significativement supérieure au seuil de décision dans les échantillons issus des zones sous les vents dominants.

Les sols et les sédiments font l'objet d'une mesure de granulométrie et de teneur en matières organiques (TMO). En effet, la fixation de certains radionucléides dans les sols et sédiments dépend fortement de ces paramètres. Ainsi, dans le but de comparer les activités de ^{137}Cs mesurées dans les sédiments et les terres, elles doivent être normalisées en fonction de ces deux paramètres. Il s'agit de s'affranchir des hétérogénéités liées à la granulométrie et à la teneur en matières organiques en ramenant les échantillons à un échantillon de référence de granulométrie définie.

Lors des états radioécologiques de référence et de leurs actualisations décennales, des mesures complémentaires sont réalisées portant sur le dosage des radionucléides émetteurs alpha et sur d'autres émetteurs bêta que le tritium.

Tableau 11-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels.

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
^{232}Th	Thorium	γ	24,10 j
^9Be	Béryllium	γ	53,22 j
^{60}Co	Cobalt	γ	70,85 j
$^{109\text{m}}\text{Ag}$	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	γ	12,312 a
^{210}Pb	Plomb	γ	22,23 a
^{137}Cs	Césium	γ	30,05 a
^{14}C	Carbone	γ	5700 a
^{40}K	Potassium	γ	$1,2504 \cdot 10^9$ a

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 5667-5. 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 EUROFINIS.

11.6.1. Milieu terrestre

11.6.1.1. Sol cultivé et sol non cultivé

Ces échantillons sont débarrassés des corps étrangers (racines, résidus...). Le reste de l'échantillon est disposé dans des récipients destinés à assurer un pré-séchage à une température inférieure à 40°C (jusqu'à obtention d'un séchage apparent). Les échantillons sont ensuite émottés puis mis à sécher à l'étuve à une température de 102°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Après séchage, l'échantillon est tamisé à 2 mm et les deux fractions obtenues sont enregistrées. Seule la fraction inférieure à 2 mm est analysée.

11.6.1.2. Mousse terrestre, production agricole et pâture/herbe/luzerne

Dans le cas de la recherche de radionucléides de période radioactive courte (8,0233 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 et du tritium organiquement lié. Elle peut également être utilisée en prévision des mesures de carbone 14, ainsi que pour la constitution de la banque d'échantillons. Après cette phase de séchage (étuve ou lyophilisation), une fraction de l'échantillon est placée dans des béchers en verre puis calcinée.

L'échantillon est calciné selon les cycles suivants :

- 20 à 200°C en 6 heures,
- palier de 6 heures à 200°C,
- montée en température de 200 à 300°C en 6 heures,
- palier de 6 heures à 300°C,
- montée en température de 300 à 480°C en 6 heures,
- palier de 26 heures à 480°C.

Les températures des paliers à 200°C, 300°C et 480°C sont conservées d'une matrice à l'autre mais les durées des montées en température et/ou des paliers peuvent être adaptées afin d'obtenir des cendres blanches. A l'issue de la calcination, l'échantillon est conservé au dessiccateur à température ambiante en attente de mesure en spectrométrie gamma.

11.6.1.3. Lait

Une lyophilisation est effectuée afin de récupérer l'eau (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 EN 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 EN 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 5. 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 EN 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. Pyroxydizer

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 CO_2 est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, produit de l'acétylène. Une catalyse permet enfin de polymériser l'acétylène en benzène.



Photo 11. Synthèse de benzène

La mesure s'effectue par scintillation liquide. Le résultat s'exprime en Bq.kg^{-1} de carbone et l'incertitude est de l'ordre de quelques pourcents. Les activités en ^{14}C mesurées dans diverses matrices peuvent être corrigées du fractionnement isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Des fractionnements isotopiques se produisent dans la nature, soit au cours des processus d'assimilations biologiques du carbone, soit au cours des processus physico-chimiques tel que la dissolution du gaz carbonique dans l'eau de mer. Il s'ensuit des enrichissements ou des appauvrissements d'un isotope par rapport aux autres. Le ^{12}C est l'isotope stable majoritaire. Il représente 98,89% du carbone sur Terre. Le ^{13}C est également un isotope stable. En moyenne, la proportion est faible (1,11%). On observe que cette proportion varie modestement et est mesurée par le $\delta^{13}\text{C}$. Celui-ci représente la déviation du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ par rapport à un standard international. Ce standard correspond au rapport calculé sur la calcite d'un rostre de bélemnite de la formation géologique de Pee Dee en Caroline du Sud. Ce rapport de référence (R_{PDB}) est de 0,011238. Comme ces variations sont extrêmement faibles, cette déviation est mesurée non en % mais en ‰.

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

Ainsi, lorsqu'un échantillon est enrichi en ^{13}C par rapport au standard, son $\delta^{13}\text{C}$ est positif. Lorsque l'échantillon est appauvri en ^{13}C par rapport au standard, le $\delta^{13}\text{C}$ est négatif.

11.7.5. Granulométrie et teneur en matières organiques des sols et sédiments

Ces analyses sont confiées à INOVALYS à Nantes. Les mesures de granulométrie sont réalisées selon la norme NF X 31-107, basée sur la vitesse de sédimentation (méthode de la pipette). La teneur en matières organiques est calculée à partir du pourcentage de carbone organique total obtenu par combustion sèche (NF ISO 10694).

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 325) 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.

Tableau 11-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.

Mesure	Normes associées	Paramètres d'incertitude	Commentaire
Mesure du tritium	NF EN ISO 9698	Comptage, Temps, Efficacité de détection, Volume	L'incertitude liée au temps de comptage est habituellement négligée.
Mesure des émetteurs gamma	NF EN 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	

11.9. Liste des laboratoires d'analyse

Les partenaires associés dans le cadre de la réalisation des mesures liées au suivi radioécologique de 2022 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 1-7229) 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 Sécurité 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.....	315
Tableau 11-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.....	325

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**

Eclatement 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 iodures 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 (Bq) 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 transurannien, 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

Étude 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.



N'imprimez ce document que si vous en avez l'utilité.

EDF SA
22-30, avenue de Wagram
75382 Paris cedex 08
Capital de 1 525 484 813 euros
552 081 317 R.C.S. Paris
www.edf

CNPE de Belleville-sur-Loire
Adresse : BP 11 – 18240 Léré
Numéro de téléphone : 02 72 58 80 00

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

