

**Rapport environnemental annuel
relatif aux installations
nucléaires du site de**

Chooz

2022

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

SOMMAIRE

Partie I – Les installations nucléaires du site de Chooz en 2022	4
I. Contexte	4
II. Les installations nucléaires du site de Chooz	4
III. Modifications apportées au voisinage du site de Chooz	6
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	6
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des événements significatifs pour l'environnement	7
Partie II - Prélèvements d'eau	9
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	11
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	11
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	12
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	13
Partie III – Restitution et consommation d'eau	15
I. Restitution d'eau	15
II. Consommation d'eau	15
Partie IV - Rejets d'effluents	17
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	17
II. Rejets d'effluents liquides	30
III. Rejets thermiques	58
Partie V - Prévention du risque microbiologique	60
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	60
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	61
Partie VI - Surveillance de l'environnement	63
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	63
II. Physico-chimie des eaux souterraines	68
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	70
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie	71

V. Acoustique environnementale	75
--------------------------------	----

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation
77

<i>Partie VIII - Gestion des déchets</i>	81
--	-----------

I. Les déchets radioactifs	81
----------------------------	----

II. Les déchets non radioactifs	87
---------------------------------	----

<i>ABREVIATIONS</i>	89
---------------------	-----------

<i>ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Chooz Année 2022</i>	93
---	-----------

<i>ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Chooz Année 2021</i>	94
--	-----------

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 ». De même, Chooz A, centrale en démantèlement, est certifiée « 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 et de Chooz A.

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 (INB), ce document présente le bilan de l'année 2022 du site de Chooz en matière d'environnement.

II. Les installations nucléaires du site de Chooz

Le site de Chooz se situe dans le département des Ardennes (08). Il est implanté sur la rive droite de la Meuse pour la centrale en déconstruction de Chooz A et la rive gauche pour le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Chooz B. L'ensemble des installations se trouve sur le territoire de la commune de Chooz, à 60 km de Charleville-Mézières, en France, et de Namur, en Belgique.

La centrale de Chooz A s'étend sur une surface de 20 hectares et le CNPE de Chooz B sur une superficie de 200 hectares. L'ensemble des installations regroupe :

- deux unités de production d'électricité en fonctionnement, le CNPE de Chooz B, dont la création a été autorisée par les décrets du 9 octobre 1984 et du 18 février 1986, modifiés par le décret du 18 octobre 1993.

Ces deux unités sont de conception identique (palier N4) du type Réacteur à Eau Pressurisée (REP) d'une puissance électrique de 1 450 MW chacune. Ces deux réacteurs constituent les installations nucléaires de base n°139 et 144 ;

- une unité en cours de déconstruction, la centrale de Chooz A, constituée d'un réacteur nucléaire, dont la construction conjointe par la France et la Belgique a débuté en janvier 1962. Son couplage au réseau a eu lieu en avril 1967 et son exploitation a cessé le 30 octobre 1991. Elle est actuellement en phase de déconstruction.

Le combustible a été évacué en 1995. Cette unité était la première centrale en France de type Réacteur à Eau Pressurisée d'une puissance électrique de 242 MW, portée

progressivement à 305 MW. Le refroidissement de l'unité de Chooz A se faisait en circuit ouvert, ce dernier ayant été complètement démantelé en 2003. Cette unité constitue l'installation nucléaire de base n°163.

Les installations nucléaires de base de Chooz sont placées sous la responsabilité d'un directeur, qui s'appuie sur un comité de direction constitué de personnes en charge du management opérationnel des différents métiers du CNPE.

En 2022, l'arrêt de l'unité de production :

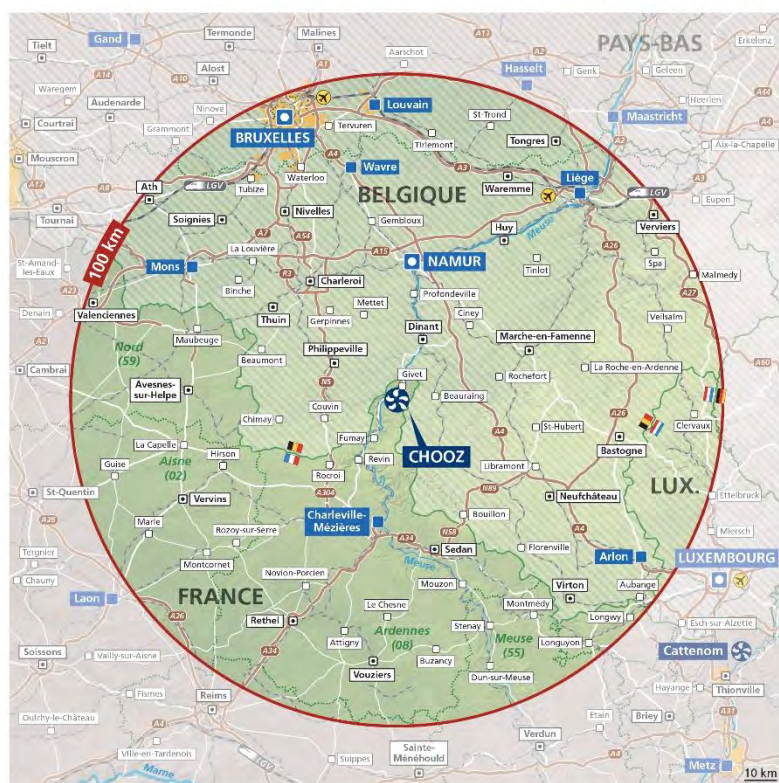
- n°2 a eu lieu du 16 décembre 2021 au 15 avril 2023 dans le but de réaliser des contrôles préventifs sur le circuit d'injection de sécurité RIS au niveau du circuit primaire (circuit fermé comprenant le combustible). Pendant cet arrêt, l'arrêt de type Visite Partielle (2VP19) a été réalisé pour maintenance,
- n°1 a eu lieu du 19 décembre 2021 au 10 mai 2023 dans le but de réaliser des contrôles préventifs sur le circuit d'injection de sécurité RIS au niveau du circuit primaire (circuit fermé comprenant le combustible). Pendant cet arrêt, l'arrêt de type Visite Partielle (1VP19) a été réalisé pour maintenance et remplacement d'une partie du combustible.

Depuis avril 2018, l'unité en déconstruction de Chooz A est placée sous la responsabilité d'un chef de structure en application d'une décision commune fixant l'organisation et les responsabilités pour l'exploitation de l'INB en déconstruction implantée sur le site de Chooz.

Le CNPE de Chooz emploie 769 salariés du groupe EDF et 250 salariés d'entreprises extérieures. Il fait appel à des intervenants supplémentaires – entre 600 et 2 000 – pour réaliser les travaux lors de chacun des arrêts pour maintenance des unités en fonctionnement.

Le site de Chooz A emploie 21 salariés du groupe EDF et une cinquantaine de salariés d'entreprises extérieures.

CENTRALE NUCLEAIRE DE CHOOZ (ARDENNES)



Les grandes villes et axes de communication



- Préfecture de région
(BELGIQUE : capitale et capitale de région / LUXEMBOURG : capitale)
- Préfecture départementale
(BELGIQUE : chef-lieu de province / PAYS-BAS : chef-lieu de province)
- Sous-préfecture
(BELGIQUE : chef-lieu d'arrondissement)
- Autre ville

III. Modifications apportées au voisinage du site de Chooz

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

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

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

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

– les valeurs seuils ou valeurs guides issues des textes réglementaires ou des grilles de qualité d'eau, les données écotoxicologiques, en particulier les PNEC (Predicted No Effect Concentration), et les études testant la toxicité et l'écotoxicité des effluents CRT (Chlore Résiduel Total), pour l'analyse des incidences sur l'environnement. A noter que les PNEC sont

validées par la R&D d'EDF après revue bibliographique exhaustive et, si nécessaire, réalisation de tests écotoxicologiques commandités par EDF et réalisés selon les normes OCDE et les Bonnes Pratiques de Laboratoire.

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

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

En janvier 2003, le CNPE de Chooz a été certifié, pour la première fois, ISO 14001. Le site en déconstruction de Chooz A a quant à lui obtenu sa première certification ISO 14001 en 2005. 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 et pour le site en déconstruction de Chooz A. Comme pour tous les sites industriels, les exigences environnementales fixées par le CNPE de Chooz et par le site en déconstruction de Chooz A 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 Chooz et du site en déconstruction de Chooz A. L'ensemble des salariés du CNPE et du site en déconstruction de Chooz A, 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 Chooz et le site en déconstruction de Chooz A 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 site de Chooz en 2022.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE 6 pour le CNPE de Chooz	12/12/2022	Rejet de 44,05 kg de fluide frigorigène de type R134A sur le groupe froid 1DEL001GF, conduisant au dépassement du cumul annuel de 100 kg (impact limité sur l'air au vu de la quantité de fluide frigorigène émise en 2022 (120 kg) proche du seuil de déclaration de 100 kg)	- Contrôler sur l'ensemble des groupes froids DEL le bon serrage au couple des liaisons corps/chapeau des vannes pressostatiques -SOLDE - Demander un amendement au PBMP (Programme de Base de Maintenance Préventive) PB1400DEL0200 indice 0 référence D455016067773 pour intégrer le contrôle du bon serrage au couple des liaisons corps/chapeau des vannes pressostatiques des Groupes Froids DEL. Echéance : 05/07/2023 - Remplacer les climatiseurs DVD des unités de production n° 1 et n° 2. SOLDE - Rajouter une TOT (Tâche Ordre de Travail) dans les OTR (Ordre de Travail Référence) de la requalification périodique des Groupes Froids DEL pour tracer et s'assurer de la reprise des raccords union situés en aval des vannes 3 voies des lignes de soupapes HP (Haute Pression) à la LOCTITE 2432. SOLDE - Demander à la SPN4 (Structure Palier N4) de formaliser dans les procédures et DSI (Dossier de Suivi Intervention), l'utilisation de la LOCTITE 2432 comme pâte d'étanchéité pour l'ensemble des raccords des groupes DEL. SOLDE - Informer l'ensemble des frigoristes, de la prescription d'utiliser de la LOCTITE 2432 sur tous les raccords des groupes froids DEL. SOLDE

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Chooz a eu, durant l'année 2022, des matériels indisponibles comme la perte de la retransmission des données des balises radimétriques (mesure du débit de dose) dans l'environnement, des réseaux clôture, 5 km et 10 km, et ce de manière intermittente, du 31/05/2022 au 24/08/2022 du fait de la défaillance d'un convertisseur de fréquence et de la problématique de connectique. Les données ont été récupérées, à posteriori, par un ordinateur au niveau de chaque sonde radimétrique. Aucune élévation de radioactivité d'origine artificielle n'a été détectée dans l'environnement.

Ces indisponibilités n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale.

Le CNPE de Chooz n'a pas connu, en 2022, de 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 du circuit secondaire 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.

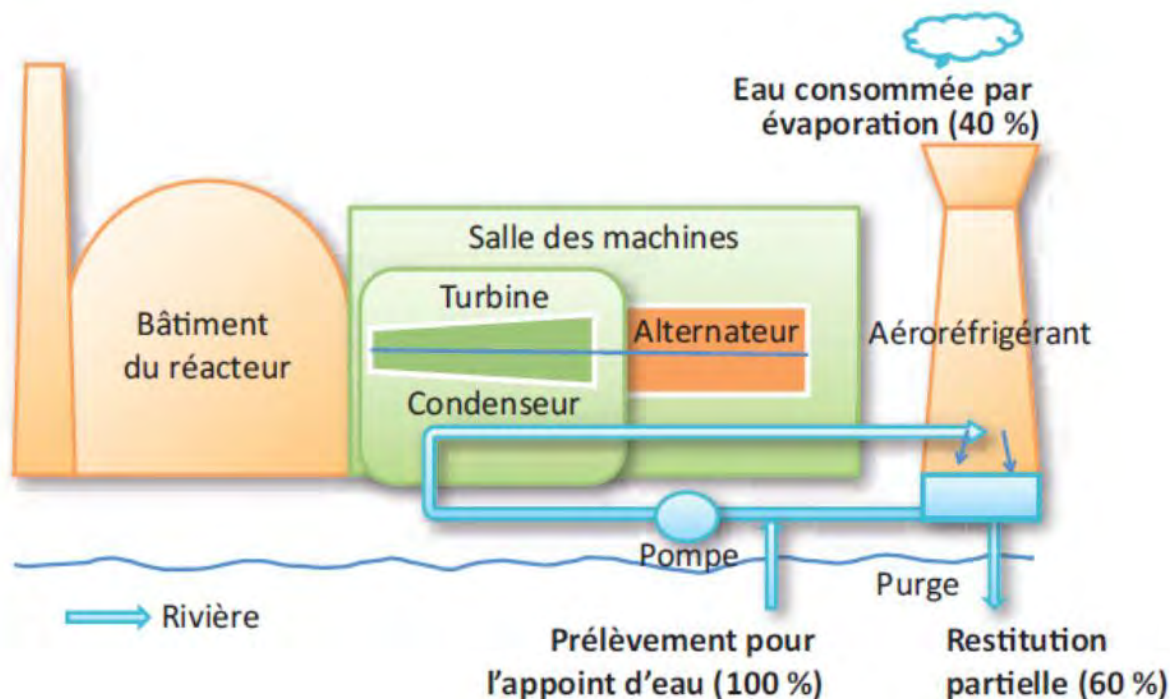


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement fermé (Source : EDF)

Annuellement, en moyenne, le volume d'eau nécessaire au fonctionnement du circuit de refroidissement d'un réacteur est compris entre 50 millions de m³ (si le refroidissement est assuré par un aéroréfrigérant) et 1 milliard de m³ (si l'eau est rejetée directement dans le milieu naturel) soit respectivement un besoin de 6 à 160 litres d'eau prélevés pour produire 1 kWh.

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement. Plus précisément, environ 60% de l'eau prélevée est restituée au fleuve pour les installations en circuit fermé, les 40% restant étant très majoritairement attribuable à l'évaporation d'eau au niveau des tours aéroréfrigérantes.

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

- faire face, si besoin, à un incendie : l'ensemble des CNPE d'EDF est équipé d'un important réseau d'eau sous pression permettant aux équipes des services de conduite et de la protection des CNPE d'EDF d'intervenir dès la détection d'un incendie jusqu'à

l'arrivée des secours externes, et ainsi en limiter sa propagation. Ces réseaux sont régulièrement testés afin de s'assurer de leur fonctionnement et de leur efficacité.

- se laver, boire et se restaurer : selon leur importance (de 2 à 6 réacteurs), les CNPE d'EDF accueillent de 600 à 2 000 salariés permanents (EDF et entreprises extérieures) auxquels s'ajoutent, lors d'un arrêt d'un réacteur pour maintenance, près de 1 000 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 reliées aux réseaux d'eau potable des communes sur lesquelles elles sont implantées.

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

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

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	15,6
Février	11,4
Mars	8,8
Avril	8,3
Mai	11,2
Juin	8,5
Juillet	10,8
Août	11,6
Septembre	7,6
Octobre	8,1
Novembre	7,8
Décembre	10
TOTAL	120

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

Le tableau suivant détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel de l'année 2022.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	0,06
Février	0,06
Mars	0,05
Avril	0,03
Mai	0,02
Juin	0,01
Juillet	0,02
Août	0,02
Septembre	0,03
Octobre	0,04
Novembre	0,03
Décembre	0,08
TOTAL	0,45

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destiné à l'usage domestique de l'année 2022.

	Prélèvement d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	3,1
Février	3,4
Mars	3,7
Avril	3,8
Mai	2,9
Juin	3,3
Juillet	2,7
Août	3,7
Septembre	3,2
Octobre	3,1
Novembre	3,8
Décembre	4
TOTAL	41

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

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

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

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2020	Eau douce superficielle (Meuse)	133 900
2021		139 800
2022		120 100
Prévisionnel 2022		145 000

Commentaires : Le volume annuel d'eau prélevé en Meuse est plus faible que le prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2022 de par l'évolution de la stratégie en lien avec l'aléa de corrosion sous contrainte des 2 unités de production.

Le circuit de refroidissement de CHOOZ A a été arrêté en décembre 1995, après l'évacuation du dernier élément combustible irradié. Le pompage servant, uniquement, à alimenter le réseau incendie a été arrêté le 15 janvier 2000. Le Site de CHOOZ A ne pompe donc plus d'eau dans la Meuse.

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés en 2022 avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n°2009-DC-0164.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement	Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	
Eau douce superficielle (Meuse)	Débit maximal instantané	7	5,9	m ³ / s
	Volume journalier	544 000	508 800	m ³
	Volume annuel	150 000 000	120 100 000*	m ³

* Correspond au volume annuel prélevé

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

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

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

A noter que dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu à la Centrale Nucléaire de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, en France, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'Îlot Nucléaire (cuves d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE de Chooz, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique. Le début des travaux et la première mise en exploitation est prévue dans les prochaines années.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Chooz n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans la Meuse en 2022.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	Unités
Restitution mensuelle	Janvier	15,6	0,002	0,05	millions de m ³
	Février	11,4	0,001	0,06	
	Mars	8,8	0,003	0,04	
	Avril	8,3	0,001	0,02	
	Mai	11,2	0,001	0,02	
	Juin	8,5	0,001	0,01	
	Juillet	10,8	0,001	0,01	
	Août	11,6	0	0,01	
	Septembre	7,6	0,001	0,02	
	Octobre	8,1	0,002	0,03	
	Novembre	7,8	0,001	0,02	
	Décembre	10	0,001	0,08	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	120			millions de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	99,9*			%

*en 2022, les 2 unités de production électrique étaient en arrêt toute l'année.

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 2022.

	Consommation d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	9,1
Février	5,6
Mars	9,5
Avril	8,8
Mai	6,8
Juin	6,6
Juillet	6,7
Août	13
Septembre	14
Octobre	15
Novembre	11
Décembre	8,8
TOTAL	115

2. Comparaison aux valeurs limites

Limite de la Fraction évaporée (m ³ /s)	Valeur maximale Fraction évaporée (m ³ /s)
2,1 en moyenne journalière	0
Les restrictions complémentaires suivantes s'appliquent : a) si la moyenne des débits journaliers de la Meuse, évaluée à l'aval du Site sur douze jours consécutifs, est comprise entre 20 et 22 m³/s, le débit évaporé pendant le treizième jour sera limité à cinq pour cent du débit moyen journalier du douzième jour b) si la moyenne des débits journaliers de la Meuse, évaluée à l'aval du Site sur douze jours consécutifs, est inférieure à 20 m³/s, le débit évaporé pendant le treizième jour sera nul c) sauf circonstance exceptionnelle dûment motivée, le débit évaporé sera nul lorsque le débit moyen journalier de la Meuse à l'aval du Site sera inférieur ou égal à 14 m³/s	Sans objet de par l'absence de fonctionnement des 2 unités de production en 2022

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

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

Optimisés, réduits, traités et surveillés, les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides génèrent une exposition des populations plus de 100 fois inférieure à la limite réglementaire d'exposition reçue par une personne du public fixée à 1 mSv/an dans l'article R1333-11 du code de la santé publique

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

Pour les unités de production en fonctionnement, il existe deux sources de rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère :

- Les effluents dits « hydrogénés » proviennent du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire. Afin d'éviter tout mélange avec l'oxygène de l'air, ces effluents hydrogénés sont collectés et stockés, au minimum 30 jours dans des réservoirs où une surveillance régulière est effectuée. Durant ce temps, la radioactivité décroît naturellement, ce qui réduit d'autant l'impact environnemental. Les effluents sont contrôlés avant leur rejet. Pendant leur rejet, ils subissent systématiquement des traitements tels que la filtration à Très Haute Efficacité (filtres THE) qui permet de retenir les poussières radioactives. Ces rejets occasionnels sont dits « concertés ».
- Les effluents dits « aérés » qui proviennent de la collecte des événements des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment du réacteur ainsi que de l'air de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire. La ventilation maintient les locaux en légère dépression par rapport à l'extérieur et évite ainsi les pertes de gaz ou de poussières contaminées vers l'environnement. Les opérations de dépressurisation de l'air du bâtiment réacteur conduisent à des rejets dits « concertés ». L'air de ventilation transite par des filtres THE et, dans certains circuits, sur des pièges à iodes à charbon actif avant d'être rejeté en continu à la cheminée. Ces rejets sont dits « permanents ».

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les

substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

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

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

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

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

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

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

Paramètres	Radionucléide
Gaz rares	⁴¹ Ar
	⁸⁵ Kr
	^{131m} Xe
	¹³³ Xe
	¹³⁵ Xe
Tritium	³ H
Carbone 14	¹⁴ C
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 métrologiste puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés. »

Pour les autres installations nucléaires du site (déconstruction notamment), le spectre de référence est rappelé ci-dessous.

Paramètres	Radionucléide
Tritium	^3H
Carbone 14	^{14}C
Produits de fission et d'activation	^{60}Co
	^{137}Cs
	^{55}Fe
	^{63}Ni
	^{90}Sr
	^{99}Tc

c. Cumul mensuel

Les cumuls mensuels des rejets d'effluents radioactifs pour les unités de production en fonctionnement à l'atmosphère sont donnés dans le tableau suivant.

	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	¹³² I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	^{110m} Ag (GBq)
Janvier	4,88 ^{E-3}	1,378	0,0184	17,72	6,711	1,13 ^{E-4}	6,45 ^{E-4}	0	3,73 ^{E-5}	8,76 ^{E-5}	3,55 ^{E-5}	3,54 ^{E-5}	0
Février	0	0,222	8,34 ^{E-3}	17,9	6,98	1,26 ^{E-4}	6,71 ^{E-4}	0	4,03 ^{E-5}	5,91 ^{E-5}	4,25 ^{E-5}	3,90 ^{E-5}	0
Mars	0	0	0	18,5	7,29	1,02 ^{E-4}	6,09 ^{E-4}	0	3,29 ^{E-5}	4,99 ^{E-5}	3,20 ^{E-5}	3,14 ^{E-5}	3,86 ^{E-5}
Avril	0	0	0	14,47	5,805	9,52 ^{E-5}	5,04 ^{E-4}	0	3,49 ^{E-5}	6,08 ^{E-5}	3,10 ^{E-5}	3,08 ^{E-5}	4,32 ^{E-5}
Mai	0	0,988	1,90 ^{E-3}	15,87	6,257	1,08 ^{E-4}	5,39 ^{E-4}	0	3,17 ^{E-5}	4,42 ^{E-5}	3,25 ^{E-5}	3,11 ^{E-5}	0
Juin	0	0,0169	5,70 ^{E-4}	15,48	6,14	1,19 ^{E-4}	5,30 ^{E-4}	0	3,12 ^{E-5}	4,10 ^{E-5}	3,27 ^{E-5}	3,00 ^{E-5}	0
Juillet	0	4,69 ^{E-3}	5,76 ^{E-4}	15,37	5,783	4,32 ^{E-4}	5,13 ^{E-4}	0	2,81 ^{E-5}	3,98 ^{E-5}	2,89 ^{E-5}	2,93 ^{E-5}	0
Août	0	4,16 ^{E-3}	5,54 ^{E-4}	18,63	7,613	1,14 ^{E-4}	5,20 ^{E-4}	0	3,11 ^{E-5}	4,38 ^{E-5}	3,28 ^{E-5}	2,99 ^{E-5}	0
Septembre	0	0	0	17,72	7,139	1,56 ^{E-4}	5,58 ^{E-4}	0	3,345 ^{E-5}	4,42 ^{E-5}	3,68 ^{E-5}	3,56 ^{E-5}	0
Octobre	0	0,787	9,13 ^{E-4}	17,60	7,086	1,51 ^{E-4}	8,11 ^{E-4}	0	3,164 ^{E-5}	4,56 ^{E-5}	3,46 ^{E-5}	3,34 ^{E-5}	0
Novembre	0	0	0	18,96	7,525	1,23 ^{E-4}	6,42 ^{E-4}	0	3,760 ^{E-5}	5,33 ^{E-5}	3,89 ^{E-5}	3,71 ^{E-5}	0
Décembre	0	0,345	8,56 ^{E-4}	18,40	7,463	1,22 ^{E-4}	8,25 ^{E-4}	0	3,633 ^{E-5}	5,44 ^{E-5}	3,82 ^{E-5}	3,92 ^{E-5}	0
TOTAL ANNUEL	4,88^{E-3}	3,75	0,0321	207	81,8	1,76^{E-3}	7,37^{E-3}	0	4,06^{E-4}	6,24^{E-4}	4,16^{E-4}	4,02^{E-4}	8,18^{E-5}

	Volumes rejetés (m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,58 ^{E8}	25,83	61,30	85,16	7,576 ^{E-4}	1,957 ^{E-4}
Février	3,49 ^{E8}	25,08	98,89		7,962 ^{E-4}	1,809 ^{E-4}
Mars	3,11 ^{E8}	25,78	73,20		7,110 ^{E-4}	1,848 ^{E-4}
Avril	2,97 ^{E8}	20,28	62,80	31,02	5,991 ^{E-4}	2,007 ^{E-4}
Mai	3,31 ^{E8}	23,11	91,94		6,463 ^{E-4}	1,396 ^{E-4}
Juin	3,28 ^{E8}	21,63	95,71		6,487 ^{E-4}	1,349 ^{E-4}
Juillet	3,23 ^{E8}	21,16	103,2	12,69	9,451 ^{E-4}	1,260 ^{E-4}
Août	3,50 ^{E8}	26,25	65,54		6,344 ^{E-4}	1,375 ^{E-4}
Septembre	3,71 ^{E8}	24,86	47,96		7,139 ^{E-4}	1,500 ^{E-4}
Octobre	3,71 ^{E8}	25,48	38,48	6,021	9,620 ^{E-4}	1,453 ^{E-4}
Novembre	3,96 ^{E8}	26,49	42,90		7,655 ^{E-4}	1,670 ^{E-4}
Décembre	3,85 ^{E8}	26,21	69,32		9,475 ^{E-4}	1,682 ^{E-4}
TOTAL ANNUEL	4,17^{E9}	292	851	135	9,13^{E-3}	1,93^{E-3}

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

Il a été vérifié que les rejets au niveau des cheminées annexes ne présentent pas d'activité volumique bêta globale d'origine artificielle supérieure à 0,001 Bq/m³.

Pour les autres installations nucléaires du site (déconstruction notamment), les cumuls mensuels sont donnés dans le tableau suivant.

	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵⁵ Fe (GBq)	⁶³ Ni (GBq)	⁹⁰ Sr (GBq)	⁹⁹ Tc (GBq)
Janvier	5,54 ^{E-6}	4,56 ^{E-6}	0	9,23 ^{E-6}	1,26 ^{E-6}	1,26 ^{E-6}
Février	6,74 ^{E-6}	4,92 ^{E-6}	0	1,01 ^{E-5}	1,67 ^{E-6}	1,68 ^{E-6}
Mars	7,17 ^{E-6}	4,95 ^{E-6}	0	1,12 ^{E-5}	1,92 ^{E-6}	2,64 ^{E-6}
Avril	6,64 ^{E-6}	4,37 ^{E-6}	0	1,10 ^{E-5}	9,48 ^{E-7}	2,13 ^{E-6}
Mai	6,70 ^{E-6}	4,98 ^{E-6}	0	2,76 ^{E-5}	1,90 ^{E-6}	1,28 ^{E-5}
Juin	5,98 ^{E-6}	4,42 ^{E-6}	0	2,64 ^{E-5}	2,64 ^{E-6}	9,68 ^{E-6}
Juillet	6,40 ^{E-6}	4,90 ^{E-6}	0	2,43 ^{E-5}	1,91 ^{E-6}	2,86 ^{E-6}
Août	6,49 ^{E-6}	4,75 ^{E-6}	0	2,29 ^{E-5}	1,89 ^{E-6}	3,78 ^{E-6}
Septembre	5,94 ^{E-6}	4,16 ^{E-6}	0	2,88 ^{E-5}	2,88 ^{E-6}	2,88 ^{E-6}
Octobre	6,43 ^{E-6}	4,63 ^{E-6}	0	2,30 ^{E-5}	2,26 ^{E-6}	2,26 ^{E-6}
Novembre	5,41 ^{E-6}	4,19 ^{E-6}	0	2,59 ^{E-5}	1,79 ^{E-6}	4,46 ^{E-6}
Décembre	5,46 ^{E-6}	4,37 ^{E-6}	0	3,10 ^{E-5}	1,79 ^{E-6}	5,38 ^{E-6}
TOTAL ANNUEL	7,49^{E-5}	5,52^{E-5}	0	2,51^{E-4}	2,28^{E-5}	5,18^{E-5}

	Volumes rejetés (m³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Autres PF et PA avec béta purs (GBq)
Janvier	4,05E+7	0,08529	0,217	2,18E-5
Février	4,18E+7	0,07951		2,51E-5
Mars	4,62E+7	0,08069		2,79E-5
Avril	4,41E+7	0,08350	0,0124	2,51E-5
Mai	4,63E+7	0,08819		5,39E-5
Juin	4,03E+7	0,07568		4,91E-5
Juillet	4,70E+7	0,09367	0,0366	4,04E-5
Août	4,64E+7	0,09102		3,98E-5
Septembre	4,22E+7	0,08382		4,46E-5
Octobre	4,14E+7	0,07446	0,0132	3,86E-5
Novembre	3,87E+7	0,06841		4,18E-5
Décembre	3,99E+7	0,05885		4,8E-5
TOTAL ANNUEL	5,1E8	0,963	0,279	4,56E-4

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 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les unités de production en fonctionnement.

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2020	1 620	555	193	4,13E-2	3,59E-3
2021	2 676	634	165	8,57E-2	2,16E-3
2022	292	851	135	9,13E-3	1,93E-3
Prévisionnel 2022	400	800	200	2E-2	4E-3

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022 pour les gaz rares, le tritium et le Carbone 14.

Le prévisionnel 2022 en iodes gazeux de 0,02 GBq est plus élevé que le rejet réel en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production non prévu au moment de l'élaboration du prévisionnel.

Le prévisionnel 2022 en Autres produits de fission et d'activation de 0,004 GBq est supérieur au rejet réel en raison de l'année atypique avec un arrêt des 2 unités de production électrique toute l'année.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les autres installations (déconstruction notamment).

Installation	Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)		
		Tritium	Carbone 14	Autres produits de fission et d'activation
Chooz A	2020	1,69	0,49	0,000456
	2021	1,23	0,21	0,000369
	2022	0,963	0,279	0,000456
	Prévisionnel 2022	3	4	0,002

Commentaires : Les rejets radioactifs atmosphériques de Chooz A en 2022 sont inférieurs d'un ordre de grandeur pour le Carbone 14 et les Autres Produits de Fission et d'Activation (PF/PA). Concernant le Tritium, au vu de l'écart observé entre le bilan et le prévisionnel, il est considéré que ces deux derniers sont du même ordre de grandeur.

Le prévisionnel 2022 a été établi à partir du retour d'expérience des rejets d'effluents générés par l'exploitation quotidienne du site et des estimations théoriques des rejets pour le démantèlement de la cuve HR et des casemates HK.

Ainsi, une surestimation de l'avancement de ces opérations de démantèlement conduit à une surestimation des rejets (en particulier sur les Autres PF/PA et le Carbone 14) dans le prévisionnel par rapport au bilan. À noter que l'avancement annuel de ces opérations est estimé de manière enveloppe et se veut majorant.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau suivant permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	25 000	292*
	Cheminée n° 1	Débit moyen journalier (Bq/s)	$9.10^{6(1)}$	$5,48^E5$
	Cheminée n° 2	Débit moyen journalier (Bq/s)	$9.10^{6(1)}$	$4,03^E5$
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1 400	135*
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	5 000	851*
	Cheminée n° 1	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	$9,7.10^5$	$2,75^E4$
	Cheminée n° 2	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	$9,7.10^5$	$4,57^E4$
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,8	0,00913*
	Cheminée n° 1	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	$100^{(2)}$	0,564
	Cheminée n° 2	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	$100^{(2)}$	0,333
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	0,00193*
	Cheminée n° 1	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	97	0,134
	Cheminée n° 2	Débit moyen sur chaque période** (Bq/s)	97	0,0835

* Correspond à l'activité annuelle rejetée

** période = du 1^{er} au 7, du 8 au 14, du 15 au 21, du 22 à la fin du mois

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2009-DC-0165. Les débits moyens ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2009-DC-0165 tout au long de l'année 2022.

Le tableau suivant permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour les autres installations (déconstruction notamment).

¹ Ce débit d'activité peut être dépassé, sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du Site ne dépasse $1,8.10^7$ Bq/s

² Ce débit d'activité peut être dépassé, sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du Site ne dépasse 2.10^2 Bq/s.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	100*	0,279**
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	100	0,963**
	Cheminée de Chooz A	Débit moyen sur chaque période*** (Bq/s)	6.10^4	38,2
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,02****	0,000456**
	Cheminée de Chooz A	Débit moyen mensuel (Bq/s)	5	0,00652

*étape 1 avec démantèlement de la cuve

** Correspond à l'activité annuelle rejetée

*** période = du 1er au 7, du 8 au 14, du 15 au 21, du 22 à la fin du mois

****étape 1 avec opérations de démantèlement des casemates de la caverne des auxiliaires (HK)

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2009-DC-0165. Les débits moyens ont respecté les valeurs de la décision ASN n°ASN-DC-0165 tout au long de l'année 2022.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

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

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

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

	Volume (m ³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	1,38 ^{E4}	0	0	2,376 ^{E7}	0
Février	9,47 ^{E3}	0	0	1,391 ^{E7}	0
Mars	1,36 ^{E4}	0	0	1,403 ^{E7}	0
Avril	7,68 ^{E3}	0	0	3,227 ^{E6}	0
Mai	5,85 ^{E3}	0	0	5,997 ^{E6}	0
Juin	6,16 ^{E2}	0	0	1,336 ^{E6}	0
Juillet	1,99 ^{E3}	0	0	9,581 ^{E5}	0
Août	0	0	0	0	0
Septembre	7,73 ^{E3}	0	0	2,790 ^{E5}	0
Octobre	7,78 ^{E3}	0	0	5,835 ^{E5}	0
Novembre	1,09 ^{E4}	0	0	4,716 ^{E5}	0
Décembre	3,05 ^{E4}	0	0	7,388 ^{E5}	0
TOTAL ANNUEL	1,099^{E5}	0	0	6,53^{E7}	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 comme le SO₂ 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 sur les unités de production pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

a. Rejets d'oxyde de soufre

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 250 heures, de la turbine à combustion (TAC) ayant fonctionné pendant 53 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 115 heures, au total sur les 2 unités de production pour 2022 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes TAC DUS
SOx	kg	5

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2022, le renouvellement de calorifuges dans l'enceinte du bâtiment réacteur n°1 et n°2 lors des arrêts de type Visite Partielle (maintenance et rechargement) ont eu lieu mais aucun réacteur n'a démarré en 2022. De ce fait, aucune émission de formaldéhyde, ni de monoxyde de carbone issue des calorifuges neufs dans les bâtiments réacteur n'a eu lieu en 2022.

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	0	0
		Monoxyde de carbone	0	0

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		Limite annuelle de rejet	TOTAL
Ammoniac	kg	Unité de production n°1	80 / unité de production	0
		Unité de production n°2		0
Ethanolamine		Unité de production n°1	-	0
		Unité de production n°2		0

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 site de Chooz.

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
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	123	181
Hexafluorure de soufre (SF6)	13,6	342
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO ₂		523

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2022, les émissions liées à cette activité représentent 786 tonnes équivalent CO₂.

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

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée). Aucune intervention ou opération de maintenance anticipée majeure n'a été nécessaire.

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

Le CNPE de Chooz n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2022.

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur...).

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

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquides ou atmosphériques). Ces rejets sont constitués d'une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Cette liste a été déterminée par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les

substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

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

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

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

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

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

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

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

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

Pour les autres installations (déconstruction notamment), le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence.

Paramètres	Radionucléide
Tritium	H ³
Carbone 14	C ¹⁴
Produits de fission et d'activation	⁶³ Ni
	⁶⁰ Co
	¹³⁷ Cs
	⁵⁵ Fe
	⁹⁰ Sr
	⁹⁹ Tc

c. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets d'effluents radioactifs liquides pour les unités de production en fonctionnement est donné dans le tableau suivant :

	¹³¹ I (GBq)	⁵⁴ Mn (GBq)	⁶³ Ni (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	^{110m} Ag (GBq)	^{123m} Te (GBq)	¹²⁴ Sb (GBq)	¹²⁵ Sb (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	2,806 ^{E-4}	3,522 ^{E-4}	1,50 ^{E-3}	3,341 ^{E-4}	9,298 ^{E-3}	9,189 ^{E-4}	2,392 ^{E-4}	2,852 ^{E-4}	8,031 ^{E-4}	3,123 ^{E-4}	4,150 ^{E-4}
Février	1,282 ^{E-4}	1,550 ^{E-4}	6,56 ^{E-4}	1,500 ^{E-4}	2,360 ^{E-3}	1,750 ^{E-4}	1,020 ^{E-4}	1,310 ^{E-4}	3,610 ^{E-4}	1,450 ^{E-4}	1,630 ^{E-4}
Mars	5,036 ^{E-4}	9,770 ^{E-4}	2,81 ^{E-3}	6,059 ^{E-4}	2,282 ^{E-2}	1,532 ^{E-3}	3,938 ^{E-4}	5,489 ^{E-4}	1,448 ^{E-3}	7,326 ^{E-4}	2,074 ^{E-3}
Avril	2,804 ^{E-4}	1,627 ^{E-3}	2,00 ^{E-3}	1,754 ^{E-3}	3,461 ^{E-2}	2,349 ^{E-3}	2,135 ^{E-4}	2,940 ^{E-4}	7,642 ^{E-4}	4,046 ^{E-4}	7,340 ^{E-4}
Mai	2,419 ^{E-4}	5,581 ^{E-4}	1,58 ^{E-3}	2,996 ^{E-4}	1,337 ^{E-2}	1,397 ^{E-3}	1,976 ^{E-4}	2,806 ^{E-4}	7,212 ^{E-4}	2,861 ^{E-4}	5,116 ^{E-4}
Juin	1,430 ^{E-4}	5,543 ^{E-4}	2,16 ^{E-3}	1,070 ^{E-3}	6,779 ^{E-3}	6,957 ^{E-3}	1,025 ^{E-4}	1,519 ^{E-4}	4,401 ^{E-4}	1,523 ^{E-4}	2,081 ^{E-4}
Juillet	1,403 ^{E-4}	4,070 ^{E-4}	6,95 ^{E-4}	1,858 ^{E-4}	8,380 ^{E-3}	2,654 ^{E-3}	9,948 ^{E-5}	1,365 ^{E-4}	4,171 ^{E-4}	1,542 ^{E-4}	3,261 ^{E-4}
Août	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septembre	2,457 ^{E-4}	4,601 ^{E-4}	3,72 ^{E-3}	3,233 ^{E-4}	1,413 ^{E-2}	1,689 ^{E-3}	1,969 ^{E-4}	2,795 ^{E-4}	7,078 ^{E-4}	3,06 ^{E-4}	1,081 ^{E-3}
Octobre	3,708 ^{E-4}	4,891 ^{E-4}	2,11 ^{E-3}	4,273 ^{E-4}	1,562 ^{E-2}	8,705 ^{E-4}	2,881 ^{E-4}	3,89 ^{E-4}	1,042 ^{E-3}	5,595 ^{E-4}	4,94 ^{E-4}
Novembre	2,533 ^{E-4}	2,938 ^{E-4}	1,57 ^{E-3}	2,667 ^{E-4}	8,056 ^{E-3}	4,24 ^{E-4}	1,975 ^{E-4}	2,583 ^{E-4}	7,374 ^{E-4}	2,747 ^{E-4}	5,11 ^{E-4}
Décembre	2,754 ^{E-4}	5,912 ^{E-4}	1,78 ^{E-3}	3,167 ^{E-4}	1,456 ^{E-2}	1,39 ^{E-3}	2,118 ^{E-4}	3,05 ^{E-4}	8,204 ^{E-4}	6,206 ^{E-4}	1,107 ^{E-3}
TOTAL ANNUEL	2,86^{E-3}	6,47^{E-3}	2,06^{E-2}	5,73^{E-3}	0,15	0,0204	2,24^{E-3}	3,06^{E-3}	8,26^{E-3}	3,95^{E-3}	7,62^{E-3}

	Volumes rejetés (m³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	1 500	1 640	0,53	0,000281	0,0145
Février	656	1 233	1,22	0,000128	0,0044
Mars	2 560	1 188	0,44	0,000504	0,034
Avril	1 250	276,6	0,06	0,000280	0,0448
Mai	1 300	530,7	0,14	0,000242	0,0192
Juin	616	114,3	0,05	0,000143	0,0186
Juillet	632	83,14	0,05	0,000140	0,0135
Août	0	0	0	0	0
Septembre	1 280	24,36	0,05	0,000246	0,0229
Octobre	1 920	50,94	0,07	0,000371	0,0223
Novembre	1 290	41,25	0,05	0,000253	0,0126
Décembre	1 340	65,94	0,07	0,000275	0,0217
TOTAL ANNUEL	14 344	5 248	2,73	0,00286	0,228

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

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

	⁶³ Ni (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵⁵ Fe (GBq)	⁹⁰ Sr (GBq)	⁹⁹ Tc (GBq)
Janvier	4,11E-3	2,221E-4	7,658E-3	0	5,26E-4	0
Février	1,94E-3	1,810E-4	3,790E-3	0	1,23E-4	0
Mars	7,77E-3	4,850E-4	3,804E-3	0	1,58E-3	0
Avril	2,76E-2	7,069E-4	7,061E-3	0	8,23E-3	0
Mai	1,27E-2	4,229E-4	4,118E-3	0	2,51E-3	0
Juin	2,23E-3	1,393E-4	2,982E-3	0	3,90E-4	0
Juillet	1,8E-3	2,413E-4	1,250E-2	0	3,75E-4	0
Août	0	0	0	0	0	0
Septembre	1,27E-3	1,475E-4	1,596E-2	0	3,33E-4	0
Octobre	9,92E-4	1,108E-4	2,963E-2	0	4,54E-4	0
Novembre	3,03E-4	6,155E-5	1,545E-2	0	2,72E-4	0
Décembre	8,23E-4	5,999E-5	2,561E-2	0	0	0
TOTAL ANNUEL	0,0615	2,78E-3	0,129	0	1,48E-2	0

	Volumes rejetés (m³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	822	0,03046	0,0321	0,0125
Février	588	0,0206	0,0317	0,00603
Mars	589	0,02816	0,0273	0,0136
Avril	588	0,06821	0,0255	0,0436
Mai	353	0,03321	0,0146	0,0198
Juin	305	0,01577	0,0115	0,00574
Juillet	354	0,0681	0,0188	0,0149
Août	0	0	0	0
Septembre	469	0,04267	0,0196	0,0177
Octobre	354	0,03471	0,0126	0,0312
Novembre	235	0,01689	0,0086	0,0161
Décembre	235	0,01949	0,0089	0,0265
TOTAL ANNUEL	4 892	0,378	0,211	0,208

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

Commentaires : En 2022, il n'y a pas de tritium avec une activité volumique comprise entre 400 et 4 000 Bq/L dans les rejets en provenance des réservoirs Ex, ni d'activité bêta globale (hors ⁴⁰K et tritium) supérieure à 4 Bq/L.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides			
	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (MBq)
2020	3,29 ^E 4	12,95	6,04	569
2021	3,98 ^E 4	15	30,7	741
2022	5 248	2,73	2,86	228
Prévisionnel 2022	2 ^E 4	20	10	400

Commentaires : Le prévisionnel de rejet de chaque radionucléide est plus important que le rejet réel en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production non prévu au moment de l'élaboration du prévisionnel.

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

Installation	Année	Rejets par catégorie de radionucléides		
		Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)	Autres PA et PF (MBq)
Chooz A	2020	0,388	0,217	208
	2021	0,586	0,324	363
	2022	0,378	0,211	208
	Prévisionnel 2022	6	0,9	500

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides de Chooz A en 2022 sont cohérents avec le prévisionnel pour le Carbone et les Autres PF/PA et inférieurs d'un ordre de grandeur pour le Tritium.

Le prévisionnel 2022 des rejets radioactifs liquides de Chooz A est établi à partir du retour d'expérience des rejets d'effluents générés par l'exploitation quotidienne du site et de l'estimation théorique des rejets de la vidange de la piscine. Cette opération a été reportée en 2023, ce qui explique l'écart au prévisionnel pour le Tritium.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour les unités de production en fonctionnement.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur annuelle (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	90 000	5 248
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	190	2,73
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	0,00286
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	5	0,228

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour les autres installations.

		Limites annuelles de rejet		Rejet
Installation	Paramètres	Prescriptions	Valeur	Valeur annuelle (GBq)
Chooz A	Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	100	0,378
	Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	80	0,211
	Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	5	0,208

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour l'ensemble du site.

		Limites annuelles de rejet		Rejet
Paramètres	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale en valeur moyenne sur 24 heures (Bq/s)	
Tritium	Débit d'activité	1,94 ^{E7}	7,58 ^{E6}	
Iodes	Débit d'activité	8,1 ^{E3}	1,32	
Autres PA et PF	Débit d'activité	5,67 ^{E4}	285	

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux de surface

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

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs maximales).

	Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet		Activité volumique : moyenne journalière	
		Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,49 Bq/L	2 Bq/L	-	-
	Tritium	64,1 Bq/L	280 Bq/L	60,2 Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	4,6 mg/L	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,095 Bq/L	-	-	-

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

Commentaires : Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 2022 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE. Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont très inférieures aux limites réglementaires.

g. Contrôle d'absence de radioactivité dans le réseau d'eaux pluviales

Les résultats des mesures réalisées sur les prélèvements dans le réseau d'eaux pluviales pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant pour les unités de production en fonctionnement.

	Paramètre analysé	Valeur maximale mesurée en 2022
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,452 Bq/L
	Tritium	7,3 Bq/L
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,291 Bq/L

Commentaires : rien à signaler

Les résultats des mesures réalisées sur les prélèvements dans le réseau d'eaux pluviales pour l'année 2022 sont donnés dans le tableau suivant pour les autres installations.

	Paramètre analysé	Valeur maximale mesurée en 2022
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,344 Bq/L
	Tritium	6,52 Bq/L
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,385 Bq/L

Commentaires : rien à signaler

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les principales substances utilisées sont :

- L'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- La lithine ($LiOH$) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- L'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- La morpholine (C_4H_9NO), l'éthanolamine (C_2H_7NO) et l'ammoniaque (NH_4OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir

compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine (C_2H_7NO), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sécheurs-surchauffeurs de la turbine.

- Le phosphate trisodique (Na_3PO_4) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- Les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

Les autres rejets chimiques réglementés ont pour origine l'installation de production d'eau déminéralisée, le traitement des eaux vannes et usées, dans les stations 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, un traitement contre le tartre et un traitement biocide sont 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 de 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).

Les autres installations nucléaires (démantèlement notamment) peuvent rejeter des effluents chimiques selon les procédés utilisés.

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

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

- L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.
- Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.

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

Rappelons que, l'éthanolamine est utilisée sur CHOOZ B depuis le 2 août 2018 sur les 2 unités de production.

b. Règles spécifiques de comptabilisation

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

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet principal : réservoirs T, S et Ex de Chooz B

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet principal issus des réservoirs T, S et Ex est donné dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Azote (kg)	Phosphates (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	258	5,52	0,044	/	0,375	27	10,5	54,6	121
Février	83	0,237	0,026	/	0,164	16	17,5	36,7	54,6
Mars	57	0,338	0,061	/	0,639	19	10,4	76,8	193
Avril	232	0,192	0,019	/	0,313	10	14,5	29,5	53,5
Mai	6	0,146	0,017	/	0,497	8	10,4	17,7	28,3
Juin	45	0,0154	0,002	/	0,154	0	4,4	10,6	140
Juillet	37	0,0498	0,005	/	0,338	0	38,6	25,6	36,1
Août	0	0	0	/	0	0	0	0	0
Septembre	10	0,193	0,025	/	1,13	6	76,4	122	172
Octobre	11	0,195	0,02	/	0,48	3	18,3	28,1	23,3
Novembre	12	0,273	0,027	/	0,322	15	13,9	136	144
Décembre	22	2,45	0,078	/	0,5	74	13,5	450	195
TOTAL ANNUEL	773	9,61	0,324	0,3	4,91	178	228	988	1 161

pas de surveillance demandée sur le sodium issu des réservoirs T, S et Ex au vu des faibles quantités rejetées

	Ammonium (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)
Janvier	7,77	2	90,5
Février	4,33	2,36	50,4
Mars	3,21	1,95	71,6
Avril	0,927	0,192	42,4
Mai	4,48	0,273	19,5
Juin	0,0862	0,24	0,308
Juillet	0,0498	0,0498	1,5
Août	0	0	0
Septembre	5,52	0,881	5,51
Octobre	1,59	0,557	6,7
Novembre	0,364	0,411	66,2
Décembre	7,06	7,55	291
TOTAL ANNUEL	35,4	16,5	646

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactifs liquides de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les unités de production en fonctionnement.

Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Acide borique	kg	2 428	5 817	773	6 000
Ethanolamine	kg	17,2	8,9	9,61	7
Hydrazine	kg	1,08	0,67	0,324	1
Lithine	kg	2,1	2,4	0,3	/
Détergents	kg	11	6,6	4,91	7
Azote	kg	1 817	2 012	178	1 200
Phosphates	kg	297	245	228	300
MES	kg	439	451	988	/
DCO	kg	718	993	1 161	/

pas de surveillance demandée sur le sodium issu des réservoirs T, S et Ex au vu des faibles quantités rejetées

Commentaires : Les rejets en acide borique, en hydrazine, en lithine et en azote sont plus faibles que les années antérieures en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production.

Le prévisionnel de rejet en acide borique, en hydrazine et en azote pour 2022 est plus élevé que le rejet réel en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production non prévu au moment de l'élaboration du prévisionnel.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour les unités de production en fonctionnement.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	Concentration maximale ajoutée (mg/l)	Valeur maximale calculée (mg/l)	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale calculée	Flux 2h ajouté (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Acide borique	80	0,6	3 700	200	310	20	16 600	773
Ethanolamine	1,9	0,03	10	2,7	/		590	9,61
Hydrazine	0,21	0,0002	1	0,01	/		25	0,324
Détergents	2,5	0,0013	115	0,35	10	0,028	2 200	4,91
Azote	Rejet concomitant voir § f ci-dessous		68	4	/		3 230	178
Phosphates	12,9	0,9	61	38	50	22	620	228
MES	11	0,3	111	26	/		/	
DCO	8,9	0,2	120	56	/		/	

pas de surveillance demandée sur le sodium issu des réservoirs T, S et Ex au vu des faibles quantités rejetées

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée sans limite de rejet associé.

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2009-DC-0165.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet de Chooz A : réservoirs T

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet de Chooz A issus des réservoirs T est donné dans le tableau suivant :

	Métaux totaux (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	0,304	2,45	5,6
Février	0,164	1,2	1,75
Mars	0,269	1,95	1,75
Avril	0,15	0,6	3,65
Mai	0,0752	0,706	2,12
Juin	0,0363	0,309	0,91
Juillet	0,066	0,36	1,05
Août	0	0	0
Septembre	0,044	0,48	1,4
Octobre	0,033	0,36	1,06
Novembre	0,024	0,24	0,7
Décembre	0,026	0,24	0,71
TOTAL ANNUEL	1,19	8,9	20,7

Les effluents des réservoirs T de CHOOZ A ne contiennent pas d'effluents de décontamination ou de vidange de piscine, la mesure du sodium et des sulfates n'est pas nécessaire.

	Al (kg)	Cr (kg)	Cu (kg)	Fe (kg)	Mn (kg)	Ni (kg)	Pb (kg)	Zn (kg)
Janvier	0,141	0,0021	0,0021	0,13	0,009	0,0068	0,00082	0,009
Février	0,0676	0,0015	0,0015	0,077	0,004	0,0042	0,00059	0,0059
Mars	0,133	0,0015	0,0082	0,11	0,0047	0,0048	0,00059	0,0071
Avril	0,0629	0,0015	0,0015	0,067	0,0031	0,0041	0,00059	0,0076
Mai	0,03	0,00088	0,00088	0,037	0,00088	0,002	0,00035	0,0028
Juin	0,0195	0,00076	0,00076	0,011	0,00076	0,0015	0,00031	0,0015
Juillet	0,0563	0,00089	0,00089	0,00044	0,00089	0,00089	0,00035	0,00089
Août	0	0	0	0	0	0	0	0
Septembre	0,0305	0,0012	0,0012	0,00059	0,0012	0,0012	0,00047	0,0012
Octobre	0,022	0,00089	0,00089	0,0044	0,0018	0,00089	0,00035	0,00089
Novembre	0,0127	0,00059	0,00059	0,0073	0,0018	0,00059	0,00024	0,00059
Décembre	0,0106	0,00059	0,00059	0,01	0,0016	0,00059	0,00075	0,00059
TOTAL ANNUEL	0,59	0,012	0,019	0,46	0,03	0,03	0,005	0,04

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents non radioactifs liquides de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022 pour les autres installations.

Installation	Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Chooz A	Métaux totaux	kg	2,4	3,8	1,19	3
	MES	kg	6	25	8,9	/
	DCO	kg	16	33	20,7	/

Les effluents des réservoirs T de CHOOZ A ne contiennent pas d'effluents de décontamination ou de vidange de piscine, la mesure du sodium et des sulfates n'est pas nécessaire.

Commentaires : Les rejets chimiques liquides de Chooz A sont cohérents avec le prévisionnel 2022.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165 pour les autres installations.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Substances	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Métaux totaux	1,1	0,054	13	1,19

Commentaires : Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de la décision ASN n° 2009-DC-0165.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet principal : traitement biocide

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées au traitement biocide du CNPE de Chooz.

En 2022, aucun traitement biocide n'a été mis en œuvre du fait du non-fonctionnement des 2 unités de production électrique toute l'année.

i. Cumul mensuel

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

	Chlorures	Sodium	AOX (kg)	THM (kg)	CRT (kg)	Ammonium (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)	Chlore libre (si chloration massive) (kg)	Sulfates (si chloration massive) (kg)
Janvier	Rejet concomitant voir § f ci-dessous		0	Pas de chloration massive en 2022	0	0	0	0	Pas de chloration massive en 2022	
Février			0		0	0	0	0		
Mars			0		0	0	0	0		
Avril			0		0	0	0	0		
Mai			0		0	0	0	0		
Juin			0		0	0	0	0		
Juillet			0		0	0	0	0		
Août			0		0	0	0	0		
Septembre			0		0	0	0	0		
Octobre			0		0	0	0	0		
Novembre			0		0	0	0	0		
Décembre			0		0	0	0	0		
TOTAL ANNUEL			0		0	0	0	0		

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques liées au traitement biocide sont réglementées par la décision n°2009-DC-0165.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

Paramètres	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
AOX	kg	100	146	0	100
CRT	kg	366	262	0	200
Ammonium	kg	319	174	0	200
Nitrites	kg	522	586	0	600
Nitrates	kg	42 699	52 652	0	30 000

Commentaires : Les rejets des substances chimiques liées au traitement biocide sont inférieurs aux valeurs du prévisionnel 2022 du fait de l'absence de traitement biocide en 2022 en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production non prévu au moment de l'élaboration du prévisionnel.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau suivant permet un comparatif des valeurs de rejets relatifs au traitement biocide à la monochloramine avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2009-DC-0165.

Paramètres	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux 2h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel ajouté (kg)
AOX	0,06	0	13	0	/		1 750	0
THM	0,04	Pas de chloration massive en 2022	1,5	Pas de chloration massive en 2022	0,54	Pas de chloration massive en 2022	/	
CRT	0,2	0	45	0	/		2 700	0
Ammonium	Rejet concomitant voir § f ci-dessous		36	0	/		/	
Nitrites			35*	0	/		/	
Nitrates			1 600	0	/		/	
Chlore libre (si chloration massive)	0,1	Pas de chloration massive en 2022	/		/		/	

* Lors de la période de traitement à la monochloramine, 20 % des flux 24 heures en nitrites peuvent dépasser 35 kg répartis comme suit :

- 10 % peuvent dépasser 35 kg sans toutefois dépasser 70 kg ;
- Les 10 % restants peuvent dépasser 35 kg sans toutefois dépasser 240 kg.

Commentaires : rien à signaler.

f. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet principal : rejets concomitants

Les rejets concomitants correspondent aux rejets chimiques d'origine différente qui peuvent être simultanés ou non. Les flux chimiques et/ou concentrations ajoutées sont déterminés au rejet principal. Ces effluents chimiques proviennent de :

- Réservoirs T-S-Ex,
- Rejets des fosses de neutralisation,
- Rejets des eaux brutes traitées (traitement antitartre, traitement biocide), via les purges des aéroréfrigérants.

i. Cumul mensuel

Le tableau suivant présente les rejets mensuels pour chaque type de produits chimiques.

	Métaux totaux (kg)	Chlorures (kg)	Sodium (kg)	Sulfates (kg)
Janvier	5,96	3 128	1 886	21 500
Février	3,24	2 430	1 480	0
Mars	8,74	3 751	2 182	0
Avril	3,75	2 850	1 690	0
Mai	3,86	3 015	1 752	0
Juin	3,54	21	12	0
Juillet	3,33	479	362	0
Août	0,54	818	485	0
Septembre	14,4	2 942	1 741	0
Octobre	7,24	3 295	1 902	0
Novembre	6,48	2041	1 201	0
Décembre	16,7	5 362	3 317	0
TOTAL ANNUEL	77,8	30 132	18 010	21 500

	Al (kg)	Cr (kg)	Cu (kg)	Fe (kg)	Mn (kg)	Ni (kg)	Pb (kg)	Zn (kg)
Janvier	1,06	0,03	1,11	3,35	0,29	0,03	0,01	0,06
Février	0,69	0,02	0,64	1,69	0,12	0,02	0,01	0,04
Mars	0,79	0,03	2,03	5,43	0,28	0,03	0,02	0,12
Avril	0,45	0,02	0,36	2,69	0,13	0,02	0,01	0,06
Mai	0,21	0,01	0,65	2,84	0,08	0,01	0,01	0,05
Juin	0,02	0,00	0,02	3,40	0,04	0,00	0,00	0,05
Juillet	0,09	0,00	0,13	2,98	0,08	0,00	0,00	0,05
Août	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Septembre	0,69	0,02	0,20	12,9	0,32	0,02	0,01	0,28
Octobre	0,69	0,02	0,07	6,2	0,14	0,02	0,02	0,09
Novembre	0,91	0,03	0,05	5,13	0,21	0,03	0,01	0,12
Décembre	2,60	0,08	0,32	12,3	0,96	0,08	0,03	0,30
TOTAL ANNUEL	8,20	0,27	445,58	59,5	2,65	0,28	0,14	1,22

En 2022, il n'y a pas eu de traitement anti-tartre organique, ni de lessivage chimique.

En 2022, les rejets en sulfates sont faibles en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production toute l'année.

La mesure mensuelle maximale en 2022 à l'ouvrage de rejet principal est de :

- 26,3 mg/L pour le sodium
- 22,8 mg/L pour les chlorures
- 50,4 mg/L pour les sulfates

La mesure semestrielle maximale en métaux totaux en 2022 à l'ouvrage de rejet principal est de 2,07 mg/l pour une mesure à l'amont de 1,87 mg/L.

En l'absence de traitement biocide en 2022, il n'y a pas eu de mesure en azote et en AOX à l'ouvrage de rejet principal.

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2022 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2022.

Paramètres	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Métaux totaux	kg	50	74	77,8	60
Chlorures	kg	157 076	120 685	30 132	100 000
Sodium	kg	92 616	77 204	18 010	60 000
Sulfates	kg	5 102 326	5 987 900	21 500	2 500 000

Commentaires : Les rejets des substances chimiques concomitantes liées au traitement biocide (absence de traitement en 2022) et à la production d'eau déminéralisée ainsi que ceux liés au traitement contre le tartre sont inférieurs aux valeurs du prévisionnel 2022 en raison de l'arrêt prolongé des 2 unités de production non prévu au moment de l'élaboration du prévisionnel.

L'évolution pluriannuelle des rejets de chlorures et de sodium s'explique par la durée de fonctionnement des unités de production et de la durée du traitement biocide. L'évolution pluriannuelle des rejets de sulfates s'explique par la durée de fonctionnement des unités de production.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau suivant permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2009-DC-0165.

	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
Paramètres	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux 2h ajouté (kg)	Valeur maximale calculée (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)
Métaux totaux	3,3	0,02	21	2	/		300	77,8
Azote (ammonium, nitrites, nitrates)	14	0,07	/		/		/	
Chlorures	176	22	4 000	820	/		/	
Sodium	120	16	2 650	460	/		/	
Sulfates	750	5,2	40 000	2 660	/		/	

Commentaires : rien à signaler.

g. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'ouvrage de rejet principal : rejets liés à la station de déminéralisation

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées à la station de déminéralisation du CNPE de Chooz pour l'année 2022 (rejets non concomitants).

Les Matières En Suspension (MES) rejetées par la station de déminéralisation font l'objet d'une surveillance conformément à la décision ASN n°2009-DC-0164 sans valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2009-DC-0165.

	Rejet
Paramètres	Flux 24h ajouté maximum (kg)
MES	267

h. Rejets d'effluents liquides chimiques via l'émissaire secondaire dit SEO

En 2022, la valeur maximale de pH mesurée à l'émissaire secondaire dit SEO est de 8,5 pour une limite comprise entre 6 et 9.

En 2022, la valeur annuelle en azote Kjeldahl, nitrates et nitrites mesurée à l'émissaire secondaire dit SEO de Chooz B est respectivement de 0,8 mg/L, de 18 mg/L et de 0,028 mg/L.

En 2022, la valeur annuelle en azote Kjeldahl, nitrates et nitrites mesurée à l'émissaire SEO de Chooz A est respectivement de 0,9 mg/L, de 5,6 mg/L et de 0,075 mg/L.

i. Rejets issus des Stations d'Épuration

Numéro de la Station d'Épuration	Mesure trimestrielle	Limite réglementaire	Rendement ou concentration en sortie (mg/l)
1	DCO	> 60 %	93,1 % (valeur minimale)
	MES	> 50 %	88 % (valeur minimale)
	DBO ₅	< 35 mg/l	< 3 (valeur maximale)
	Débit	-	1,67 (valeur maximale)
	pH	-	7,71 (valeur maximale)
2	DCO	> 60 %	94,6 % (valeur minimale)
	MES	> 50 %	91,1 % (valeur minimale)
	DBO ₅	< 35 mg/l	10 (valeur maximale)
	Débit	-	0,67 (valeur maximale)
	pH	-	7,75 (valeur maximale)
Numéro de la Station d'Épuration	Mesure annuelle	Limite réglementaire	Rendement ou concentration en sortie (mg/l)
3	DCO	> 60 %	94 %
	MES	> 50 %	96 %
	DBO ₅	< 35 mg/l	7
	pH	-	7,75
4	DCO	> 60 %	94,7 %
	MES	> 50 %	98,4 %
	DBO ₅	< 35 mg/l	3
	pH	-	7,79
7	DCO	> 60 %	82,2 %
	MES	> 50 %	85,8 %
	DBO ₅	< 35 mg/l	16
	pH	-	6,95
8	DCO	> 60 %	95
	MES	> 50 %	92
	DBO ₅	< 35 mg/l	3
	pH	-	7,23

*Les stations d'épuration n°5 et n°6 ne reçoivent plus d'effluent à traiter.

ii. Rejets issus des déshuileurs

	Limite réglementaire	Concentration maximale en sortie en hydrocarbures (mg/l)
Déshuileur de Site (mesure trimestrielle)	10	2,7
Déshuileur de l'aire de transit des déchets conventionnels (mesure trimestrielle)	5	0,075
Séparateur d'hydrocarbures de CHOOZ A = Rejet SEO CHOOZ A (mesure trimestrielle)	5	< 0,1
Déshuileurs de parkings* (mesure annuelle)	5	N° 1 : < 0,1 N° 3 : 0,2 N° 5 : * N° 6 : < 0,1 N° 7 : 0,085 N° 8 : < 0,1 N° 9 : < 0,1 N° 10 : 0,29 N° 11 : 0,065
Déshuileur de l'huilerie (mesure trimestrielle)	5	0,28
Déshuileur de la Turbine A Combustion (mesure semestrielle)	5	6,6**
Rejet SEO CHOOZ B (mesure trimestrielle)	5	< 0,1

*l'absence de prélèvement annuel ponctuel du déshuileur de parking n°5 au cours de l'année 2022 a conduit à la déclaration d'un évènement intéressant pour l'environnement

**cette valeur a conduit à la déclaration d'un évènement intéressant pour l'environnement

Pour le déshuileur de l'aire de transit des déchets conventionnels, une mesure trimestrielle en pH, DCO et MES doit être réalisée.

	Unité	Limite réglementaire	Concentration en sortie du déshuileur de l'aire de transit des déchets conventionnels
pH	-	Compris entre 6 et 8,5	Valeur maximale : 8,25 Valeur minimale : 7,5
DCO	mg/l	120	Valeur maximale : 9,93
MES	mg/l	30	Valeur maximale : 13,3

* Pas de parkings n° 2 et n° 4.

iii. Rejets de phosphates

Les décisions ASN autorisent à rejeter les points bas des circuits SRI (réfrigération du circuit secondaire) et SES (eau surchauffée pour chauffage de différents bâtiments), circuits conditionnés en phosphates, en Meuse par l'ouvrage de rejet du réseau d'eaux pluviales (SEO).

En 2022, pour le circuit SRI (réfrigération du circuit secondaire), une vanne (3 000 litres au maximum) sur l'unité de production n°2 a été ouverte pour 2 opérations distinctes pendant l'arrêt de l'unité de production n°2. Sachant que la concentration en phosphates du circuit SRI sur l'unité de production n°2 lors de ces opérations est d'environ 165 mg/l, la quantité de phosphates rejetés, via l'émissaire secondaire, a été évaluée, en 2022, à 990 g.

En 2022, pour le circuit SES (eau surchauffée pour chauffage de différents bâtiments), une vanne (100 litres au maximum) sur l'unité de production n°2 a été ouverte pendant l'arrêt de l'unité de production n°2. Sachant que la concentration en phosphates du circuit SES sur l'unité de production n°2 est d'environ 60 mg/l, la quantité de phosphates rejetés, via l'émissaire secondaire, a été évaluée, en 2022, à 6 g.

Ainsi, la quantité annuelle de phosphates rejetés, via l'émissaire secondaire, a été évaluée, en 2022, à 996 g ce qui est négligeable par rapport aux 620 kg de phosphates autorisés par an pour les réservoirs T, Ex.

iv. Rejets issus du traitement de l'aéroréfrigérant TRI

Une chloration a été réalisée sur le système de réfrigération du Bâtiment de Traitement des Effluents (TRI) le 25 janvier 2022 suite à l'arrêt pour nettoyage annuel, avant sa remise en service, conformément à l'arrêté du 13 décembre 2004 en vigueur à la date de parution de l'arrêté INB du 7 février 2012. Le nombre de chlurations par an est, réglementairement, limité à 12.

Le bilan des substances rejetées, lors de cette chloration, est indiqué dans les tableaux ci-dessous.

Substances	Unité	Limite réglementaire	Concentration maximale mesurée à l'amont (1 chloration)
AOX	µg/l	-	38
Acide chloroacétique	µg/l	-	< 10
THM	µg/l	-	< 0,5
Chloroforme	µg/l	-	< 0,1

Substances	Unité	Limite réglementaire	Concentration maximale ajoutée mesurée à l'émissaire de rejet (1 chloration)
AOX	mg/l	0,9	0,038
THM	µg/l	-	< 0,5
Chlore Résiduel Libre	mg/l	0,1	< 0,05

Substances	Unité	Limite réglementaire	Concentration mesurée dans l'environnement (1 chloration)
AOX	µg/l	50	11
Acide chloroacétique	µg/l	-	< 10
THM	µg/l	-	< 0,5
Chloroforme	µg/l	3	< 0,1

Substances	Unité	Quantité ajoutée au total
Chlorures	kg	1,03
Sodium	kg	0,67

Les quantités ajoutées en chlorure et en sodium, par la chloration, sont négligeables par rapport aux limites autorisées respectivement :

- de 4 000 kg en 24 h pour la station de déminéralisation et le traitement à la monochloramine,
- de 2 650 kg en 24 h pour la station de déminéralisation et le traitement à la monochloramine.

i. Surveillance complémentaire des eaux de surface

En 2022, le CNPE de Chooz B n'a pas connu d'évènement ayant conduit au marquage des eaux de surface. Ainsi, aucune surveillance complémentaire n'a été nécessaire.

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

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) sur les équipements et ouvrages de rejets liquides.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de Chooz B n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2022.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Chooz et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2009-DC-0165.

Le CNPE de Chooz 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 (température moyenne journalière de la Meuse en aval après mélange, échauffement moyen journalier de la Meuse entre l'amont et l'aval du rejet). Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2022 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont moyenne (°C)			Echauffement moyen journalier de la Meuse entre l'amont et l'aval du rejet (°C)			Température moyenne journalière de la Meuse en aval après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	9,4	4	5,9	0,07	0,02	0,04	9,4	4	5,9
Février	8,2	5,6	6,7	0,06	0,01	0,03	8,2	5,6	6,8
Mars	11,8	5,9	8,5	0,07	0,02	0,03	11,9	5,9	8,5
Avril	14,6	8,1	11,6	0,07	0,02	0,03	14,7	8,2	11,7
Mai	21,1	14,1	18,3	0,08	0,04	0,06	21,4	14,1	18,5
Juin	23,5	18,1	21	0,08	0,03	0,06	23,8	18,3	21,2
Juillet	24,9	21,4	23,2	0,16	0,05	0,11	25,2	21,4	23,3
Août	24,3	21,9	23,4	0,23	0,13	0,18	24,7	22	23,5
Septembre	22,4	14,4	18,9	0,16	0,01	0,12	22,6	14,6	19
Octobre	15,1	13,5	14,5	0,12	0,05	0,08	15,2	13,7	14,7
Novembre	14,6	8,3	10,7	0,11	0,03	0,06	14,8	8,5	10,8
Décembre	8,7	1,1	5,3	0,12	0,01	0,06	8,7	1,4	5,5

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article 7 de l'annexe à la décision ASN n° 2009-DC-0165.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement moyen journalier de la Meuse entre l'amont et l'aval du rejet	°C	3*	0,23
Température moyenne journalière de la Meuse en aval après mélange	°C	28*	25,2

*Cependant si la température naturelle de la Meuse dépasse 26°C en moyenne journalière à la prise d'eau et, dans la limite de 5 jours par an de mai à septembre inclus, les valeurs limites applicables aux rejets thermiques sont fixées à :
- 30°C pour la température moyenne journalière de la Meuse en aval après mélange ;
- 2°C pour l'échauffement moyen journalier de la Meuse entre l'amont et l'aval du rejet.

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

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

L'année 2022 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée). Aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'a été nécessaire.

Partie V - Prévention du risque microbiologique

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

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

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE de Chooz applique un traitement biocide à l'eau des circuits de refroidissement depuis l'année 1999. Dans l'objectif de limiter l'impact sur l'environnement de ce traitement par injection de monochloramine, le CNPE de Chooz développe depuis plusieurs années une méthodologie de traitement séquentiel au lieu d'une injection continue. Cette méthode permet de maîtriser le risque microbiologique tout en diminuant de façon notable les quantités de produits chimiques rejetés.

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

I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2022 en *Legionella pneumophila* mesurées dans la purge de l'aéroréfrigérant et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

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

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

Pendant toute la durée du suivi microbiologique, la concentration en *Naegleria fowleri* calculée dans la Meuse 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.

Bilan de dérives observées :

Paramètre	Dépassements	Nombre	Cause	Actions curatives et correctives engagées	Efficacité des mesures mises en œuvre
<i>Legionella pneumophila</i>	-	0			
<i>Naegleria fowleri</i>	-	0			

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

Les données concernant les rejets associés aux traitements biocides se trouvent dans la Partie IV- Rejets d'effluents.

Ce paragraphe répond à l'article 5 II de l'annexe 2 de la décision ASN n°2009-DC-0164 (cf. annexe 1).

La stratégie de traitement préventif estival communiquée en début d'année consistait en un traitement continu, suivi d'un traitement séquentiel si le débit de la Meuse le permettait. Le traitement séquentiel consiste en une injection continue de 18 heures par jour. Le traitement est démarré et arrêté sur des critères basés sur les niveaux de colonisations en *Naegleria fowleri* et en *Legionella pneumophila*.

Données d'ensemble de la campagne de traitement 2022 :

Paramètres	Unités de production	
	N°1	N°2
Date de démarrage et d'arrêt du traitement préventif	Pas de démarrage du traitement en 2022	Pas de démarrage du traitement en 2022
Date de démarrage et d'arrêt de traitements supplémentaires	/	/

	Unités de production	
Paramètres	N°1	N°2
Date d'arrêt d'unité de production (début et fin)	* du 19 décembre 2021 au 10 mai 2022 : arrêt pour contrôles préventifs sur le circuit d'injection de sécurité RIS au niveau du circuit primaire (circuit fermé comprenant le combustible)	* du 16 décembre 2021 au 15 avril 2023 : arrêt pour contrôles préventifs sur le circuit d'injection de sécurité RIS au niveau du circuit primaire (circuit fermé comprenant le combustible)
Nombre de jours de traitement continu	0	0
Nombre de jours de traitement séquentiel	0	0
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	/	/
Nombre de jours de Chloration massive	0	0
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	/	/
Consommation réelle d'eau de Javel (m³)	0	0
Consommation réelle d'ammoniaque (m³)	0	0

En 2022, aucun approvisionnement en réactifs n'a eu lieu.

De par l'absence du fonctionnement du traitement préventif, aucune anomalie ou incident de fonctionnement de l'installation de traitement n'a eu lieu en 2022.

En 2022, les installations de traitement biocide n'ont pas eu de modifications notables.

Le contrôle visuel externe des réservoirs de javel (CTE001 et 011BA) a été réalisé le :

- 23 mai 2022 pour l'unité de production n°1,
- 27 avril 2022 pour l'unité de production n°2.

Aucune anomalie n'a été détectée.

Le contrôle réglementaire électrique de l'installation de traitement biocide a été effectué le 4 janvier 2022 pour l'unité de production n°1 et pour l'unité de production n°2. Un rapport de vérification a été établi pour chaque contrôle. Les constats sont traités dans le cadre du processus du CNPE.

Partie VI - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

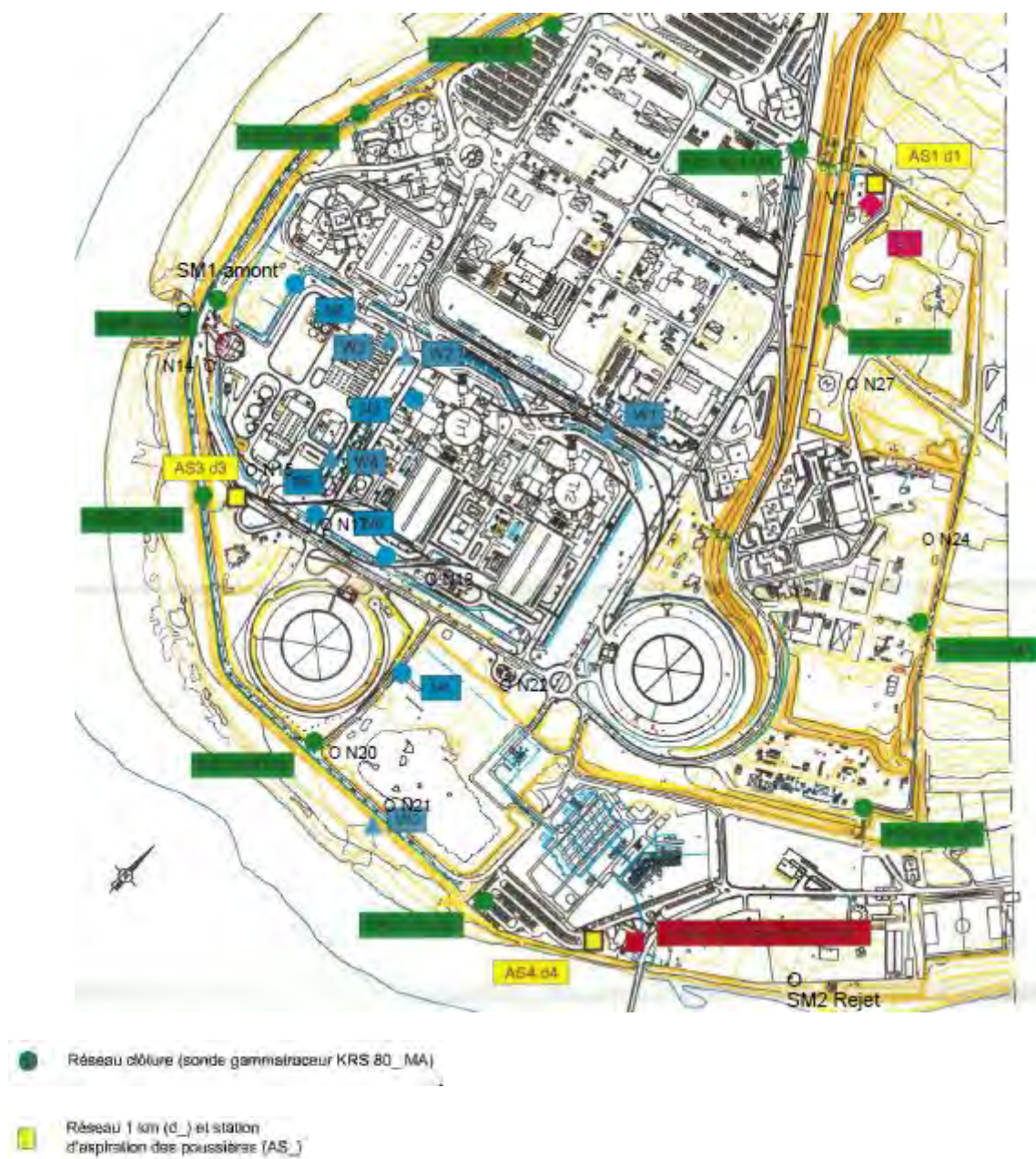
Les stations de prélèvements sont choisies en fonction de la rose des vents locale, des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement du CNPE. Les prélèvements collectés dans l'environnement terrestre sont répartis en distinguant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

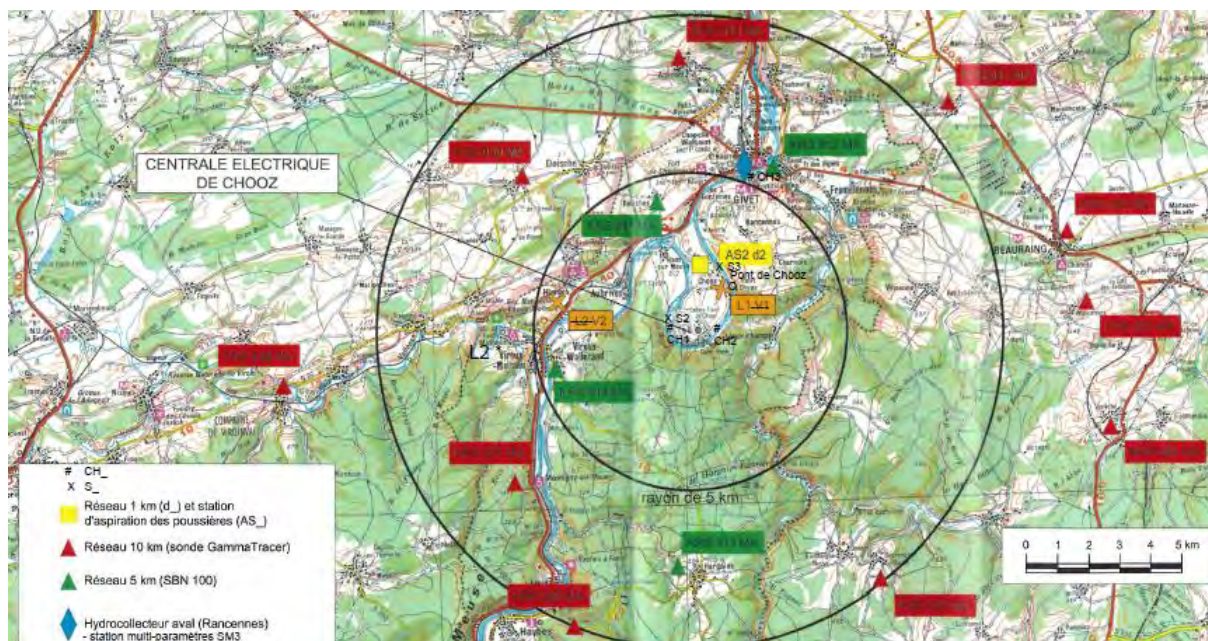
Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis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

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

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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





Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation et l'enregistrement des données. Les débits de dose moyens enregistrés par les différents réseaux de mesure pour l'année 2022 sont présentés dans le tableau suivant. Les débits de dose maximaux en 2022 et les données relatives aux années antérieures sont également présentés à titre de comparaison.

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2022 (nSv/h)	Débit de dose max année 2022 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)
Clôture	93,7	217,2	93,3	96,3
1 km	95	458,4	92,8	95,5
5 km	100,6	182,4	101,2	100
10 km	102,7	144	103,2	103

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2022 sont de l'ordre de grandeur du bruit de fond et cohérents avec les résultats des années antérieures. La valeur max, pour le réseau clôture et pour le réseau 1 km, est élevée en raison d'un transport interne de substances radioactives.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

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

Compartiment	Paramètres		Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	Bêta globale		0,00219* Bq/m³	0,01 Bq/m³
	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	< 0,000021 Bq/m³	-
		⁶⁰ Co	< 0,000014 Bq/m³	-
		¹³⁴ Cs	< 0,000013 Bq/m³	-
		¹³⁷ Cs	< 0,0000098 Bq/m³	-
		⁴⁰ K	< 0,00024 Bq/m³	-
Tritium atmosphérique			≤ 0,2 Bq/m³	50 Bq/m³
Eau de pluie	Bêta globale		0,645** Bq/L	-
	Tritium		7,4 Bq/L	-

*la spectrométrie gamma à réaliser lors du dépassement des 0,002 Bq/m³ indique l'absence de radionucléide artificiel

**pas de radioélément artificiel présent

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2022 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

3. Surveillance du milieu terrestre

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

Nature du prélèvement	Radionucléide		Périodicité	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	Mensuelle	< 0,41
		⁶⁰ Co		< 0,59
		¹³⁴ Cs		< 0,38
		¹³⁷ Cs		< 0,37
		⁴⁰ K		790
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	⁵⁸ Co	Mensuelle	< 0,42
		⁶⁰ Co		< 0,5
		¹³⁴ Cs		< 0,4
		¹³⁷ Cs		< 0,41
		⁴⁰ K		71

Commentaires : rien à signaler.

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel (cf annexe 2).

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel (cf annexe 2).

5. Surveillance des eaux souterraines

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

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Tritium sur eaux filtrées	Bq/L	< 20
Bêta global sur eaux filtrées	Bq/L	< 1
Bêta global sur les matières en suspension	Bq/L	< 1
Potassium	mg/L	7,3

Commentaires : rien à signaler.

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 11 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	7,7
Conductivité	µS / cm	1 030
Hydrocarbures totaux (C10-C40)	mg / l	7,7
DCO		7
NTK (Azote Kjeldhal)		< 2
Métaux totaux		0,29
Dont Aluminium		0,018
Arsenic		< 0,005
Cadmium		<0,003
Chrome		<0,03
Cuivre		<1
Fer		0,009
Manganèse		0,29
Mercure		<0,0005
Nickel		<0,01
Plomb		0,009
Zinc		<2,5
Phosphates		<0,3
Nitrates		27
Chlorures		<100
Sulfates		360
HAP-S1		< 0,000005
Dont benzo(b)fluoranthène		0,0000025
benzo(k)fluoranthène		0,0000025
benzo(g,h,i)pérylène		0,0000025
indéno(1,2,3-cd)pyrène		0,0000025
HAP-S2		< 0,000005
dont benzo(b)fluoranthène		0,0000025
benzo(k)fluoranthène		0,0000025
benzo(g,h,i)pérylène		0,0000025
indéno(1,2,3-cd)pyrène		0,0000025
fluoranthène		0,0000025
benzo(3,4)pyrène (ou benzo(a)pyrène)		0,0000025
PCB		<0,0002
AOX		0,035

Commentaires : La valeur en hydrocarbures totaux de 7,7 mg/l est une valeur ponctuelle sur un piézomètre historiquement marqué faisant l'objet d'un suivi particulier. Toutes les autres

valeurs des autres piézomètres, en 2022, sont < 0,1 mg/L sauf une valeur ponctuelle à 0,27 mg/L.

La valeur de 27 mg/l en nitrates est une valeur isolée. Toutes les autres valeurs, en 2022, sont < 25 mg/L. De plus, le piézomètre ayant eu la valeur de 27 mg/l est loin de toutes installations avec de l'azote.

La valeur de 360 mg/l en sulfates est liée à un piézomètre proche d'une zone marquée, par le passé, en sulfates.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie en continu

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

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 2022 pour les stations amont, rejet et aval.

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,5	11,4	11,7	11	9,4	8,8	8,8	8,3	8,6	9,4	10	11,4
Conductivité (µS/cm)	396	374	427	430	459	467	484	520	517	477	497	466
pH	8,1	8	8,2	8,2	8,1	8	8,1	8	8,1	8,2	8,2	8,1
Température	5,9	6,7	8,5	11,6	18,3	21	23,2	23,4	18,9	14,5	10,9	5,3

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	12,6	12,1	12	11,1	9,5	9	8,7	8,4	9,3	10,2	11,1	12,5
Conductivité (µS/cm)	377	351	401	410	413	424	440	457	474	450	475	451
pH	8	8	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	8,2	8,1	8	8
Température	7,5	8	9,7	12,8	19,2	21,9	24	24,1	19,8	15,5	11,6	6,6

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	12,1	11,9	12	10,8	9,3	8,8	9,1	8,9	9,2	9,9	10,7	11,7
Conductivité (µS/cm)	400	372	436	451	449	464	476	503	508	474	495	475
pH	8	8	8,2	8,2	8,1	8,1	8,2	8,1	8,2	8,1	8	8
Température	5,9	6,8	8,5	11,7	18,5	21,2	23,3	23,5	19	14,7	11	5,5

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

2. Physico-chimie et 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, la prolifération des micro-organismes;
- de l'usure normale des matériaux
- du lavage du linge utilisé en zone contrôlée

Ces rejets font l'objet d'une surveillance des concentrations présentes dans le milieu récepteur comme l'acide borique. A cet effet, des mesures de substances chimiques sont effectuées mensuellement et trimestriellement dans le fleuve en amont, au rejet et en aval du CNPE par le laboratoire Dubost Environnement & Milieux Aquatiques.

La conclusion du rapport établi par le laboratoire Dubost Environnement & Milieux Aquatiques est indiquée au §IV 1 ci-après.

En 2022, aucune mesure d'*Equitox Daphnies* n'a été réalisée de par l'absence de traitement biocide en raison de l'arrêt, toute l'année 2022, des 2 unités de production d'électricité.

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance physico-chimique et hydrobiologique à Dubost Environnement & Milieux Aquatiques. Sont distinguées la surveillance pérenne, réalisée annuellement, des surveillances en situation exceptionnelle (SE) dont le déclenchement est conditionné au dépassement des limites de température imposées en situation climatique normale et des justifications associées à la nécessité du fonctionnement en situation climatique exceptionnelle.

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 Dubost Environnement & Milieux Aquatiques est présentée ci-dessous.

Le rapport indique :

« Situation globale de la Meuse

Par référence aux données climatiques, l'année 2022, avec une pluviométrie annuelle de 581 mm, peut être considérée comme sèche. Les déficits de précipitations par rapport aux autres années interviennent notamment au printemps (principalement en mars) et juillet-août.

L'année 2022 a été une année très chaude vis-à-vis de la température atmosphérique, avec une température de l'air moyenne annuelle de +11,7°C.

En ce qui concerne les paramètres physicochimiques mesurés sur le terrain (oxygène dissous, température, conductivité et pH) ou au laboratoire (autres paramètres physicochimiques et chimiques), que ce soit en amont ou en aval du CNPE, aucun épisode particulier n'a été relevé en 2022.

Pour tous les métaux, les concentrations mesurées dans les mousses exposées durant 1 mois au niveau des trois stations d'étude relèvent presque exclusivement de la classe de « non pollution » (classe 1 : gamme de référence ou classe 2 : gamme de sécurité) ou, selon la grille de référence utilisée, d'une situation normale (M0) à suspecte (M1). Ponctuellement, la classe de pollution certaine peut être atteinte pour le cuivre (Classe 3 : témoin et CH 3 en mars - CH 1 en juillet) ou le manganèse (M2 : CH 1 et CH 2 en juillet).

En ce qui concerne les paramètres biologiques, le phytoplancton en 2022 ne montre pas de prolifération algale marquée. Le peuplement est très varié, avec un mélange de composantes réellement planctoniques mais aussi benthiques, avec deux légers pics, traditionnellement printanier et estival.

D'après l'étude des diatomées, la Meuse à Chooz est de bonne qualité aux trois stations, en dehors de la station CH 1 au mois d'octobre, associée à la classe d'état écologique moyen vis-à-vis de ce paramètre.

L'étude du zooplancton montre pour l'année 2022 une diversité et une densité toujours peu élevées globalement. La composition des peuplements apparaît classique pour du zooplancton en cours d'eau.

Pour les macrophytes, l'indice IBMR indique que le niveau trophique de la Meuse est « fort » en amont et en aval du CNPE (ce qui reste à modérer par les résultats des analyses physicochimiques), de manière conforme à ce qui est théoriquement attendu pour ce type de cours d'eau (Grand cours d'eau de l'HER 22/10). Les classes de qualité associées à ces relevés correspondent au « bon état » aux deux stations (amont et aval) pour l'élément de qualité « macrophytes ».

Pour les macro-invertébrés benthiques, l'indice de qualité biologique potentielle (IQBP), évalué par la méthode des substrats artificiels immergés au niveau des trois stations présente, en 2022, une grande stabilité au cours du temps (printemps, été et automne) pour CH 1 mais s'avère légèrement plus variable pour CH 2 et un peu plus encore pour CH 3. L'Indice MGCE 12 prélèvements, réalisé en amont et en aval du CNPE au mois de septembre, donne des résultats comparables entre l'amont et l'aval du CNPE en 2022 (ce qui n'était plus le cas en 2020 et 2021). Les listes faunistiques des deux stations sont donc cohérentes entre elles. En outre, les peuplements d'invertébrés benthiques (IQBP et MGCE) traduisent une qualité d'eau compatible avec la vie aquatique dans le secteur d'étude. La note MGCE 12 prélèvements est de 14/20 aux deux stations, ce qui constitue le meilleur résultat obtenu depuis le début de l'application de cette méthode en 2016 (à chaque station).

Les populations piscicoles du secteur étudié montrent, en diversité, une situation plutôt classique en amont du CNPE (19 espèces) mais, comme en 2021, une des plus basses valeurs des quinze dernières années en aval (15 espèces). Un nombre total de 20 espèces différentes a ainsi été échantillonné. Malgré des valeurs sensiblement différentes entre les stations, la composition spécifique reste cohérente vis-à-vis des caractéristiques de la Meuse et de la chronique de données antérieures (la différence de richesse se faisant principalement sur des espèces habituellement « fluctuantes », notamment du fait des faibles effectifs rencontrés). Cependant, la prolifération de gobies à tâche noire à la station aval (les effectifs restant pour le moment « modérés » à l'amont) commence à être un facteur très impactant sur la composition du peuplement piscicole à la station (rôle probable dans la régression de la richesse globale et celle des stades juvéniles des autres espèces présentes).

Pour l'ensemble des compartiments étudiés, aucun effet particulier de la canicule survenue au cours de l'été 2022 n'a été détecté. Les résultats paraissent cohérents au vu des données antérieures et aucune variation saisonnière ne dénote spécialement par rapport à d'autres épisodes estivaux très chauds et secs ayant déjà eu lieu par le passé.

Conclusions sur les différences interstationnelles

La comparaison des résultats de l'étude sur la qualité de l'eau de la Meuse au niveau des différentes stations CH 1 (amont CNPE, avec assimilation de la station « île Gistrois »), CH 2 (aval à proximité du rejet, avec assimilation de la station « île des onze verges ») et CH 3 (aval, éloignée du rejet) met en évidence les faits suivants :

- En 2022, les paramètres physicochimiques mesurés mensuellement sur le terrain montrent, globalement, une variabilité inter-station faible. Les variations qui peuvent parfois être relevées restent tout à fait modérées et apparaissent indépendantes de l'activité du CNPE de Chooz.*

- La comparaison des cycles nycthéméraux en température et en oxygène dissous, réalisés de mai à septembre 2022 au niveau des stations CH 1 et CH 3, sont cohérents avec les données météorologiques et l'évolution phytoplanctonique à la station amont. C'est aussi le cas en aval de mai à juillet mais, à cette station, les données d'août et septembre sont suspectes (courbes chaotiques et non-concordantes avec l'évolution phytoplanctonique ou météorologique) et pourraient traduire un problème technique au niveau de la sonde d'enregistrement.*

- Les analyses physicochimiques et chimiques de laboratoires ne montrent également que des différences ponctuelles et/ou modérées entre les trois stations pour les paramètres analysés, sans jamais révéler une différence interstationnelle imputable au fonctionnement du CNPE de Chooz.

- L'utilisation des bioindicateurs mousses aquatiques ne met en évidence aucune dégradation métallique particulière de la Meuse en aval du CNPE (CH 2) par rapport à l'amont (CH 1). Quand une hausse de concentration est observée en CH 2 par rapport à CH 1, celle-ci ne s'avère que modérée et n'implique jamais de changement de classe de qualité vers une « situation de pollution ».

- En ce qui concerne l'étude du phytoplancton, les résultats de 2022 montrent globalement une forte similarité entre les stations. Certaines différences peuvent intervenir entre l'aval éloigné (CH 3) et les deux autres stations mais elles restent ponctuelles et modérées et ne traduisent aucune influence de l'activité du CNPE. La production primaire (chlorophylle a) ne laisse pas non plus apparaître de différences majeures entre les trois stations qui puissent être reliées à l'activité du CNPE de Chooz.

- Les résultats d'indices diatomiques IBD de 2022 ne laissent pas non plus transparaître différence interstationnelle imputable au fonctionnement du CNPE de Chooz.

- Pour le zooplancton, l'étude comparative des trois stations du tronçon de la Meuse met en évidence, en 2022, un peuplement zooplanctonique à variations saisonnières comparables entre les trois stations. D'autre part, la composition spécifique entre ces stations est homogène. Aucune différence interstationnelle imputable au fonctionnement du CNPE de Chooz n'est suspectée.

- Comme les années précédentes, le fonctionnement du CNPE ne génère pas de différence interstationnelle particulière sur les communautés végétales des macrophytes aquatiques en 2022, au travers de l'indice IBMR.

- La diversité des macro-invertébrés benthiques évaluée par la méthode IQBP et la présence/absence de taxons polluosensibles ne montre pas d'influence de l'activité du CNPE de Chooz. Concernant l'indice MGCE 12 prélèvements, les résultats sont strictement identiques entre l'amont et l'aval du CNPE. Aux deux stations, on note que les taxons invasifs sont les plus représentés et cela devrait encore s'accroître du fait du fort impact de prédation par les gobies à tâche noire (notamment) et les gobies demi-lune. Ce constat ne suppose pas d'influence de l'activité du CNPE. Des taxons polluosensibles (Ephéméroptères et Trichoptères à étui notamment) sont établis sur toutes les stations. Aucune influence du CNPE ne peut donc être décelée vis-à-vis de ce compartiment.

- Comme au cours de la chronique historique, les variations dans les peuplements piscicoles entre l'amont et l'aval s'expliquent principalement par une différence de faciès du cours d'eau. De manière classique, les espèces d'eau vive sont donc mieux représentées en station amont qu'en aval du CNPE en 2022. De manière atypique (en lien avec la capture de plusieurs silures), les carnassiers sont mieux représentés, en termes de biomasse, à l'amont qu'à l'aval. D'autre part, les gobies à tâche noire sont actuellement beaucoup plus développés à la station aval qu'à la station amont. Leur impact sur les autres espèces (régression de la richesse du fait de la compétition sur la même niche écologique et prédation sur les oeufs/alevins des autres espèces) y est donc plus fort qu'à la station amont. Tout cela n'est

aucunement lié au fonctionnement du CNPE et aucune différence interstationnelle imputable au fonctionnement du CNPE n'est décelée sur les peuplements piscicoles.

En conclusion, comme pour les années antérieures, l'étude hydrobiologique de la Meuse en 2022, ne montre aucune différence interstationnelle majeure imputable au fonctionnement du CNPE de Chooz, ni sur la physico-chimie ou la chimie de l'eau de la Meuse, ni sur les communautés biologiques étudiées. Il n'a pas non plus été détecté d'effet particulier de la canicule survenue au cours de l'été 2022. »

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Chooz.

2. Surveillance en situations exceptionnelles

L'article 5.4.3 de la décision modalités des réacteurs nucléaires n° 2017-DC-0588 prévoit qu'une surveillance spécifique soit réalisée en cas de dépassement des limites de température imposées en situation climatique normale.

En 2022, le CNPE de Chooz n'a pas sollicité d'autorisation temporaire de fonctionnement en situation climatique exceptionnelle suite à un dossier « Article R593-40-II ».

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 Chooz réalise des informations, par le biais du site internet du CNPE mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 10 km (Chooz, Ham-sur-Meuse, Givet, Aubrives et Fromelennes), lors de la réalisation

d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

Le site internet permet de retrouver toute l'actualité du CNPE de Chooz, 24 heures sur 24 : www.edf.fr/chooz.

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

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du site est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du site sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl, ...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par l'IRSN (cf annexe 2).

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

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

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace¹ est calculée en tenant compte des mécanismes de transfert de l'environnement jusqu'à l'homme. Cette dose permet de « mesurer » le niveau d'exposition attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques d'une installation et de le positionner par rapport à la limite réglementaire pour l'exposition de la population aux rayonnements ionisants conformément à l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique.

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du site ;
- ils vivent toute l'année sur leur lieu d'habitation (non-prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...) ;
- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du site est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;

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

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

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

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

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

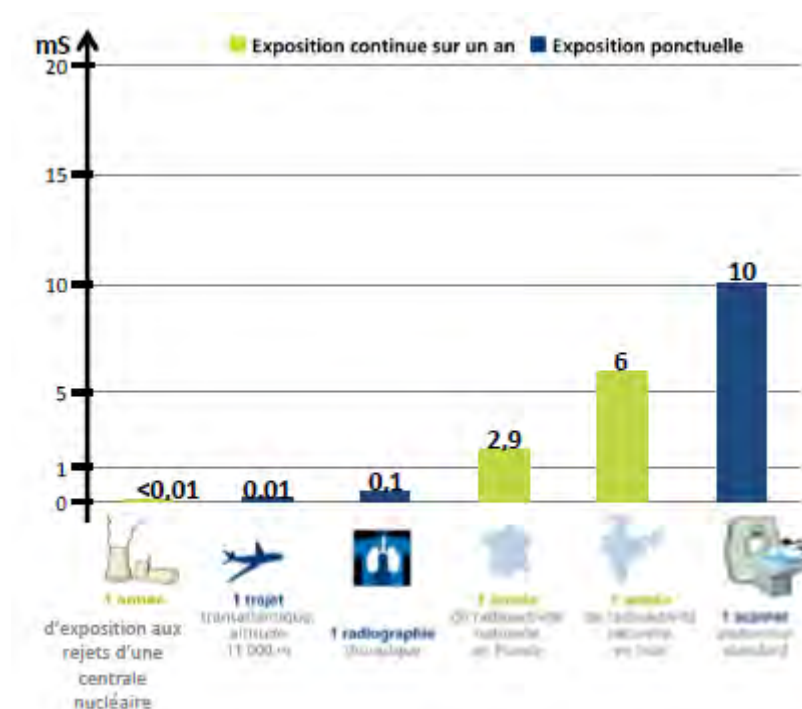


Figure 2 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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

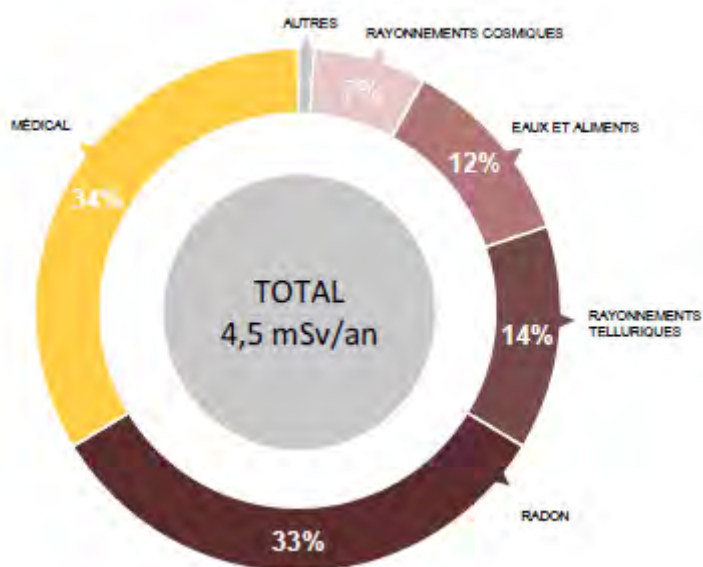


Figure 3 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

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

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

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	2,0E-06	2,5E-05	2,7E-05
Rejets d'effluents liquides	s.o.	6,3E-05	6,3E-05
Total	2,0E-06	8,8E-05	9,0E-05

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,8E-06	3,9E-05	4,1E-05
Rejets d'effluents liquides	s.o.	6,8E-05	6,8E-05
Total	1,8E-06	1,1E-04	1,1E-04

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

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

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

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

- Limiter les quantités produites et la nocivité des déchets ;
- Trier par nature et niveau de radioactivité ;
- Conditionner et préparer la gestion à long terme ;
- Isoler les déchets de l'homme et de l'environnement.

Pour les installations nucléaires de base du site de Chooz, 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 :

- o Des systèmes de filtration (épuration du circuit primaire : filtres, résines, concentrats, boues...) ;
- o Des opérations de maintenance sur matériels : pompes, vannes...
- o Des opérations d'entretien divers : vinyles, tissus, gants...
- o 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 :

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne les déchets de haute et moyenne activité « à vie longue », la solution industrielle de gestion à long terme retenue par la loi du 28 juin 2006 est celle du stockage géologique (projet Cigéo, en cours de conception). Les déchets déjà existants sont entreposés en toute sûreté sur leur lieu de production sachant que la mise en service de l'installation ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés) date de fin juillet 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	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, fûts, coques, caissons
Résines				
Concentrats, boues				
Pièces métalliques				
Matières plastiques, cellulosiques				
Déchets non métalliques (gravats...)				

Types déchet	Niveau d'activité	Durée de vie	Classification	Conditionnement
Déchets graphite (réacteurs UNGG)	Faible	Longue	FA-VL (faible activité à vie longue)	A l'étude (entreposage sur site)
Déchets activés (pièces métalliques)	Moyenne		MA-VL (moyenne activité à vie longue)	Coques (entreposage sur site en piscine de refroidissement puis sur ICEDA)

2. Le transport des déchets

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

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

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

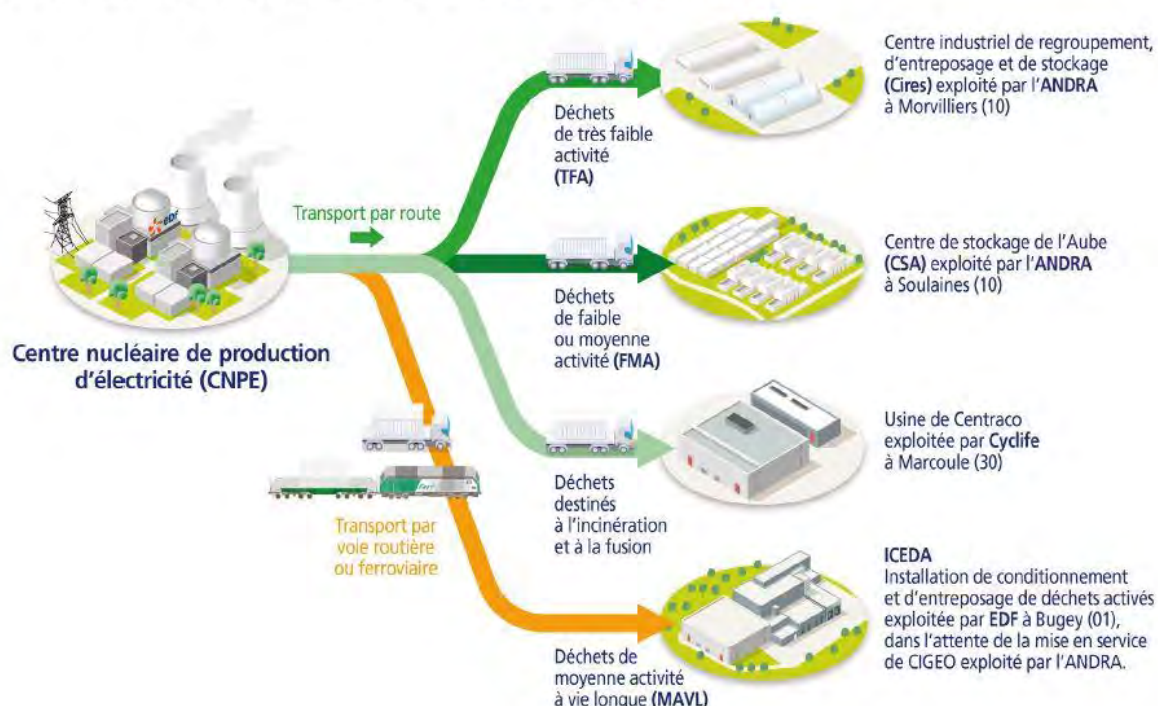


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

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

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	324 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	9,65 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants
FMAVC (Solides)	25 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires et Bâtiment de Traitement des Effluents
FAVL	-	-
MAVL	332 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation

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

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Type d'emballage
TFA	164 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (Liquides)	-	-
FMAVC (Solides)	28 colis	Coques béton
	464 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
	5 colis	Autres (caissons, pièces massives...)
FAVL	-	-
MAVL	-	-

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

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	80
CSA à Soulaines	450
Centraco à Marcoule	1 681
ICEDA à Bugey	0

En 2022, 2 211 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco, ANDRA ou ICEDA).

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2022 pour le réacteur en déconstruction de Chooz A.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	1 tonne	Déchets issus des opérations du démantèlement
FMAVC (Liquides)	0 tonne	Déchets d'exploitation
FMAVC (Solides)	0 tonne	Déchets d'exploitation
FAVL	0 tonne	-
MAVL	2 objets	Etuils crayons source

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2022 pour le réacteur en déconstruction de Chooz A.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Type d'emballage
TFA	20 colis	Tout type d'emballage confondu en conteneur sur l'IDT TFA
FMAVC (Liquides)	26 colis	Fûts métalliques à bonde
FMAVC (Solides)	20 colis	Fûts (métalliques et PEHD), coques béton, et caissons métalliques, pré-bétonnés ou non, entreposés sur l'IDT FAMA
FAVL	4 colis	Autres (caissons, pièces massives...)
MAVL	14 colis	R73 en attente d'expédition vers ICEDA

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2022 pour le réacteur en déconstruction de Chooz A.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	49
CSA à Soullaines	109
Centraco à Marcoules	223
ICEDA à Bugey	7

En 2022, 388 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco, ANDRA, ICEDA).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2022 par le site de Chooz.

Quantités 2022 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Site en exploitation	569,43	490,05	1 007,43	1 007,43	1 739,04	1 739,04	3 315,9	3 236,5
Site en déconstruction								

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.

Les productions de déchets dangereux, de déchets non dangereux non internes et de déchets inertes restent relativement stables.

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

- La création en 2006 du Groupe Déchets Economie Circulaire, chargé d'animer la gestion des déchets conventionnels pour l'ensemble des entités d'EDF. Ce groupe, qui s'inscrit dans le cadre du Système de Management Environnemental certifié ISO 14001 d'EDF, est composé de représentants des Divisions/Métiers des différentes Directions

productrices de déchets. Ses principales missions consistent à apporter de la cohérence en proposant des règles et outils de référence aux entités productrices de déchets,

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

En 2022, le site de Chooz a produit 3 315,9 tonnes de déchets conventionnels : 97,6% de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs

AOX – dérivés Organo-halogénés

AS1 – station de prélèvement d'air sous les vents dominants

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

ASR – Arrêt Simple Rechargement

BAL STE LDC – Boîte Aux Lettres du Service Technique Environnement Section Logistique, Déchet Combustible

CH1, CH2 et CH3 – station de prélèvement dans le cadre du suivi hydrobiologique respectivement à l'amont, au rejet et à l'aval du CNPE

CIRES – Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage des déchets de très faible activité

CNEPE – Centre National d'Équipement de Production d'Électricité

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

CRT – Chlore Résiduel Total

CSA – Centre de Stockage de l'Aube pour les déchets à faible et moyenne activité

CTE – système de traitement biocide du circuit tertiaire

CTF – vaccination acide des réfrigérants atmosphériques

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 de l'unité de production à l'arrêt

EIPR – Élément Important pour la Protection des intérêts relatifs à la maîtrise des Risques conventionnels

ESE - Évènement Significatif Environnement

ETY – système de surveillance et de contrôle de l'atmosphère du bâtiment réacteur

Ex - réservoir d'entreposage des effluents liquides éventuellement radioactifs de la salle des machines

FACR – Fiche d'Analyse du Cadre Réglementaire des modifications notables

FAVL - Faible Activité à Vie Longue

FMAVC - Faible à Moyenne Activité à Vie Courte

GES – Gaz à Effet de Serre

HAP – Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

HAVL - Haute Activité à Vie Longue

HFC – fluide frigorigène de type Hydrogène-Fluoro-Carbone

HK – casemates de la caverne des auxiliaires à Chooz A

HR - casemates de la caverne du réacteur à Chooz A

IBD – Indice Biologique Diatomées

IBMR – Indice Biologique Macrophyte en Rivière

ICEDA – Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés

IDT FAMA - Installation de Découplage et de Transit des déchets de Faible Activité à Moyenne Activité

IDT TFA – Installation de Découplage et de Transit des déchets de Très Faible Activité

INB - Installation Nucléaire de Base

IQBP – Indice de Qualité Biologique Potentielle

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MAVL - Moyenne Activité à Vie Longue

MES - Matières En Suspension

MGCE 12 prélèvements – Indice Macroinvertébrés Grand Cours d'Eau – 12 prélèvements

MIN2 : MINimum 2 de la cuve

NTK - azote Kjeldahl

PA – Produit d'Activation

PCB - PolyChloroBiphényles

PEHD – PolyEthylène Haute Densité

PF – Produit de Fission

PLMP – Programme Local de Maintenance Préventive

PNEC – Predicted No Effect Concentration

RCV – système de Contrôle Volumétrique et chimique du circuit primaire

REP – Réacteur à Eau Pressurisée

RIS – circuit d'injection de sécurité au niveau de circuit primaire

RRM – système de ventilation du bâtiment réacteur

S - réservoir d'entreposage des effluents liquides radioactifs utilisé après accord de l'ASN ou en cas d'urgence

SD – Seuil de Décision

SDA – Système de production d'eau Déminéralisée

SEO – réseau d'eaux pluviales

SES – système d'eau surchauffée pour chauffage de différents bâtiments

SEZ - piézomètre

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

SM1, SM2 et SM3 – Station Multi Paramètres respectivement à l'amont, au rejet et à l'aval du CNPE

SRI – circuit de réfrigération du circuit secondaire

STE LB – Service Technique Environnement Section LaBoratoire

STEP – STation d'EPuration

T – réservoir d'entreposage des effluents liquides radioactifs

TAC – Turbine à Combustion

TEG - Traitement des Effluents Gazeux

TEGG – département des Techniques de réalisation et Expertises en Génie civil et Géosciences de la Direction Industrielle

TEP – Traitement des Effluents Primaires

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

THM – TriHaloMéthanes

TRI – système de réfrigération du Bâtiment de Traitement des Effluents

UFC - Unité Formant Colonie

UNGG – Uranium Naturel Graphite Gaz

VD – Visite Décennale

VTR – Valeurs Toxicologiques de Référence

ZER – Zone à Emergence Réglementée

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Chooz Année 2022

Concentrations en légionelles :

	Meuse amont	Concentration en <i>Legionella pneumophila</i> (UFC/L) Fréquence : bimensuelle	
		Unité de production n°1	Unité de production n°2
06/01/2022	/	Arrêt de l'unité de production - circuit tertiaire, lieu du prélèvement pour analyse <i>Legionella pneumophila</i> , sans eau	< 100 (unité de production arrêtée mais circuit tertiaire avec de l'eau)
Février 2022	/	Arrêt des unités de production n°1 et n°2 pour réaliser des contrôles préventifs sur le circuit d'injection de sécurité RIS au niveau du circuit primaire (circuit fermé comprenant le combustible) - circuit tertiaire, lieu du prélèvement pour analyse <i>Legionella pneumophila</i> , sans eau	
Mars 2022	/		
Avril 2022	/		
Mai 2022	/		
Juin 2022	/		
Juillet 2022	/		
Août 2022	/		
14/09/2022	< 100		
Octobre 2022	/		
Novembre 2022	/		
26/12/2022	/	< 100 (unité de production arrêtée mais circuit tertiaire avec de l'eau)	Arrêt de l'unité de production - circuit tertiaire, lieu du prélèvement pour analyse <i>Legionella pneumophila</i> , sans eau

Concentrations en Nf calculées en aval du site :

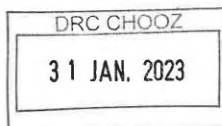
Date	Concentrations en Nf calculées en aval du site	Limite
10/01/2022	< 1	100
26/12/2022	< 3	100

ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Chooz Année 2021

Accessibilité : INTERNE - EXP/CHO
Modèle de sécurité : 00 - Tous les utilisateurs de l'ECM

Document issu de la GED DPI Nucléaire le 17/02/2023

RDU : D454823002210



RAPPORT

SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ANNUEL DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DU CENTRE NUCLÉAIRE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE CHOOZ

ANNÉE 2021

Pôle Santé et Environnement

Rapport IRSN N° 2022-00811

Rapport IRSN N° 2022-00811

RÉSUMÉ

L'objectif du suivi radioécologique du CNPE de Chooz est de caractériser les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche de ce site dans les principales matrices représentatives des compartiments terrestre et aquatique. Il s'agit d'identifier les sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence des radionucléides observés dans l'environnement et d'analyser l'évolution temporelle de leurs activités dans les matrices.

Dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz, le ^{137}Cs est détecté dans toutes les matrices à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les activités du tritium mesurées dans les matrices terrestres se situent dans la gamme du bruit de fond, excepté pour l'activité en tritium libre mesurée dans l'herbe qui indique un marquage par les rejets atmosphériques du CNPE de Chooz. Les activités du ^{14}C en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation nucléaire. Toutefois, une contribution du CNPE de Chooz est attestée par les résultats des mesures trimestrielles en ^{14}C sur l'herbe prélevée à Chooz.

Dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz, le ^{137}Cs , détecté dans toutes les matrices à des niveaux comparables à ceux des années précédentes, est issu des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les mesures de ^{60}Co dans les sédiments, ainsi que les mesures de ^{60}Co et ^{54}Mn dans les phanérogames, prélevés à l'aval du site, révèlent un marquage par les radionucléides artificiels émetteurs gamma provenant des rejets liquides du CNPE de Chooz. Les activités massiques en ^{131}I dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval du CNPE de Chooz sont inférieures au seuil de décision. Les activités en tritium libre de l'eau de boisson et de l'eau d'irrigation correspondent à l'activité en tritium attendue pour le bruit de fond en milieu aquatique hors influence d'un apport industriel local. Les activités en tritium libre, en tritium organiquement lié et en ^{14}C des phanérogames, prélevées à l'aval, sont supérieures à celles mesurées à l'amont et témoignent d'un marquage du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique, tout en révélant des niveaux du même ordre de grandeur que ceux mesurés les années précédentes. Les valeurs mesurées en tritium organiquement lié et en ^{14}C dans les poissons prélevés à l'aval des rejets sont supérieures à celles mesurées à l'amont. Elles témoignent d'un marquage du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique, tout en révélant des niveaux du même ordre de grandeur que ceux mesurés les années précédentes.

Rapport IRSN N° 2022-00811

TABLE DES MATIÈRES

0. OBJECTIFS	9
1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS.....	9
2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE CHOOZ.....	10
2.1. RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE	10
2.1.1. Origine tellurique.....	10
2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ¹⁴ C	10
2.2. RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE.....	11
2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites	11
2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl	13
2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi.....	15
2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF	16
2.2.5. Autres activités	16
3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE	17
3.1. Climatologie.....	18
3.2. Géologie et hydrogéologie.....	18
3.3. Hydrographie et hydrologie	18
4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE CHOOZ	19
4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures	19
4.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre	20
4.2.1. Stratégie d'échantillonnage.....	20
4.2.2. Résultats et interprétation	26
4.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique	28
4.3.1. Stratégie d'échantillonnage.....	28
4.3.2. Résultats et interprétation	33
4.4. Conclusion sur l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Chooz	36
5. TABLEAUX DE RÉSULTATS.....	37
6. BIBLIOGRAPHIE	59
7. ANNEXES.....	61
7.1. Choix des stations de prélèvements	64

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.2. Choix des matrices prélevées	64
7.2.1. Domaine terrestre	65
7.2.2. Domaine aquatique	66
7.3. Choix des fréquences d'analyses	66
7.4. Choix des analyses	66
7.5. Méthode de prélèvements sur le terrain	66
7.5.1. Domaine terrestre	66
7.5.2. Domaine aquatique continental	67
7.6. Préparation et conditionnement des échantillons	68
7.6.1. Domaine terrestre	68
7.6.2. Domaine aquatique continental	70
7.7. Techniques d'analyses	71
7.7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments	71
7.7.2. Identification des espèces vivantes	71
7.7.3. Mesure du tritium libre	71
7.7.4. Mesure du tritium organiquement lié	72
7.7.5. Mesure du ^{14}C	72
7.7.6. Spectrométrie γ	72
7.8. Expression des résultats et unités utilisées	73
7.9. Radionucléides dans l'environnement	76
7.9.1. Radioactivité d'origine naturelle	76
7.9.2. Radioactivité d'origine artificielle	77
7.9.3. Sources de ^3H	78
7.9.4. Sources de ^{14}C	78
7.10. Laboratoires d'analyses	79

Rapport IRSN N° 2022-00811

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figures

Figure 1 – Activités de ^3H dans l'eau de pluie d'après [1].	12
Figure 2 – Evolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]).	13
Figure 3 – Activités surfaciques de ^{137}Cs , calculées pour l'année 2010, sur le bassin versant de la zone d'étude, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [11].	14
Figure 4 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années [1].	15
Figure 5 – Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Chooz.	17
Figure 6 – Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Chooz.	19
Figure 7 – Localisation des stations de prélèvement terrestre et aquatique de la zone proche du site de Chooz pour le suivi radioécologique 2021.	21
Figure 8 – Localisation de la station de prélèvement terrestre de la zone non influencée et rose des vents du site de Chooz pour le suivi radioécologique 2021.	22
Figure 9 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.	33
Figure 10 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des poissons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.	34
Figure 11 – Variation temporelle des activités en TOL des poissons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.	35
Figure 12 – Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.	63
Figure 13 – Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.	69
Figure 14 – Valeurs significatives et seuils de décisions dans les graphiques.	74
Figure 15 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).	76
Figure 16 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.	77

Rapport IRSN N° 2022-00811

Tableaux

Tableau 1 : Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2021 de l'environnement du site de Chooz.....	23
Tableau 2 : Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2021 de l'environnement du site de Chooz.....	29
Tableau 3 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	37
Tableau 4 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	38
Tableau 5 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels, de 2012 à 2021.....	39
Tableau 6 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux cultivés (légumes) collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	41
Tableau 7 : Activités volumiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	42
Tableau 8 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol récolté dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz lors du suivi radioécologique en 2021.....	43
Tableau 9 : Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux).....	44
Tableau 10 : Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sols et les végétaux).....	45
Tableau 11 : Activités massiques et volumiques en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chooz en 2021.....	46
Tableau 12 : Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chooz dans le cadre du suivi radioécologique 2021.....	47
Tableau 13 : Activités en ^{90}Sr dans le lait prélevé dans l'environnement du CNPE de Chooz dans le cadre du suivi radioécologique 2021.....	47
Tableau 14 : Activités volumiques en radionucléides émetteurs β des échantillons d'eau collectés dans l'environnement du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021 ($Bq.L^{-1}$).....	48
Tableau 15 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	49

Rapport IRSN N° 2022-00811

Tableau 16 : Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (mousses et phanérogames immergées, toutes fractions confondues) collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.	50
Tableau 17 : Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de poissons (muscle) collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.....	51
Tableau 18 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiments récoltés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz lors du suivi radioécologique en 2021.	53
Tableau 19 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans l'environnement aquatique en amont (fond clair) et en aval (fond grisé) du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les poissons).	54
Tableau 20 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans l'environnement aquatique en amont (fond clair) et en aval (fond grisé) du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les poissons).	55
Tableau 21 : Activités massiques et volumiques en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.	56
Tableau 22 : Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.....	57
Tableau 23 : Activités en ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.....	57
Tableau 24 : Activités en ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.....	57

Rapport IRSN N° 2022-00811

0. OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) pour effectuer un suivi radioécologique annuel de l'environnement proche du Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) de Chooz.

L'objectif de cette étude est de caractériser, chaque année, les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche du CNPE de Chooz dans un grand nombre de matrices du compartiment terrestre et aquatique et pour un large spectre de radionucléides. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine des radionucléides observés dans l'environnement, et d'analyser l'évolution des radionucléides au cours de la dernière décennie.

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS

La stratégie de prélèvement et d'analyse définie par EDF est commune à l'ensemble des sites. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier le point de collecte, le nombre ou la nature des analyses réalisées. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local en milieu terrestre, et en fonction de l'hydrodynamisme local en milieu aquatique (Annexe 7.1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexe 7.2 et Annexe 7.5). Elles correspondent également pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence. Les matrices prélevées tiennent également compte de la réglementation applicable à chaque CNPE.

L'ensemble des analyses sont réalisées à fréquence annuelle, ainsi qu'à fréquence trimestrielle pour le ^{14}C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 7.3), voire quinquennale pour quelques techniques plus pointues. Dans la plupart des matrices collectées, une analyse gamma, une analyse de tritium organiquement lié voire de tritium libre, et une analyse de ^{14}C sont réalisées (Annexes 7.6, 7.7, 7.8 et 7.9). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 7.4). L'analyse des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de caractériser les échantillons prélevés, de vérifier la qualité des prélèvements et des analyses. Les méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyses des échantillons mises en œuvre aux fins de la présente étude sont détaillées en annexes (Annexes 7.5, 7.6 et 7.7).

Rapport IRSN N° 2022-00811

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE CHOOZ

La présence de radionucléides artificiels dans l'environnement aquatique et terrestre du CNPE de Chooz résulte des retombées atmosphériques globales liées aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, des rentrées atmosphériques de satellites artificiels, des utilisations médicales de sources radioactives et des rejets d'effluents des installations, ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi (Figure 3 page 14).

2.1. RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines : les radionucléides telluriques présents depuis la formation de la Terre et le rayonnement cosmique qui produit de manière permanente des radionucléides cosmogéniques.

2.1.1. Origine tellurique

Les radionucléides d'origine tellurique sont principalement le ^{40}K et les produits des chaînes de désintégration de l' ^{238}U , de l' ^{235}U et du ^{232}Th . Présents dans l'écorce terrestre, ces radionucléides sont persistants dans les divers compartiments de l'environnement du fait de leur période radioactive très longue, jusqu'à plusieurs milliards d'années. Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [1].

2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ^{14}C

Le rayonnement cosmique en provenance du soleil et de l'espace interagit avec la haute atmosphère terrestre et engendre en permanence la production de radionucléides cosmogéniques, comme le tritium (^3H), le ^{14}C , ^7Be et le ^{22}Na . Leurs niveaux d'activité usuels sont indiqués dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [1].

Le ^3H et le ^{14}C ont également une origine anthropique, qui sera traitée plus en détail dans le paragraphe 2.2.

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le ^3H (période radioactive : 12,312 ans [2]) est intimement lié au cycle de cet élément dans l'environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée (HTO et TED après déshydratation de la matière organique), ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques et, de ce fait, rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. En situation d'équilibre, il ne s'accumule pas dans tel ou tel composant environnemental ou biologique. Ainsi, les activités en tritium métabolisé dans la matière organique (tritium organiquement lié, TOL) sont généralement à l'équilibre avec les activités en HTO [3, 1]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq.L $^{-1}$.

S'agissant du ^{14}C (période radioactive : 5 700 ans [2]), en milieu terrestre, les observations permettent de montrer que l'activité spécifique, exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total (Bq.kg $^{-1}$ C), est en équilibre dans les composantes de l'environnement, notamment avec celle du CO_2 atmosphérique.

Rapport IRSN N° 2022-00811

Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ [1].

2.2. RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites

Entre 1945 et 1980, les États-Unis d'Amérique, l'Union Soviétique, la France, la Grande-Bretagne et la Chine ont procédé à plus de 500 essais aériens d'armes nucléaires, l'essentiel de la puissance ayant été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962 [4]. Les particules radioactives libérées dans la troposphère et la stratosphère au cours de ces essais sont retombées sur l'ensemble du globe, mais en raison de la localisation des sites de tirs, l'hémisphère nord a reçu la majorité des retombées radioactives issues de ces essais. En France métropolitaine, les retombées de ces essais ont été globalement homogènes et constituent la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement.

En termes d'activité, les dépôts les plus importants concernent les radionucléides à vie courte. Ainsi, en France, les dépôts de ^{131}I , de ^{95}Zr , de $^{144}\text{Ce/Pr}$ et de $^{106}\text{Ru/Rh}$ (périodes radioactives respectives de 8,0233, 64,032, 285,0 et 371,5 jours [2]), aujourd'hui disparus, ont été 10 fois plus importants que les dépôts de radionucléides à vie moyenne (^{90}Sr et ^{137}Cs , de 28,80 et 30,05 ans de périodes radioactives respectives [2]). Les dépôts de radionucléides à vie longue ($^{241}\text{Am}^1$, ^{14}C , ^{240}Pu et ^{239}Pu , de 432,6, 5 700, 6 561 et 24 100 ans de périodes respectives [2]) ont été comparativement très faibles [4]. Le ^{137}Cs , le ^{90}Sr , le ^{238}Pu , le $^{239,240}\text{Pu}$ et ^{241}Am sont détectés encore aujourd'hui dans de nombreux compartiments. Leurs faibles décroissances radioactives et, pour certains, leurs faibles mobilités dans les sols entretiennent un marquage ne diminuant que lentement depuis le milieu des années 1960 [4]. Dans une moindre mesure, la désintégration de onze satellites artificiels lors de leur entrée dans l'atmosphère, entre 1964 et 1996, a provoqué la dispersion dans l'atmosphère terrestre de ^{238}Pu , de ^{235}U et de leurs produits de fission, puis leurs retombées sur l'ensemble de la planète. Pour ces radionucléides, l'activité rémanente des retombées anciennes constitue, dans le cadre de la présente étude, un bruit de fond radiologique dont les valeurs sont présentées dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français [1] et plus brièvement ci-dessous. En 2018, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ^{137}Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 Bq.m^{-2} [5], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ^{137}Cs . Elles ont été augmentées par les retombées de l'accident de Tchernobyl (voir paragraphe suivant). En comparaison, celles de l'accident de Fukushima-Daiichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Le ^3H a été massivement émis lors des essais aériens d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décliné à moins de 10 Bq.L^{-1} dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L^{-1} [6, 7, 1] (Figure 1 page 12).

¹ L' ^{241}Am n'a pas été produit directement lors des essais mais par la décroissance du ^{241}Pu ($T=14,4$ ans).

Rapport IRSN N° 2022-00811

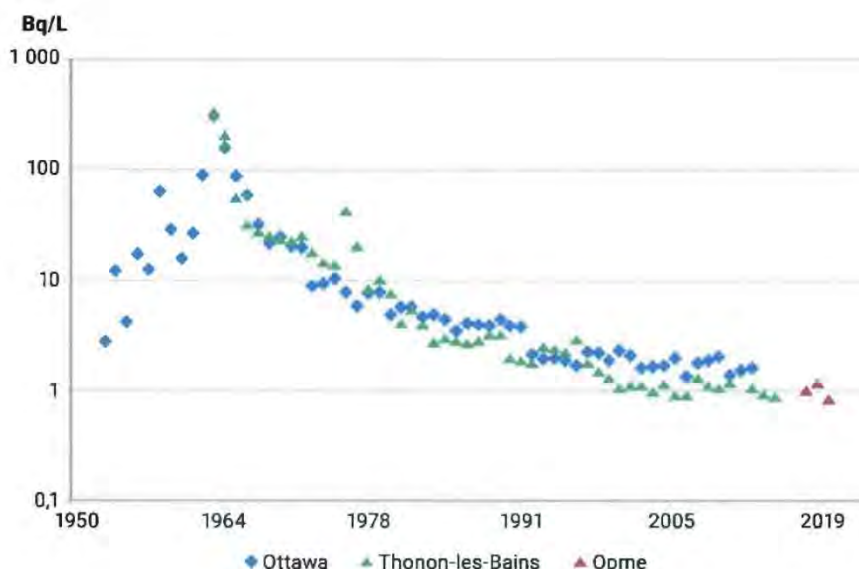


Figure 1 – Activités de ^3H dans l'eau de pluie d'après [1].

Les valeurs acquises pour les eaux des cours d'eau français en dehors des zones d'influence des rejets industriels (tête de bassin versant ou hydro-systèmes non nucléarisés) sur la même période ne présentent pas de différence significative par rapport aux niveaux observés dans les eaux de pluie [8]. Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO directement dans l'eau et TED par collecte de l'eau de dessiccation, exprimés respectivement en Bq.L^{-1} et en Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, abrégé en Bq.L^{-1} ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimé en Bq.L^{-1} d'eau de combustion, abrégé en Bq.L^{-1} EC). Hors influence industrielle locale, les formes libres (HTO et TED) sont à l'équilibre avec les niveaux atmosphériques actuels. Le bruit de fond radiologique du tritium libre et du tritium organiquement lié en milieu terrestre hors influence d'un rejet est de l'ordre de $1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ en France métropolitaine (dans une gamme allant de $0,37$ à $1,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ pour le TOL, et de $0,5$ à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et le TED d'après [1]) pour les matrices annuelles, proche des activités en tritium libre de la vapeur d'eau atmosphérique.

Les essais aériens d'armes nucléaires ont également conduit à l'époque à doubler les quantités de ^{14}C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C a atteint plus de 400 Bq.kg^{-1} de C avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des rejets de CO_2 dans l'atmosphère liée à l'utilisation grandissante de combustibles fossiles, dépourvus de ^{14}C [9]. En 2021, elle est de $223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C [1] et est semblable à l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens ($226,0 \pm 1,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C) [1] (Figure 2 page 13).

Rapport IRSN N° 2022-00811

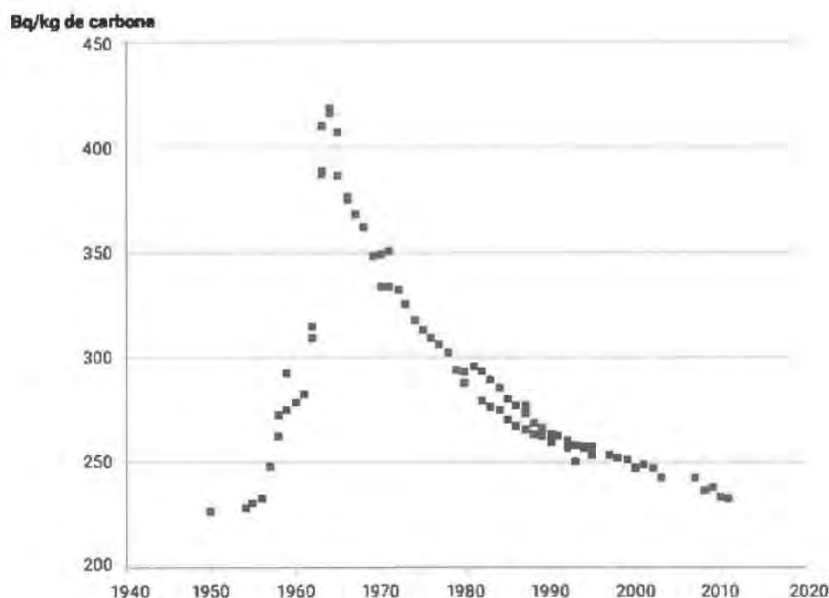


Figure 2 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [1]).

Le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 $\text{Bq.kg}^{-1} \text{C}$ [1].

De nos jours, les apports industriels en ^3H et ^{14}C , notamment ceux liés aux CNPE, peuvent être identifiés, dans le milieu terrestre, par des activités mesurées un peu plus élevées dans des feuilles d'arbre et de lierre à proximité du CNPE ou dans l'herbe prélevée à la station AS1 et, dans le milieu aquatique, par des activités mesurées plus élevées dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés à l'aval du CNPE, comparativement à l'amont.

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl (Ukraine), en service depuis 3 ans, explose accidentellement lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission dans l'atmosphère de produits de fission et d'activation jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Pendant dix jours, près de 10^7 TBq sont libérés dans l'environnement, la majorité des radionucléides émis ayant une période radioactive inférieure à un mois. Jusqu'à la mi-mai 1986, la dispersion du panache radioactif dissémine divers radionucléides sur la plupart des pays d'Europe. La dispersion du panache radioactif s'accompagne d'une dilution de l'activité volumique des radionucléides artificiels au sein de celui-ci. Ainsi, l'activité mesurée au sein du panache au voisinage du réacteur accidenté, de l'ordre de 10^7 Bq/m^3 , n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m^3 lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés

Rapport IRSN N° 2022-00811

dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et sept ont principalement été mis en évidence sur le territoire français (^{103}Ru , $^{106}\text{Ru/Rh}$, ^{110m}Ag , ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs et ^{137}Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire et, plus particulièrement, la moitié est de la France. La carte de la Figure 3 page 14 présente la répartition estimée des activités surfaciques en ^{137}Cs sur le bassin versant de la Moselle, issues de la rémanence des retombées des essais aériens d'armes nucléaires, ainsi que celles consécutives à l'accident de Tchernobyl. De nos jours, seul le ^{137}Cs est encore mesurable [10].

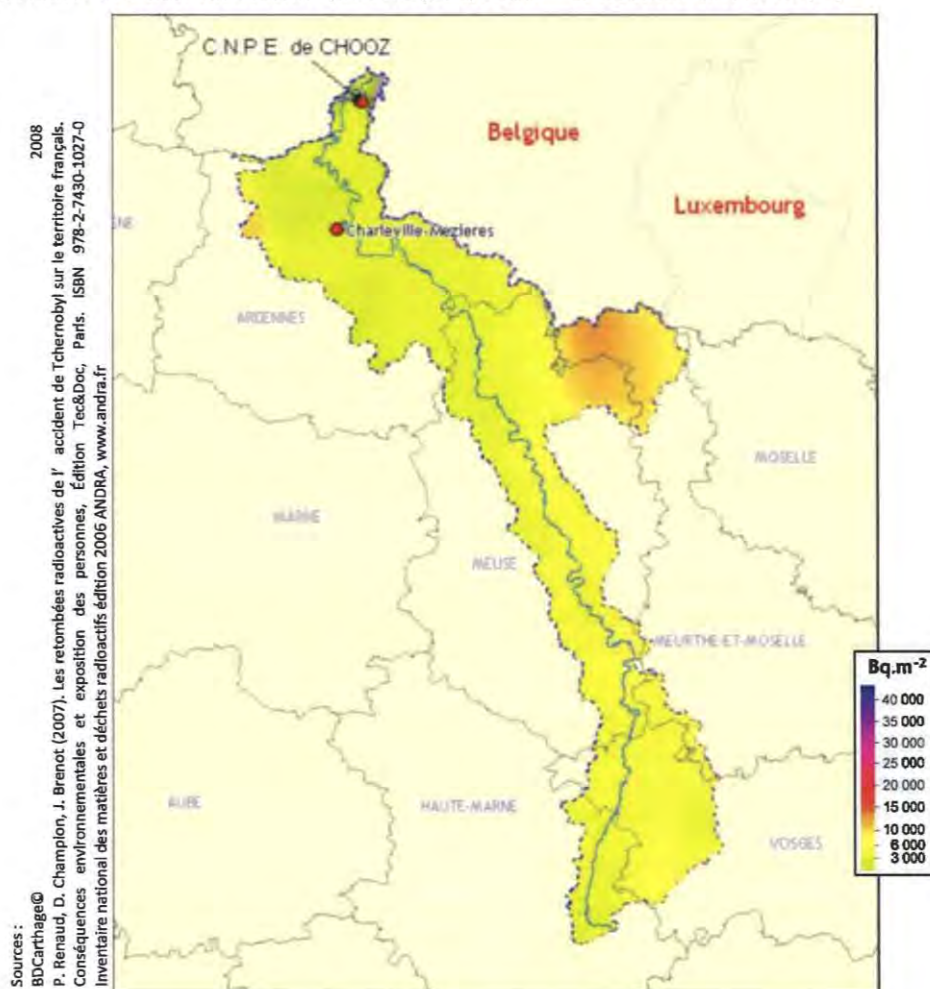


Figure 3 – Activités surfaciques de ^{137}Cs , calculées pour l'année 2010, sur le bassin versant de la zone d'étude, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [11].

Rapport IRSN N° 2022-00811

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

Les dépôts issus des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima Daiichi survenus le 11 mars 2011 ont été de 500 à plus de 1000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl (Figure 4, page 15). Les résultats d'analyse réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence de ^{131}I , de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [12]. Le ^{131}I , du fait de sa courte période radioactive (8 jours), a rapidement disparu de l'environnement. Le ^{134}Cs , dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,34 ans), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ^{137}Cs sont difficilement imputables à ce seul événement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide dans l'environnement proche du CNPE de Chooz.

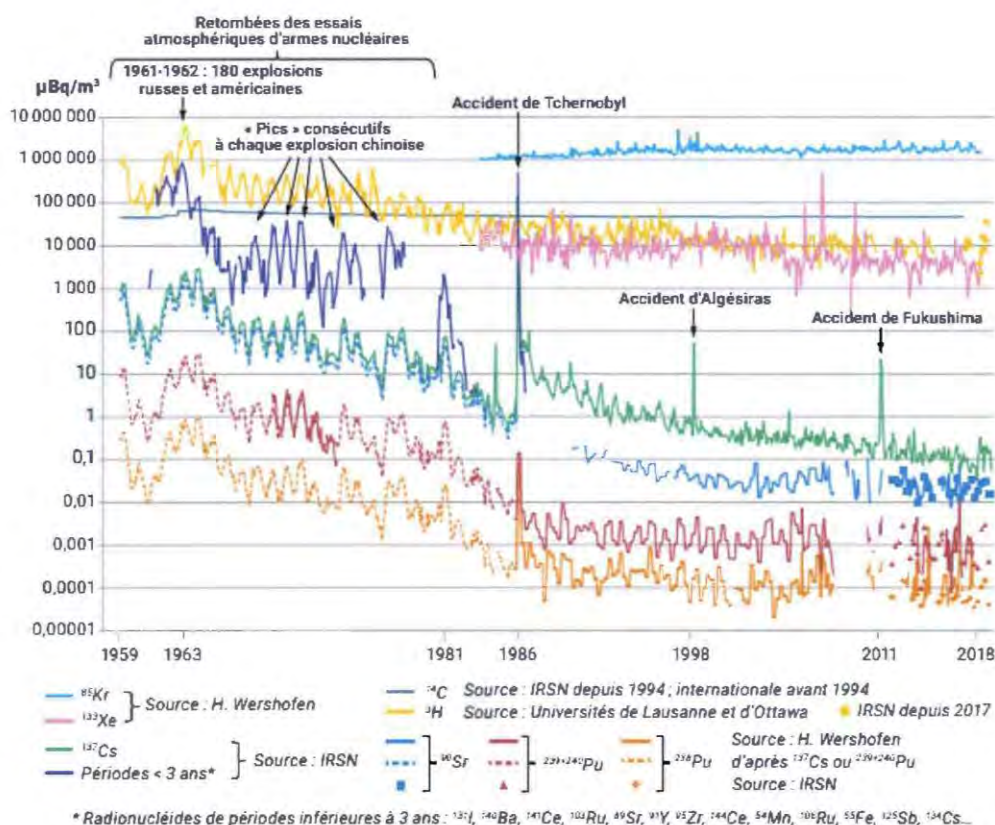


Figure 4 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années [1].

Rapport IRSN N° 2022-00811

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF

L'exploitation d'un réacteur nucléaire implique la génération d'isotopes radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission) et de l'activation des différents matériaux, notamment ceux de la structure et de certains composés issus du conditionnement des circuits (produits d'activation). Dans le cadre des décisions de rejets émises par l'ASN, les CNPE sont autorisés à rejeter, en fonctionnement normal, une partie de ces produits de fission et d'activation dans l'environnement par voie liquide et/ou atmosphérique. Ces rejets sont ainsi susceptibles de marquer l'environnement autour des installations nucléaires.

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des CNPE comprennent notamment le tritium, le ^{14}C , l' ^{41}Ar , les xénons métastables 131, 133 et 135, le ^{85}Kr , les ^{131}I et ^{133}I , les ^{58}Co et ^{60}Co et les ^{134}Cs et ^{137}Cs . Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ^{14}C , les ^{58}Co et ^{60}Co , le ^{63}Ni , les ^{124}Sb et ^{125}Sb , les ^{134}Cs et ^{137}Cs , le ^{54}Mn , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, le $^{123\text{m}}\text{Te}$, et l' ^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ sont rejetés dans une moindre mesure.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans les cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'événements intéressants l'environnement pour l'année 2021.

2.2.5. Autres activités

Plusieurs unités hospitalières de radiothérapie ou de radiodiagnostic sont présentes en amont du CNPE de Chooz (Figure 5 page 17). Parmi les principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6,0067 heures [2]) et l' ^{131}I (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,0233 jours [2]) représentent à eux seuls près de 99 % de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [13]. L' ^{131}I ainsi introduit dans l'environnement via les urines et les selles des patients traités peut être détecté dans les stations d'épuration et en aval des celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, l' ^{131}I peut être mesuré dans les végétaux aquatiques.

Rapport IRSN N° 2022-00811

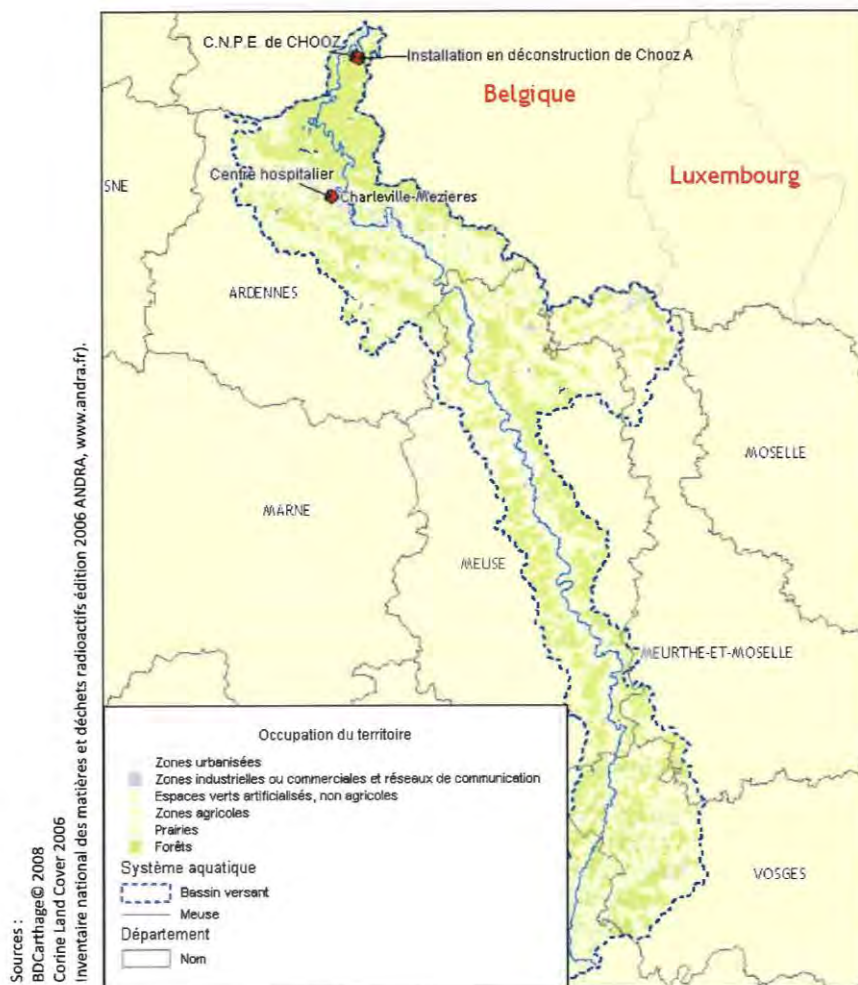


Figure 5 – Localisation des établissements détenant des radionucléides sur le bassin versant de la zone d'étude du CNPE de Chooz.

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE

La zone d'étude est couverte à 40 % par de la forêt, 28 % par des terrains cultivés et à 28 % par des prairies. Les zones anthropisées représentent 4 % de la surface totale. A proximité immédiate du site de Chooz (rayon de 5 km), les plantes fourragères représentent l'essentiel de la Surface Agricole Utile (66 % de la SAU). Le maïs et le blé tendre couvrent 29 % de la SAU, les oléagineux 3,7 %. Le bassin versant de la Meuse s'étire du Sud vers le

Rapport IRSN N° 2022-00811

Nord en un mince sillon qui s'étend sur les départements de la Haute-Marne, des Vosges, de la Meurthe-et-Moselle, de la Meuse, de la Moselle et des Ardennes. Ensuite, la Meuse s'écoule en Belgique.

3.1. Climatologie

La partie sud du département est soumise à des hivers plus froids et des étés plus chauds que ceux d'un climat océanique. Le volume des précipitations annuelles oscille autour de 900 mm. La saison hivernale apporte l'essentiel des pluies tandis que les étés sont souvent secs et très chauds.

Plus au nord, les Ardennes subissent de fortes précipitations en automne et de fréquentes gelées en hiver. La pluviométrie annuelle peut localement dépasser 1 000 mm. Le gel peut être marqué et se produire tardivement dans l'année.

3.2. Géologie et hydrogéologie

Du sud-ouest au nord-est, se succèdent la large plaine crayeuse de Champagne, les formations de base du Crétacé puis du Jurassique qui, par leur alternance de niveaux peu épais, déterminent des séries de reliefs et de dépressions peu marquées, et enfin le massif de roches primaires (calcaires, grès, quartzites et schistes) des Ardennes, plus vallonné et recouvert de forêts.

La vallée de la Meuse, d'abord orientée sud-est – nord-ouest sur les affleurements jurassiques et parallèlement à ceux-ci, s'infléchit vers le Nord à Charleville-Mézières et traverse le massif des Ardennes, qu'elle entaille profondément.

3.3. Hydrographie et hydrologie

La Meuse prend sa source dans le Bassigny et s'écoule sur 486 km en France. Son bassin versant français s'étend sur 10 120 km². La Meuse traverse des régions très arrosées. Elle possède des affluents nombreux et souvent assez courts. Le débit moyen de la Meuse à Chooz est de 144 m³.s⁻¹ et celui de la crue décennale de 1 100 m³.s⁻¹ (source : Banque HYDRO). Cette région fonde quasi-exclusivement ses ressources en eau sur l'eau souterraine. En aval du CNPE de Chooz, aucune agglomération française ne distribue d'eau provenant de la Meuse.

Rapport IRSN N° 2022-00811

4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE CHOOZ

4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Chooz est localisé sur la commune de Chooz à 4 km de la frontière avec la Belgique, à 50 km environ au nord de la ville de Charleville-Mézières. La partie la plus ancienne du CNPE de Chooz (« Chooz A ») est située en rive droite de la Meuse, à 7 km au sud-ouest de Givet. Ce premier réacteur de 305 MWe a été couplé au réseau en avril 1967 et a été définitivement arrêté le 30 octobre 1991. Des effluents radioactifs liquides et gazeux sont rejetés par cette partie de l'installation en cours de déconstruction. La seconde partie du CNPE, « Chooz B », est située en rive gauche de la Meuse, en face de Chooz A. Les deux réacteurs de Chooz B (1450 MWe) ont divergé respectivement le 25 juillet 1996 et le 11 mars 1997.

La chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE est exposée sur la Figure 6 page 19, les références bibliographiques sont présentées à la fin du rapport.

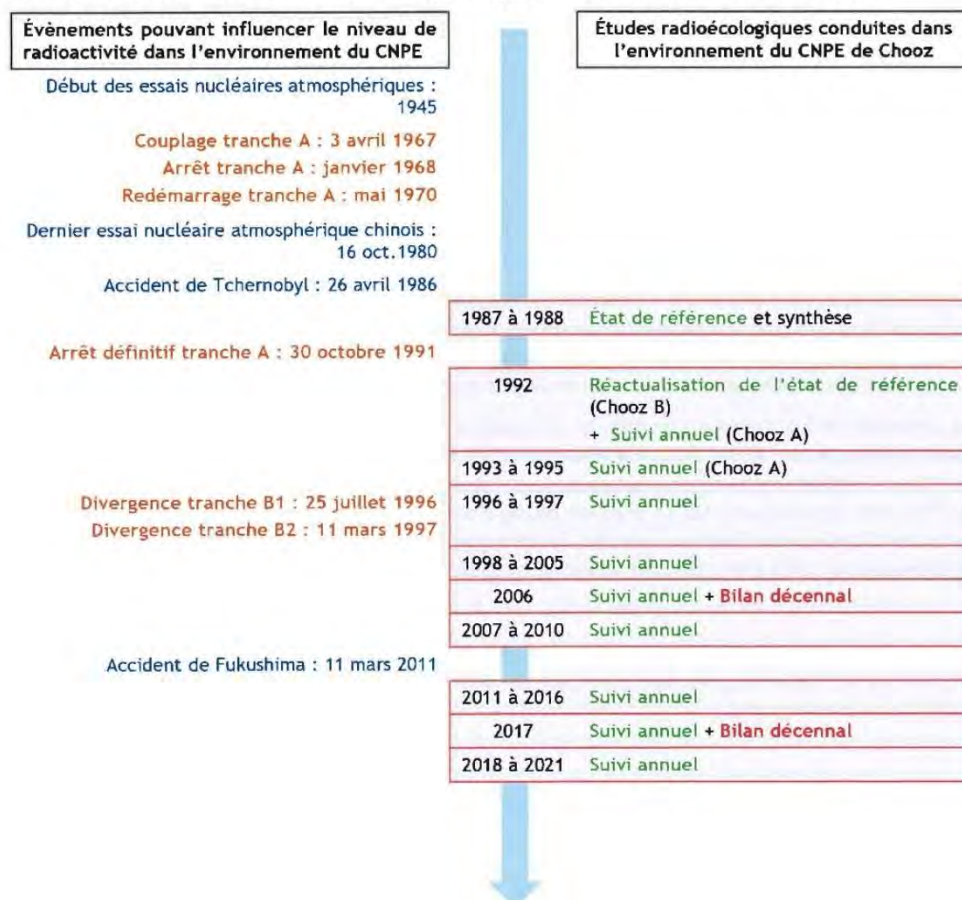


Figure 6 – Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Chooz.

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.2. État radiologique de l'environnement terrestre

4.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des sites de prélèvement ainsi que la nature des prélèvements réalisés sont reportées sur les Figure 7 et Figure 8 ci-après. Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon sont présentées dans le Tableau 1 page 23 et suivante.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexe). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles et herbe), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. En 2021, la stratégie a consisté à prélever une mousse terricole, une production agricole (salades), un sol de prairie, de l'herbe et un lait sous les vents dominants (ZI). Hors vents (ZNI), une production agricole (salades) est collectée. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées. Il n'a pas été possible de trouver un autre maraîcher, en zone non influencée, qu'à Bulson à 51km du site.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local. Les échantillons sous les vents dominants à l'est et au nord-est du CNPE de Chooz sont prélevés à Chooz. Les échantillons hors vents dominants au sud-sud-est et à plus de 50km de l'installation sont prélevés à Bulson. La localisation des stations et la nature des prélèvements permettent la comparaison des résultats avec ceux des années précédentes.

Les échantillons analysés ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma. Des mesures de tritium libre (TED) et de tritium organiquement lié (TOL) ont été réalisées sur l'herbe, le lait et la salade de la zone influencée. Une mesure de ^{14}C a été réalisée sur le lait et la salade en zone influencée et la salade de la zone non influencée. Une mesure de ^{90}Sr a été réalisée sur le lait et le sol de prairie en zone influencée. En outre, l'herbe fait l'objet de quatre mesures de ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2021 ainsi que dans le rapport du suivi radioécologique annuel de l'année 2022.

Une mesure de ^{55}Fe , prévue dans la stratégie sur le sol de prairie en zone influencée n'a pu être réalisée du fait d'une concentration en fer stable trop élevée (195 mg/g cendres). La mesure de ^{131}I a été réalisée sur les mousses prélevées en zone influencée.

Rapport IRSN N° 2022-00811

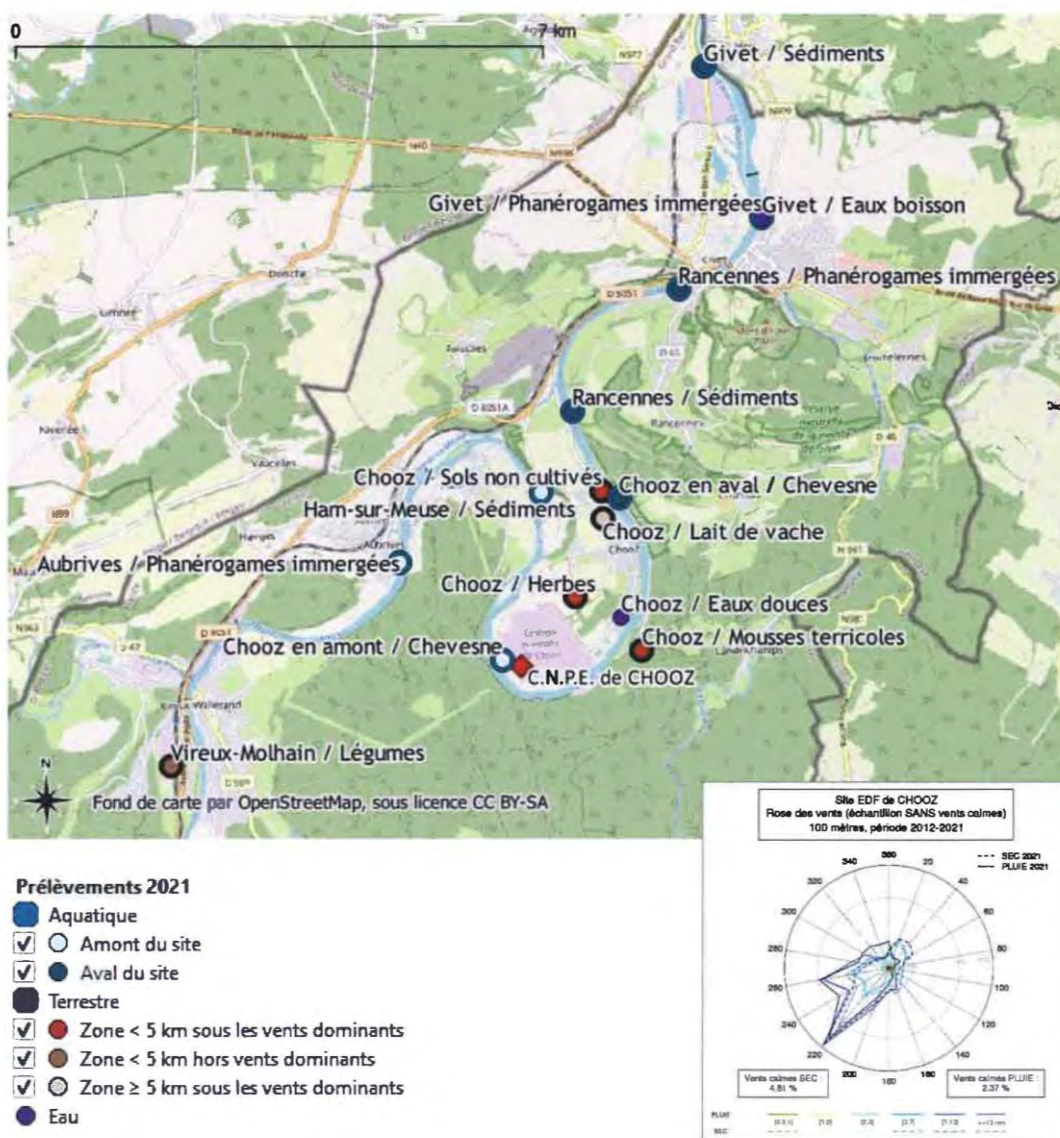


Figure 7 – Localisation des stations de prélèvement terrestre et aquatique de la zone proche du site de Chooz pour le suivi radioécologique 2021.

Rapport IRSN N° 2022-00811



Figure 8 – Localisation de la station de prélèvement terrestre de la zone non influencée et rose des vents du site de Chooz pour le suivi radioécologique 2021.

Tableau 1 : Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine terrestre lors du suivi radioécologique 2021 de l'environnement du site de Chooz.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée / Analyisée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
53,18 km SSE	Chooz - Zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	04,91597	49,61822	Légumes	Salade	Parties aériennes	24/06/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	17,65	-
53,18 km SSE	Chooz - Zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	04,91597	49,61822	Légumes	Salade	Parties aériennes	24/06/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	17,65	-
53,18 km SSE	Chooz - Zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	04,91597	49,61822	Légumes	Salade	Parties aériennes	24/06/2021	C élémentaire (Sec)	17,65	-
53,18 km SSE	Chooz - Zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	04,91597	49,61822	Légumes	Salade	Parties aériennes	24/06/2021	Gamma (Cendre)	23,58	4,37
0,92 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,79779	50,09635	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	27/04/2021	H-3 libre (Liquide)	3,23	-
0,92 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,79779	50,09635	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	27/04/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,23	-
0,92 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,79779	50,09635	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	27/04/2021	H-3 lié (Sec)	3,23	-
0,92 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,79779	50,09635	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	27/04/2021	Gamma (Cendre)	3,37	10,17
1,39 km E	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80985	50,08984	Mousses terricoles	Rhytidiadelphus triquetrus	Parties aériennes	27/04/2021	Gamma (Frais)	1,10	-
1,39 km E	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80985	50,08984	Mousses terricoles	Rhytidiadelphus triquetrus	Parties aériennes	27/04/2021	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	1,10	-
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	Gamma (Cendre)	7,68	16,86
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	mesure de Ca (Cendre)	7,68	16,86
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	Sr-90 par compt. Prop. (Cendre)	7,68	16,86
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	H-3 libre (Liquide)	6,94	-
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	C élémentaire (Sec)	6,94	-
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	H-3 lié (Sec)	6,94	-

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/Analyisée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	6,94	-
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	6,94	-
2,02 km NE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80313	50,10579	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier	24/06/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	6,94	-
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	0 < 2 mm State 0-5 cm	22/06/2021	mesure de Ca (Cendre)	1,41	1,11
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	0 < 2 mm State 0-5 cm	22/06/2021	Fe-55 par SL (Cendre)	1,41	1,11
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	0 < 2 mm State 0-5 cm	22/06/2021	Sr-90 par compt. Prop. (Cendre)	1,41	1,11
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	0 < 2 mm State 0-5 cm	22/06/2021	Gamma (Sec)	1,41	-
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier Strate 0-5cm	22/06/2021	MO après combustion (Sec)	1,41	-
2,34 km NNE	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Chooz	04,80301	50,10904	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Entier Strate 0-5cm	22/06/2021	Granulométrie (Sec)	1,41	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 libre (Liquide)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 lié (Sec)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	C élémentaire (Sec)	20,75	-
5,07 km O	Chooz - Zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	04,72196	50,07726	Légumes	Salade	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Cendre)	16,06	4,61

- : absence de traitement.

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation

Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.2.2. Résultats et interprétation

4.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Les résultats de spectrométrie γ sont reportés dans le Tableau 9 page 44, pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 10 page 45, pour la radioactivité d'origine artificielle.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Dans les sols, l'activité massique la plus élevée est celle du ^{40}K . En comparaison du ^{40}K , les descendants de l' ^{238}U ($^{234\text{m}}\text{Pa}$) et du ^{232}Th (^{228}Ac) présentent des activités massiques plus faibles. Les activités massiques de ces radionucléides d'origine naturelle mesurées dans les sols sont comparables à la gamme des activités mesurées dans les sols français [1].

Dans les légumes-feuilles et l'herbe, le ^{40}K est prépondérant alors que dans les mousses, les activités du ^7Be sont du même ordre de grandeur voire supérieures à celles du ^{40}K . Dans les légumes-feuilles, le ^{40}K est prépondérant, puis le ^7Be , alors que l'activité massique en ^{210}Pb , descendant de l' ^{238}U , est plus faible. Les activités massiques en ^{40}K et en ^{210}Pb mesurées dans les végétaux sont comparables à la gamme des activités des végétaux mesurées sur le reste du territoire [1].

Dans le lait, l'activité volumique du ^{40}K , seul radionucléide émetteur gamma d'origine naturelle mesuré dans cette matrice, est comparable à la gamme des activités en ^{40}K du lait sur le territoire national [14]. L'activité en ^{40}K dans cette matrice est toujours proche de 50 Bq.L^{-1} , quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement, car l'activité en potassium du lait est régulée physiologiquement par l'animal.

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

4.2.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Parmi toutes les matrices analysées dans le milieu récepteur terrestre (sols non cultivés, salades, herbe, mousse et lait), le ^{137}Cs est le seul radionucléide gamma d'origine artificielle détecté en 2021. Dans le sol, l'activité massique en ^{137}Cs est comparable aux activités mesurées lors des années précédentes (Tableau 3 page 37) et s'inscrit dans la gamme des activités de ce radionucléide artificiel dans les sols français [1]. Les activités massiques en ^{137}Cs des salades, de l'herbe, des mousses et du lait se situent dans la continuité des observations réalisées dans l'environnement du CNPE de Chooz les années précédentes (Tableau 4 à Tableau 7 page 38 et suivantes).

Les mesures effectuées en 2021 en milieu terrestre ne révèlent pas de marquage par les radionucléides artificiels émetteurs gamma provenant des rejets atmosphériques du CNPE de Chooz.

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

4.2.2.2.1 Tritium

Les résultats de mesure du tritium dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz sont reportés dans le Tableau 11 page 46.

Dans les échantillons de salade et de lait prélevés sous les vents dominants, l'activité volumique en tritium libre sont dans la gamme du bruit de fond en milieu terrestre ($0,5$ à $2 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$, d'après [1]). En revanche, l'activité en tritium libre de l'herbe prélevée sous les vents dominants ($3,2 \pm 0,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$) est supérieure au bruit de fond et indique un marquage de l'environnement terrestre en tritium par les rejets atmosphériques du CNPE de Chooz. Dans les échantillons de salade, d'herbe et de lait prélevés sous les vents dominants, l'activité en tritium organiquement lié sont dans la gamme du bruit de fond ($0,37$ à $1,8 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$, d'après [1]) pour le lait et en haut de la gamme du bruit de fond pour l'herbe et la salade (respectivement, $2,1 \pm 0,7$ et $1,9 \pm 1,1 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$), sans pouvoir attester un marquage par le tritium provenant des rejets atmosphériques du CNPE de Chooz, compte tenu des incertitudes de mesure. Les activités en tritium libre mesurées dans l'herbe, la salade et le lait de l'environnement terrestre du CNPE de Chooz en 2021 sont sensiblement plus élevées que celles observées les années précédentes. En revanche, les activités en tritium organiquement lié sont dans la continuité de celles observées les années précédentes (Tableau 5 page 39 ; Tableau 6 page 41 ; Tableau 7 page 42).

4.2.2.2.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz en 2021 sont reportés dans le Tableau 12 page 47.

Les résultats sont en accord avec le niveau attendu en dehors d'un apport industriel local ($223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ de C}$ [1]) pour l'échantillon de lait prélevé sous les vents dominants, ainsi que pour les deux échantillons de salades prélevées hors vent et sous les vents dominants. Toutefois, une contribution du CNPE de Chooz est attestée par les résultats des mesures trimestrielles de l'année 2021 en ^{14}C sur l'herbe prélevée à Chooz, qui ont évolué de 231 à $266 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ (cf. Tableau 5 page 39).

4.2.2.2.3. Strontium 90

Les résultats de la mesure du ^{90}Sr du lait dans l'environnement du CNPE de Chooz en 2021 sont reportés dans le Tableau 13 page 47.

Les activités massiques de ce radionucléide dans le lait sont comparables aux mesures effectuées par le passé (Tableau 7 page 42) et comprises dans la gamme des activités de ce radionucléide artificiel dans les laits prélevés en France [1].

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.3. Etat radiologique de l'environnement aquatique

4.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des sites de prélèvement ainsi que la nature des prélèvements réalisés sont reportées sur la Figure 7 page 21.

Les caractéristiques (dates de prélèvement, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon sont développées dans le Tableau 2 page 29 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 18 page 53. Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse dans l'environnement aquatique des CNPE est commune à l'ensemble des sites continentaux (Annexe), avec des prélèvements réalisés à la fois en amont et en aval du point de rejet du CNPE.

Aucun végétal aquatique n'étant présent à la station amont de Ham-sur-Meuse, les phanérogames ont été prélevées à l'amont à Aubrives. De surcroît, en 2021, il n'a pas été trouvé suffisamment de phanérogames de même espèce à l'amont par rapport à l'aval (myriophylles). Ainsi, du cératophylle a été prélevé à Aubrives afin de pouvoir réaliser une partie des mesures.

La collecte des poissons est réalisée par pêche au filet avec la collaboration d'un pêcheur professionnel. De manière à collecter un nombre suffisant de poissons adultes, d'environ 10 ans d'âge, en amont et en aval de l'installation pour réaliser les analyses, 5 chevesnes d'environ 1,6 kg en moyenne ont été prélevés à l'amont et 5 autres chevesnes d'environ 1,4 kg en moyenne ont été prélevés à l'aval. Les mesures réalisées sur les poissons ont porté sur les muscles afin d'étudier la fraction susceptible d'être consommée par l'homme et de s'affranchir du contenu du tractus gastro-intestinal.

Les poissons font l'objet d'une mesure par spectrométrie γ , de tritium organiquement lié et de ^{14}C . Les phanérogames aquatiques sont mesurées par spectrométrie γ et font l'objet d'une mesure en tritium libre, TOL, ^{14}C , ^{55}Fe , ^{63}Ni et en ^{131}I .

L'eau a été prélevée sur le réseau de distribution d'eau de boisson de la ville de Givet, à défaut d'une eau de boisson identifiée plus en amont. L'eau provient d'un champ captant alimenté par un affluent de la Meuse, situé hors influence des rejets d'effluents liquide du CNPE. Une eau d'irrigation a été prélevée à Chooz, dans une nappe en aval du CNPE de Chooz et par conséquent potentiellement influencée par les rejets du CNPE. Ces eaux ont été mesurées en tritium libre.

Les stations et la nature des prélèvements permettent la comparaison des résultats avec ceux obtenus lors des études antérieures.

Tableau 2 : Identification des échantillons prélevés et analysés dans le domaine aquatique continental lors du suivi radioécologique 2021 de l'environnement du site de Chooz.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Commentaire	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Gamma (Cendre)	4,54	17,09
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,54	-
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	C élémentaire (Sec)	4,54	-
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,54	-
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	H-3 lié (Sec)	4,54	-
0,46 km amont	Meuse en amont de Chooz	Chooz en amont	04,78398	50,08909	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,54	-
2,16 km amont	Meuse en amont de Chooz	Ham-sur-Meuse	04,79179	50,10897	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Gamma (Sec)	2,26	-
2,16 km amont	Meuse en amont de Chooz	Ham-sur-Meuse	04,79179	50,10897	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Granulométrie (Sec)	2,26	-
2,16 km amont	Meuse en amont de Chooz	Ham-sur-Meuse	04,79179	50,10897	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	MO après combustion (Sec)	2,26	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrives	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	10,18	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrives	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	C élémentaire (Sec)	10,18	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrives	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	10,18	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrives	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 lié (Sec)	10,18	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrives	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	10,18	-

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Commentaire	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Cératophylle <i>Ceratophyllum sp</i>	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 libre (Liquide)	10,18	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Frais)	4,76	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Cendre)	6,61	1,41
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	4,76	-
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Fe-55 par SL (Cendre)	6,61	1,41
2,2 km amont	Meuse en amont de Chooz	Aubrides	04,76522	50,10105	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Ni-63 par Sc. Liq. (cendres) (Cendre)	6,61	1,41
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,66	-
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	C élémentaire (Sec)	4,66	-
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	H-3 lié (en cours) (Sec)	4,66	-
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,66	-
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,66	-
2,46 km aval	Meuse en aval de Chooz	Chooz en aval	04,80509	50,10963	Rives droite et gauche	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	30/06/2021	Gamma (Cendre)	4,82	15,99
3,27 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,79793	50,11864	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Gamma (Sec)	2,56	-
3,27 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,79793	50,11864	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Granulométrie (Sec)	2,56	-
3,27 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,79793	50,11864	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	M0 après combustion (Sec)	2,56	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Frais)	5,89	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum L.</i>	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Cendre)	7,45	1,53

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Commentaire	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	5,89	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	C élémentaire (Sec)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 lié (Sec)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	H-3 libre (Liquide)	5,99	-
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	Fe-55 par SL (Cendre)	7,45	1,53
5,2 km aval	Meuse en aval de Chooz	Rancennes	04,81809	50,13285	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	Ni-63 par Sc. Liq. (cendres) (Cendre)	7,45	1,53
6,53 km aval	Meuse en aval de Chooz	Givet	04,83383	50,14127	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	07/09/2021	Gamma (Cendre)	8,19	1,69
8,11 km aval	Meuse en aval de Chooz	Givet	04,82378	50,15936	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Gamma (Sec)	2,60	-
8,11 km aval	Meuse en aval de Chooz	Givet	04,82378	50,15936	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	Granulométrie (Sec)	2,60	-
8,11 km aval	Meuse en aval de Chooz	Givet	04,82378	50,15936	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 µm	27/04/2021	MO après combustion (Sec)	2,60	-

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,22 km ENE	Meuse en aval de Chooz	Chooz	04,80614	50,09386	Eaux douces	Eau d'irrigation	entier/pdtfiltr	22/06/2021	H-3 libre (Liquide)	-	-
6,51 km NE	Meuse en aval de Chooz	Givet	04,83390	50,14108	Eaux boisson	Eau d'adduction publique	entier/pdtfiltr	27/04/2021	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement.

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu aquatique :

Prélèvements en amont du dispositif de rejet des effluents liquides
Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides
Prélèvements d'eau

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.3.2. Résultats et interprétation

4.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Les résultats de spectrométrie γ sont reportés dans le Tableau 19 page 54, pour la radioactivité d'origine naturelle et le Tableau 20 page 55, pour la radioactivité d'origine artificielle.

4.3.2.2. 4.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Dans les sédiments, la radioactivité d'origine naturelle est majoritairement due au ^{40}K et, dans une moindre mesure, aux éléments de la famille du ^{232}Th , comme l' ^{228}Ac et de la famille de l' ^{238}U , comme le $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ainsi qu'au ^7Be . Les activités massiques de ces radionucléides d'origine naturelle mesurées dans les sédiments sont comparables à la gamme des activités des sédiments du territoire français [1].

Dans les phanérogames aquatiques, la radioactivité d'origine naturelle est très majoritairement due au ^{40}K et, dans une moindre mesure, au ^7Be et aux éléments de la famille du ^{232}Th (^{228}Ac) et de la famille de l' ^{238}U (^{234}Th et ^{210}Pb).

La radioactivité d'origine naturelle quantifiable dans les poissons est uniquement due au ^{40}K , du même ordre de grandeur que les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (environ 100 Bq.kg^{-1} frais).

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

4.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Dans les sédiments, le ^{137}Cs est mesuré tant à l'amont qu'à l'aval du site ($2,91 \pm 0,25$ à $17,5 \pm 1,3 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Le ^{60}Co est détecté dans les sédiments prélevés à l'aval du site ($0,770 \pm 0,080$ et $0,190 \pm 0,070 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). En 2021, les activités massiques des radionucléides artificiels mesurés dans les sédiments sont comparables aux activités mesurées lors des années précédentes (Tableau 15 page 49) et à la gamme des activités des sédiments français [1]. Les résultats de mesure en aval lointain sont systématiquement plus élevés qu'en amont ou en aval proche (pas de collecte de sédiment en aval lointain en 2020), probablement en raison de la forte teneur en argile et limon fin des sédiments collectés en ce lieu.

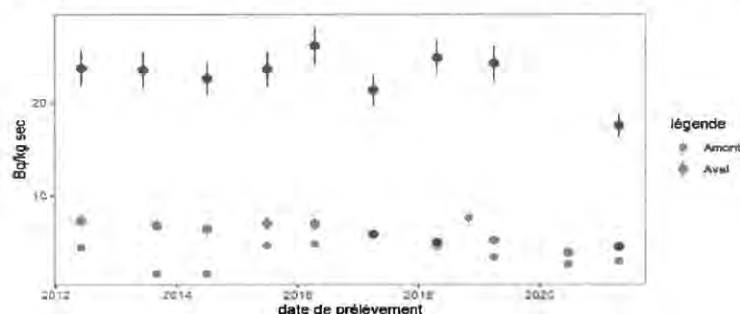


Figure 9 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.

Dans les phanérogames aquatiques, le ^{137}Cs est quantifié à l'amont et à l'aval du site (de $0,373 \pm 0,098$ à $0,87 \pm 0,15 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). A l'amont comme à l'aval, l'activité massique de l' ^{131}I est inférieure au seuil de décision.

Rapport IRSN N° 2022-00811

Le ^{60}Co et le ^{54}Mn sont exclusivement détectés dans les phanérogames prélevées à l'aval du site (de $1,49 \pm 0,15$ à $1,90 \pm 0,22 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; $0,243 \pm 0,071 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$, respectivement).

La radioactivité d'origine artificielle dans les muscles des poissons est caractérisée par la seule présence du ^{137}Cs , à l'amont et à l'aval du CNPE ($0,0244 \pm 0,0077$ et $0,112 \pm 0,016 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ frais}$).

Les activités massiques en ^{137}Cs dans les phanérogames et les poissons prélevés dans l'environnement du CNPE de Chooz en 2021 sont dans la continuité des mesures réalisées les années précédentes (Tableau 16 page 50 et Tableau 17 page 51) et sont comparables à la gamme des activités massiques de ce radionucléide artificiel sur le territoire national [1]. Cependant, les activités en aval du site sont systématiquement plus élevées que celles mesurées en amont (cf. ci-dessous).

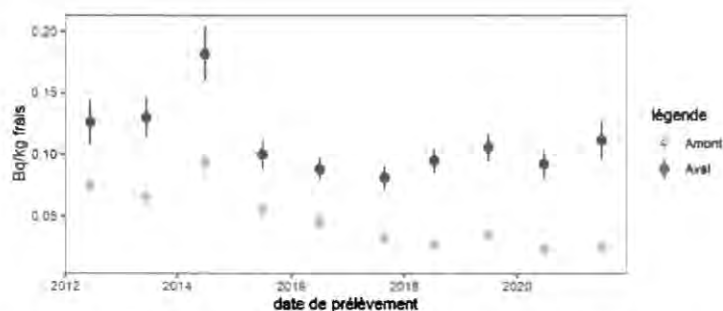


Figure 10 – Variation temporelle des activités en ^{137}Cs des poissons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.

Les activités systématiquement plus élevées en aval dans les poissons et en aval lointain dans les sédiments pourraient en partie résulter des rejets liquides du sites de Chooz.

Les mesures de ^{60}Co dans les sédiments, ainsi que les mesures de ^{60}Co et ^{54}Mn dans les phanérogames, prélevés à l'aval du site se situent dans la continuité de ce qui est observé les années précédentes, leur présence révèle un marquage par les radionucléides artificiels émetteurs gamma provenant des rejets liquides du CNPE de Chooz.

4.3.2.3. Radionucléides émetteurs bêta

4.3.2.2.1. Tritium

Les résultats de mesure du tritium des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz sont reportés dans le Tableau 21 page 56.

Dans l'eau de boisson et l'eau d'irrigation, les activités en tritium libre sont dans la gamme du bruit de fond en milieu aquatique hors influence d'un apport industriel local (de $0,5$ à 2 Bq.L^{-1} d'après [1]). Les activités en tritium libre des phanérogames prélevées à l'aval ($38,0 \pm 4,1 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$) sont supérieures à celles mesurées à l'amont du site ($0,90 \pm 0,70 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$) et au bruit de fond, révélant un marquage par les rejets d'effluents liquides en tritium du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique.

Rapport IRSN N° 2022-00811

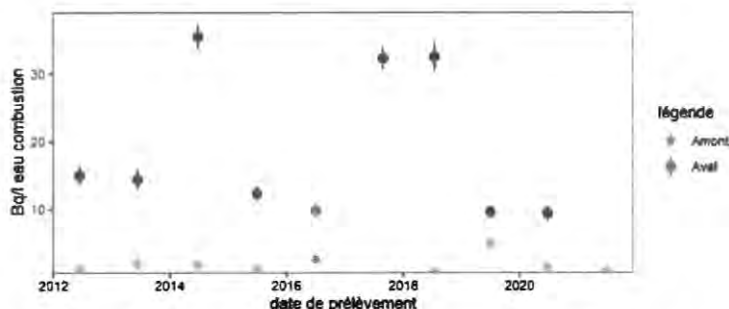


Figure 11 – Variation temporelle des activités en TOL des poissons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz.

Les activités volumiques en tritium organiquement lié mesurées dans les phanérogames et les poissons prélevés à l'aval (respectivement, $23,1 \pm 2,8$ et $10,6 \pm 1,1$ Bq.L⁻¹ EC) sont supérieures à celles mesurées à l'amont du site (respectivement, $\leq 1,7$ et $0,9 \pm 0,7$ Bq.L⁻¹ EC). Par conséquent, ces activités révèlent un marquage par les rejets d'effluents liquides en tritium du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique.

En 2021, les activités en tritium libre de l'eau de boisson et l'eau d'irrigation sont dans la gamme de celles mesurées depuis une décennie. Celles en tritium libre et organiquement lié des phanérogames aquatiques sont similaires à celles mesurées en 2018 et 2019. Les activités mesurées en tritium organiquement lié des poissons sont dans la gamme de celles mesurées depuis une décennie (Tableau 14 page 48, Tableau 16 page 50 et Tableau 17 page 51).

4.3.2.1.2. Carbone 14

Les résultats de mesure du ¹⁴C des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz sont reportés dans le Tableau 22 page 57.

En 2021, les activités mesurées en ¹⁴C dans les phanérogames sont dans la gamme de celles mesurées ces dix dernières années (Tableau 16 page 50). L'activité spécifique en ¹⁴C mesurée dans les poissons prélevés à l'aval ($473 \pm 2,2$ Bq.kg⁻¹ de C) est supérieure au bruit de fond de ce radionucléide dans le compartiment aquatique mesuré hors de toute influence industrielle (de 180 à 220 Bq.kg⁻¹ de C, d'après [1]), au contraire de celle mesurée dans les phanérogames prélevées à l'amont du CNPE ($201,1 \pm 1,2$ Bq.kg⁻¹ de C). Cette activité révèle un marquage des phanérogames, prélevées à l'aval, par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Chooz.

En 2021, les activités mesurées en ¹⁴C dans les poissons sont dans la gamme de celles mesurées ces dix dernières années (Tableau 17 page 51). L'activité spécifique en ¹⁴C mesurée dans les poissons prélevés à l'aval (503 ± 24 Bq.kg⁻¹ de C) est supérieure au bruit de fond de ce radionucléide dans le compartiment aquatique mesuré hors de toute influence industrielle (de 180 à 220 Bq.kg⁻¹ de C, d'après [1]), au contraire de celle mesurée dans les poissons prélevés à l'amont du CNPE (227 ± 11 Bq.kg⁻¹ de C). Cette activité révèle un marquage des poissons prélevés en aval, par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Chooz.

Rapport IRSN N° 2022-00811

4.3.2.1.2. Fer 55 et Nickel 63

Les résultats des mesures de ^{55}Fe et ^{63}Ni des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz sont reportés dans les Tableau 23 et Tableau 24 page 57.

Les activités en ^{55}Fe mesurées dans les phanérogames prélevées à l'amont et à l'aval sont inférieures au seuil de décision. Les seuils de décisions atteignables par la méthode mise en œuvre pour cette matrice ne permettent pas de pousser plus loin l'interprétation.

Les activités en ^{63}Ni dans les phanérogames sont inférieures au seuil de décision ($\leq 0,23 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) à l'amont et proche du seuil de décision à l'aval ($0,30 \pm 0,22 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).

Ces résultats ne mettent pas en évidence de marquage en ^{55}Fe et ^{63}Ni provenant des rejets d'effluents liquides du CNPE de Chooz.

4.4. Conclusion sur l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Chooz

Dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz, le ^{137}Cs est détecté dans toutes les matrices à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les activités du tritium mesurées dans les matrices terrestres se situent dans la gamme du bruit de fond, excepté pour l'activité en tritium libre mesurée dans l'herbe qui indique un marquage par les rejets atmosphériques du CNPE de Chooz. Les activités du ^{14}C en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation nucléaire. Toutefois, une contribution du CNPE de Chooz est attestée par les résultats des mesures trimestrielles en ^{14}C sur l'herbe prélevée à Chooz.

Dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz, le ^{137}Cs , détecté dans toutes les matrices à des niveaux comparables à ceux des années précédentes, est issu des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les mesures de ^{60}Co dans les sédiments, ainsi que les mesures de ^{60}Co et ^{54}Mn dans les phanérogames, prélevés à l'aval du site, révèlent un marquage par les radionucléides artificiels émetteurs gamma provenant des rejets liquides du CNPE de Chooz. Les activités massiques en ^{131}I dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval du CNPE de Chooz sont inférieures au seuil de décision. Les activités en tritium libre de l'eau de boisson et de l'eau d'irrigation correspondent à l'activité en tritium attendue pour le bruit de fond en milieu aquatique hors influence d'un apport industriel local. Les activités en tritium libre, en tritium organiquement lié et en ^{14}C des phanérogames, prélevées à l'aval, sont supérieures à celles mesurées à l'amont et témoignent d'un marquage du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique, tout en révélant des niveaux du même ordre de grandeur que ceux mesurés les années précédentes. Les valeurs mesurées en tritium organiquement lié et en ^{14}C dans les poissons prélevés à l'aval des rejets sont supérieures à celles mesurées à l'amont. Elles témoignent d'un marquage du CNPE de Chooz sur son environnement aquatique, tout en révélant des niveaux du même ordre de grandeur que ceux mesurés les années précédentes.

5. TABLEAUX DE RÉSULTATS

Tableau 3 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	juin 2012	juin 2013	juillet 2014	juin 2015	avril 2016	juillet et sept. 2017	juillet 2018	juillet 2019	juin 2020	juin 2021
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	10,2 (1/1)	10,3 (1/1)	10,5 (1/1)	9,8 (1/1)	9,8 (1/1)	5,36-14,2 (6/6)	7,7 (1/1)	10,9 (1/1)	9,3 (1/1)	10,30 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{109m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 4 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	juin 2012	juin 2013	juillet 2014	juin - juillet 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019	2020	avril 2021
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹³⁷ Cs	1,0-1,1 (2/2)	0,8-1,2 (2/2)	0,44-0,55 (2/2)	0,9 (1/2)	0,37-1,9 (2/2)	0,51-1,34 (2/2)	0,39 (1/1)	-	n.a.	0,58 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-

- : inférieur au seuil de décision.

n.a. : non analysé

Tableau 5 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels, de 2012 à 2021.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe	herbe
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹³⁷ Cs	0,46 (1/1)	0,37 (1/1)	0,12 (1/1)	0,13 (1/1)	0,13 (1/1)	0,151 (1/3)	0,89 (1/1)	-	n.a.	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	1,3 (1/1)	1,3 (1/1)	1,3-2,2 (2/2)	2,2 (1/1)	2,3 (1/1)	1,5 (1/1)	3,2 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,9 (1/1)	1,4-1,9 (2/2)	2,1 (1/1)	2,2 (1/1)	2,0 (1/1)	2,1 (1/1)
¹⁴ C	237,3 (1/1)	234,7 (1/1)	235 (1/1)	231,9 (1/1)	232,5 (1/1)	229-276 (4/4)	229-249 (4/4)	231-257 (4/4)	259-284 (4/4)	231-266 (3/3)

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

Tableau 6 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux cultivés (légumes) collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	légume	salade	légume	salade	salade	légumes	salade	salade	salade	salade
Émetteurs γ d'origine artificielle ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$)										
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,3 (1/1)	0,92 (1/1)	0,89 (1/1)	-	1,24 (1/1)	0,055 *-1,25 (3/3)	0,254 (1/2)	0,197 (1/1)	0,191 (1/1)	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, ^3H lié : Bq.L^{-1} d'eau de combustion, ^{14}C : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ C}$)										
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	1 (1/1)	1,5 (1/1)	1,4-1,7 (2/2)	1,3 (1/1)	1 (1/1)	n.a.	1,8 (1/1)
^3H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,7 (1/1)	1,5 (1/1)	1,2-1,3 * (3/3)	2,1 (1/1)	1,9 (1/1)	n.a.	1,9 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	233 (1/1)	249 (1/1)	228,6-246,1 (3/3) *	232-233 (2/2)	241-249 (2/2)	233 (1/1)	218-221 (2/2)

n.a. : non analysé, - : inférieur au seuil de décision. En 2017, en plus des salades, de la pomme de terre * a été prélevée.

Tableau 7 : Activités volumiques en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fraction	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)</i>										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹³⁷ Cs	0,0325 (1/1)	0,0220 (1/1)	0,0391 (1/1)	0,0309 (1/1)	0,0136 (1/1)	0,0576 (1/2)	0,0206 (1/2)	0,0176 (1/2)	0,0259 (1/2)	0,0165 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-
¹²¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	n.a.	-
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.L⁻¹)</i>										
³ H libre	1,00 (1/1)	0,90 (1/1)	1,20 (1/1)	1,00 (1/1)	1,50 (1/1)	0,82 (1/1)	0,69 (1/1)	0,64 (1/1)	1,00 (1/1)	0,70 (1/1)
³ H lié	1,70 (1/1)	1,00 (1/1)	2,00 (1/1)	1,80 (1/1)	1,00 (1/1)	0,82 (1/1)	1,76 (1/1)	1,12 (1/1)	1,60 (1/1)	1,90 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	223-229 (3/3)	227-235 (4/4)	224 (1/1)	224-242 (3/3)	239 (1/1)	239 (1/1)	240 (1/1)
⁹⁰ Sr	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0366 (1/1)	0,0363 (1/1)	n.a.	n.a.	0,0322 (1/1)

Légende des couleurs : Chooz - zone hors vents dominants (>5 km) : Blanc, Chooz - zone sous les vents (<5 km) : Gris foncé ;

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

Tableau 8 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques de l'échantillon de sol récolté dans l'environnement terrestre du CNPE de Chooz lors du suivi radioécologique en 2021.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Fractions	%
Chooz	22/06/2022	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	≤ 2 mm	28/02/2022	sec	Matière organique	7,2
							Argiles (<2µm)	21,6
							Limons Fins	23,0
							Limons Grossiers	29,7
							Sables Fins	24,2
							Sables Grossiers	1,5

Accessibilité : INTERNE - EXPI/CHO
Modèle de sécurité : 00 - Tous les utilisateurs de IECM
Document issu de la GED DPI Nucléaire le 17/02/2023

Tableau 9 : Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U				^{235}U	Unité
										^{232}Ac	^{232}Th	^{234m}Pa	^{214}Pb			
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	22/06/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Tamisé < 2000 μm	Sec	1,41	22/09/2021	364±29	38,1±2,4	29,7±2,5	30±10	58±17	± 3,3		$Bq.kg^{-1}$ sec
Chooz - zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	24/06/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	23,58	30/09/2021	2 010±190	1,00±0,25	≤ 1,4	≤ 25	5,8±1,4	80,1±7,2		$Bq.kg^{-1}$ sec
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	07/09/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	16,06	17/11/2021	2 650±240	≤ 0,78	≤ 2,0	≤ 26	6,3±1,5	55,6±4,6		$Bq.kg^{-1}$ sec
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Parties aériennes	Cendre	3,37	09/09/2021	865±79	≤ 0,59	≤ 0,79	≤ 12	7,6±1,1	70,8±5,9		$Bq.kg^{-1}$ sec
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Mousses terrestres	Mousse <i>Rhyssodolophus triquetrus</i>	Parties aériennes	Frais	1,10	06/05/2021	175±18	≤ 2,3	≤ 4,3	≤ 99	130±13	347±24		$Bq.kg^{-1}$ sec
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	7,68	04/10/2021	45,8±3,9	≤ 0,015	≤ 0,039	≤ 0,46	≤ 0,046	≤ 0,070		$Bq.L^{-1}$

Dans les tableaux pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation

Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Tableau 10 : Activités massiques et volumiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{60}Co	^{60}Co	^{109}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{131}I	Unité
Chooz - zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	24/06/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	30/09/2021	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$	$\leq 0,44$	$\leq 0,25$	$\leq 0,23$	$\leq 0,19$	$\leq 0,39$	$\leq 0,35$	n.a.	$Bq.kg^{-1} sec$
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	07/09/2021	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	17/11/2021	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$	$\leq 0,35$	$\leq 0,26$	$\leq 0,24$	$\leq 0,20$	$\leq 0,30$	$\leq 0,39$	n.a.	$Bq.kg^{-1} sec$
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	22/06/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Tamisé < 2000 μm	Sec	22/09/2021	$\leq 0,15$	$10,30 \pm 0,80$	$\leq 0,30$	$\leq 0,15$	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	$\leq 0,36$	$\leq 0,42$	n.a.	$Bq.kg^{-1} sec$
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Parties aériennes	Cendre	09/09/2021	$\leq 0,079$	$\leq 0,069$	$\leq 0,29$	$\leq 0,12$	$\leq 0,13$	$\leq 0,11$	$\leq 0,29$	$\leq 0,18$	n.a.	$Bq.kg^{-1} sec$
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Mousses terrestres	Mousse <i>Rhytidialesphus triquetrus</i>	Parties aériennes	Frais	06/05/2021	$\leq 0,46$	$0,58 \pm 0,32$	$\leq 0,49$	$\leq 0,53$	$\leq 0,52$	$\leq 0,44$	$\leq 0,46$	$\leq 1,2$	$\leq 0,77$	$Bq.kg^{-1} sec$
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	04/10/2021	$\leq 0,0032$	$0,0168 \pm 0,0024$	$\leq 0,0093$	$\leq 0,0046$	$\leq 0,0046$	$\leq 0,0029$	$\leq 0,0085$	$\leq 0,0077$	n.a.	$Bq.L^{-1}$

n.a.: non analysé. Du fait de sa courte période physique, ^{131}I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 11 : Activités massiques et volumiques en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chooz en 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	^3H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	^3H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	07/09/2021	Légumes	Salades	Eau extraite par lyophilisation	20,75	08/11/2021	1,8±0,7	1,71±0,67	Bq.kg ⁻¹ frais
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Eau extraite par lyophilisation	3,23	06/07/2021	3,2±0,7	2,21±0,48	Bq.kg ⁻¹ frais
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Eau extraite par lyophilisation	6,94	16/09/2021	1,6±0,7	1,37±0,60	Bq.L ⁻¹ d'ECM

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Vireux-Molhain	07/09/2021	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	20,75	07/12/2021	1,9±1,1	0,045±0,026	Bq.kg ⁻¹ frais
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	27/04/2021	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Résidu sec obtenu après lyophilisation	3,23	12/07/2021	2,1±0,7	0,38±0,13	Bq.kg ⁻¹ frais
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Résidu sec obtenu après lyophilisation	6,94	05/09/2021	1,4±0,6	0,155±0,067	Bq.L ⁻¹ d'ECM

n.a. : non analysé.

Tableau 12 : Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du site de Chooz dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	C TOT. (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Chooz - zone hors vents dominants (>5 km)	Bulson	24/06/2021	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	17,65	18/04/2022	221±11	-27,81	98,3±4,9	4,75±0,24	21	Frais
Chooz - zone hors vents dominants (<5 km)	Vireux-Molhain	07/09/2021	Légumes	Salades	Résidu sec obtenu après lyophilisation	20,75	05/04/2022	218±11	-29,5	97,3±4,9	4,06±0,20	19	Frais
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,68	29/03/2022	229±11	-25,4	101,4±4,9	16,12±0,77	70	Liquide

Tableau 13 : Activités en ^{90}Sr dans le lait prélevé dans l'environnement du CNPE de Chooz dans le cadre du suivi radioécologique 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	^{90}Sr	Unité ^{90}Sr
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	22/06/2021	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Tamisé < 2000 µm	1,41	03/12/2021	0,64±0,18	Bq.kg ⁻¹ .sec
Chooz - zone sous les vents (<5 km)	Chooz	24/06/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,68	22/11/2021	0,0479±0,0068	Bq.L ⁻¹

Tableau 14 : Activités volumiques en radionucléides émetteurs β des échantillons d'eau collectés dans l'environnement du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021 (Bq.L⁻¹).

Date	juin 2012	juin 2013	juillet 2014	juin 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019	juin 2020	2021
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L⁻¹d'eau de dessiccation, ^{14}C : Bq.kg⁻¹ C)										
^3H libre	0,80 (1/1)	-	1,00 (1/1)	-	0,60 (1/1)	0,72 (1/1)	0,92 (1/1)	0,60 (1/1)	-	0,70-0,90 (2/2)
^{14}C carbonates*	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	204,4 - 500 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

* Carbone Inorganique Total Dissous

Tableau 15 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	juin 2012		juin et sept. 2013		juillet 2014		juin - juillet 2015		avril 2016		avril 2017		avril 2018		avril 2019		juin 2020		avril 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	4,4 (1/1)	7,3-24 (2/2)	1,59 (1/1)	6,8-23,5 (2/2)	1,62 (1/1)	6,4-22,6 (2/2)	4,6 (1/1)	7-23,6 (2/2)	4,7 (1/1)	6,9-26,1 (2/2)	3,98 (1/1)	5,9-21,3 (2/2)	4,43 (1/1)	4,98-24,8 (2/2)	3,35 (1/1)	5,15-24,2 (2/2)	2,60 (1/1)	3,85 (1/1)	2,91 (1/1)	4,52-17,5 (2/2)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	0,32-0,75 (2/2)	-	0,26 (1/2)	-	0,22-0,42 (2/2)	-	0,49-1,27 (2/2)	-	0,41-0,75 (2/2)	-	0,41 (1/2)	-	0,99 (1/2)	-	0,34-0,36 (2/2)	-	0,23 (1/1)	-	0,19-0,77 (2/2)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	0,41 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)																				
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,8 (1/1)	7,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	169,7 (1/1)	376,7 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

- : inférieur au seuil de décision.

Tableau 16 : Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (mousses et phanérogames immergées, toutes fractions confondues) collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	juin et août 2012		septembre 2013		juillet 2014		juin - juillet 2015		août 2016		juillet 2017		juillet 2018		juillet 2019		juillet et sept. 2020		septembre 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont *	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,33-3,4 (4/4)	0,24-1,92 (3/3)	0,12-1,5 (2/2)	0,22-1,26 (3/3)	0,94 (1/2)	0,22-0,69 (3/3)	0,23-0,82 (2/2)	0,45-1,43 (3/3)	0,13-1,25 (2/2)	0,29-1,06 (3/3)	0,52 (1/2)	0,137-2,69 (3/3)	2,34 (1/1)	0,237-2,40 (2/2)	0,77 (1/1)	0,291 (1/1)	0,54 (1/1)	0,92 (1/1)	0,87 (1/1)	0,373-0,450 (2/2)
⁵⁸ Co	-	-	-	0,48-0,74 (2/3)	-	0,51-0,80 (2/3)	-	-	-	-	-	0,69 (1/3)	-	-	-	-	-	0,93 (1/1)	-	-
⁶⁰ Co	-	0,47 (1/3)	-	-	-	1,15-1,6 (2/3)	-	0,95 (1/3)	-	0,17 (1/3)	-	2,07-2,20 (2/2)	-	1,02 (1/2)	-	-	-	0,67 (1/1)	-	1,49-1,90 (2/2)
^{110m} Ag	-	-	-	0,34 (1/3)	-	0,31 (1/3)	-	0,33 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44 (1/1)	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	0,9-1,32 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,127 (1/1)	-	0,243 (1/2)
^{123m} Te	-	0,12 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I (1)	1,6-2,8 (2/3)	-	2,5 (1/1)	1,3 (1/1)	-	-	-	-	0,8 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)																				
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,6 (1/1)	0,6 (1/1)	0,7 (1/1)	0,8 (1/1)	1,0 (1/1)	0,7 (1/1)	58,4 (1/1)	-	45,3 (1/1)	0,8 (1/1)	-	0,9 (1/1)	38,0 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 (1/1)	14,1 (1/1)	-	31,0 (1/1)	1,5 (1/1)	31,8 (1/1)	n.a.	n.a.	-	23,1 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	199,0 (1/1)	616 (1/1)	202,9 (1/1)	243,7 (1/1)	200 (1/1)	236 (1/1)	n.a.	n.a.	201,1 (1/1)	473 (1/1)

n.a. : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision. ⁽¹⁾ : du fait de sa courte période physique, l'¹³¹I n'est mesuré que dans certains échantillons. * Une mousse aquatique a été prélevée en 2016, à l'amont, en l'absence de phanérogames.

Tableau 17 : Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de poissons (muscle) collectés dans l'environnement aquatique du site de Chooz lors des suivis radioécologiques annuels de 2012 à 2021.

Date	juin 2012		juin 2013		juin 2014		juin - juillet 2015		juillet 2016		août 2017		juillet 2018		juillet 2019		juin 2020		juin 2021	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,075 (1/1)	0,126 (1/1)	0,066 (1/1)	0,13 (1/1)	0,093 (1/1)	0,181 (1/1)	0,055 (1/1)	0,1 (1/1)	0,045 (1/1)	0,088 (1/1)	0,0322 (1/1)	0,081 (1/1)	0,0271 (1/1)	0,095 (1/1)	0,0344 (1/1)	0,106 (1/1)	0,0235 (1/1)	0,092 (1/1)	0,0244 (1/1)	0,112 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)																				
³ H libre	1,0 (1/1)	1,2 (1/1)	0,8 (1/1)	21,3 (1/1)	0,8 (1/1)	65 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,4 (1/1)	0,7 (1/1)	1,4 (1/1)	46,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	1,2 (1/1)	15 (1/1)	2 (1/1)	14,4 (1/1)	1,8 (1/1)	35,5 (1/1)	1,2 (1/1)	12,3 (1/1)	2,6 (1/1)	9,8 (1/1)	- (1/1)	32,3 (1/1)	0,7 (1/1)	32,5 (1/1)	4,90 (1/1)	9,60 (1/1)	1,40 (1/1)	9,40 (1/1)	0,90 (1/1)	10,6 (1/1)
¹⁴ C	233 (1/1)	992 (1/1)	235,2 (1/1)	649,7 (1/1)	233 (1/1)	1090 (1/1)	213 (1/1)	590 (1/1)	259 (1/1)	550 (1/1)	212 (1/1)	2720 (1/1)	241 (1/1)	2380 (1/1)	370 (1/1)	677 (1/1)	218 (1/1)	626 (1/1)	227 (1/1)	503 (1/1)

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

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu aquatique :

Prélèvements en amont du dispositif de rejet des effluents liquides

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Prélèvements en aval du dispositif de rejet des effluents liquides

Tableau 18 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiments récoltés dans l'environnement aquatique du CNPE de Chooz lors du suivi radioécologique en 2021.

Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Fractions	%
Ham-sur-Meuse	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	28/02/2022	sec	Matière organique	7,05
							Argiles (<2µm)	12,8
							Limons Fins	12,9
							Limons Grossiers	21,4
							Sables Fins	51,5
							Sables Grossiers	1,4
Rancennes	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	28/02/2022	sec	Matière organique	7,95
							Argiles (<2µm)	16,3
							Limons Fins	18
							Limons Grossiers	30,1
							Sables Fins	34,4
							Sables Grossiers	1,2
Givet	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	≤ 2 mm	28/02/2022	sec	Matière organique	5,02
							Argiles (<2µm)	21,7
							Limons Fins	33
							Limons Grossiers	14,8
							Sables Fins	11
							Sables Grossiers	19,5

Tableau 19 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons collectés dans l'environnement aquatique en amont (fond clair) et en aval (fond grisé) du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1} sec$ pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1} frais$ pour les poissons).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^{7}Be	Unité
									^{228}Ac	^{232}Th	^{214m}Pb	^{210}Pb		
Meuse en amont de chooz	Ham-sur-Meuse	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	06/07/2021	279±22	31,9±1,9	22,6±1,8	29,0±8,0	63±12	20,2±2,0	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en aval de chooz	Rancennes	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	02/07/2021	299±23	32,5±1,9	24,1±1,7	31,0±6,0	77±16	24,9±2,1	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en aval de chooz	Givet	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	09/02/2021	306±25	26,5±1,7	18,3±1,5	≤ 19	66±12	9,8±1,8	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum sp.</i>		Frais	15/09/2021	342±29	12,0±1,7	≤ 9,3	≤ 59	19,2±4,6	45,6±5,3	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	Cendre	17/11/2021	208±18	11,31±0,92	6,0±1,3	19±12	18,0±3,5	41,7±4,2	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum sp.</i>		Frais	15/09/2021	378±31	9,5±1,4	6,0±2,7	≤ 48	13,1±3,4	37,1±4,8	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	Cendre	17/11/2021	268±22	8,9±1,2	3,75±0,98	≤ 18	8,4±2,0	25,7±2,9	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en aval de chooz	Givet	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	Cendre	26/11/2021	355±30	9,6±1,1	4,62±0,77	≤ 11	10,9±2,0	26,2±2,3	$Bq.kg^{-1} sec$
Meuse en amont de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	Cendre	26/10/2021	106,4±9,0	≤ 0,063	≤ 0,15	≤ 1,9	≤ 0,19	≤ 0,35	$Bq.kg^{-1} frais$
Meuse en aval de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	Cendre	26/10/2021	109,0±9,1	≤ 0,078	≤ 0,17	≤ 2,2	≤ 0,21	≤ 0,45	$Bq.kg^{-1} frais$

n.a. : non analysé.

Tableau 20 : Activités massiques en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons collectés dans l'environnement aquatique en amont (fond clair) et en aval (fond grisé) du site de Chooz lors du suivi radioécologique 2021 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les végétaux, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les poissons).

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{106}Ag	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	^{129m}Te	^{131}I	Unité
Meuse en amont de chooz	Ham-sur-Meuse	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	2,26	06/07/2021	$\leq 0,12$	$2,91 \pm 0,25$	$\leq 0,20$	$\leq 0,13$	$\leq 0,15$	$\leq 0,16$	$\leq 0,23$	$\leq 0,35$	$\leq 0,14$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en aval de chooz	Rancennes	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	2,56	02/07/2021	$\leq 0,090$	$4,52 \pm 0,36$	$\leq 0,15$	$0,770 \pm 0,060$	$\leq 0,23$	$\leq 0,12$	$\leq 0,17$	$\leq 0,25$	$\leq 0,100$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en aval de chooz	Givet	27/04/2021	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Tamisé < 2000 μm	Sec	2,60	09/07/2021	$\leq 0,14$	$17,5 \pm 1,3$	$\leq 0,25$	$0,190 \pm 0,070$	$\leq 0,19$	$\leq 0,18$	$\leq 0,29$	$\leq 0,41$	$\leq 0,16$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	Frais	6,61	15/09/2021	$\leq 0,46$	$0,70 \pm 0,32$	$\leq 0,53$	$\leq 0,59$	$\leq 0,59$	$\leq 0,53$	$\leq 0,53$	$\leq 1,3$	$\leq 0,33$	$\leq 0,86$	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	Cendre	6,61	17/11/2021	$\leq 0,16$	$0,87 \pm 0,15$	$\leq 0,30$	$\leq 0,21$	$\leq 0,25$	$\leq 0,18$	$\leq 0,30$	$\leq 0,42$	$\leq 0,13$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	Frais	6,87	15/09/2021	$\leq 0,32$	$0,74 \pm 0,30$	$\leq 0,34$	$1,79 \pm 0,41$	$\leq 0,41$	$\leq 0,41$	$\leq 0,34$	$\leq 0,82$	$\leq 0,21$	$\leq 0,62$	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	Cendre	7,45	17/11/2021	$\leq 0,16$	$0,373 \pm 0,098$	$\leq 0,26$	$1,90 \pm 0,22$	$\leq 0,21$	$\leq 0,16$	$\leq 0,28$	$\leq 0,39$	$\leq 0,13$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en aval de chooz	Givet	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non id. <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	Cendre	8,19	26/11/2021	$\leq 0,089$	$0,450 \pm 0,071$	$\leq 0,18$	$1,49 \pm 0,15$	$\leq 0,14$	$0,243 \pm 0,071$	$\leq 0,20$	$\leq 0,74$	$\leq 0,077$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ sec
Meuse en amont de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	Cendre	4,56	26/10/2021	$\leq 0,014$	$0,0244 \pm 0,0077$	$\leq 0,045$	$\leq 0,021$	$\leq 0,022$	$\leq 0,017$	$\leq 0,044$	$\leq 0,032$	$\leq 0,013$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ frais
Meuse en aval de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Muscle	Cendre	4,82	26/10/2021	$\leq 0,018$	$0,112 \pm 0,016$	$\leq 0,051$	$\leq 0,023$	$\leq 0,026$	$\leq 0,021$	$\leq 0,053$	$\leq 0,039$	$\leq 0,013$	n.a.	$Bq.kg^{-1}$ frais

n.a. : non analysé.

Du fait de sa courte période physique, $I^{131}I$ n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 21 : Activités massiques et volumiques en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Cératophylle <i>Ceratophyllum demersum</i>	Eau extraite par lyophilisation	10,18	08/11/2021	0,9±0,7	0,81±0,63	Bq.kg ⁻¹ frais
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Eau extraite par lyophilisation	5,99	21/10/2021	38,0±4,1	31,7±3,4	Bq.kg ⁻¹ frais
Meuse en aval de chooz	Givet	27/04/2021	Eaux de boisson	Eau d'adduction publique	Produit de filtration Filtrat < 0.2 µm	-	03/06/2021	0,9±0,7	0,90±0,70	Bq.L ⁻¹ d'ECH.
Meuse en aval de chooz	Chooz	22/06/2021	Eaux douces	Eau d'irrigation	Produit de filtration Filtrat < 0.2 µm	-	03/08/2021	0,7±0,7	0,70±0,70	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Cératophylle <i>Ceratophyllum demersum</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	10,18	01/12/2021	≤ 1,7	≤ 0,046	Bq.kg ⁻¹ frais
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,99	01/12/2021	23,1±2,8	0,85±0,12	Bq.kg ⁻¹ frais
Meuse en amont de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,54	12/09/2021	0,9±0,7	0,13±0,10	Bq.kg ⁻¹ frais
Meuse en aval de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,66	12/09/2021	10,6±1,1	1,52±0,17	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 22 : Activités en ^{14}C dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	C TOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Cératophylle <i>Ceratophyllum demersum</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	10,18	15/06/2022	201,1±1,2	-24,76	88,94±0,53	4,730±0,028	24	Frais
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,99	15/06/2022	473±2,2	-21,49	207,82±0,97	17,498±0,081	37	Frais
Meuse en amont de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,54	22/12/2021	227±11	-29,23	101,3±4,9	24,9±1,2	110	Frais
Meuse en aval de chooz	Chooz	30/06/2021	Poissons	Chevesne <i>Leuciscus cephalus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,66	22/12/2021	503±24	-26,61	223±11	31,1±2,4	100	Frais

Tableau 23 : Activités en ^{55}Fe dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{55}Fe	Unité
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	Cendre	6,61	19/02/2022	≤ 8,5	Bq.kg ⁻¹ sec
Meuse en aval de chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	Cendre	7,45	01/12/2021	≤ 9,8	Bq.kg ⁻¹ sec

Tableau 24 : Activités en ^{63}Ni dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du site de Chooz en 2021.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ^{63}Ni	^{63}Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Meuse en amont de chooz	Aubrives	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Parties aériennes	6,61	Cendre	16/12/2021	≤ 0,23	0,112	Sec

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Meuse en aval de Chooz	Rancennes	07/09/2021	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifiée <i>Myriophyllum sp.</i>	Portes aériennes	7,45	Cendre	16/12/2021	0,30±0,22	0,096	Sec

Rapport IRSN N° 2022-00811

6. BIBLIOGRAPHIE

1. IRSN, *Bilan de l'état radioécologique de l'environnement français de 2018 à 2020*. 2021, IRSN. 408 p. p.
2. Bé, M., Chisté, V., Dulieu, C., Kellet, M.A., Mougeot, X., Arinc, A., Chechev, V.P., Kuzmenko, N.K., Kibédi, A., et Nichols, A.L. *Table of radionuclides*. Monographie BIPM-5 2016; Available from: <https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographie-ri-5.html>.
3. IPSN, *Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague*. 1998, IPSN. 17 p.
4. IRSN, *Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sécurité Nucléaire*. 2008, IRSN. 24 p.
5. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français: Conséquences environnementales et exposition des personnes*. Sciences et techniques, ed. E.T. Doc2008, Paris: Lavoisier. 190 p.
6. IAEA/WMO, *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*, 2013 p.
7. Olive, P., Hubert, P., et Ravailleau, S., *Estimation pratique de "l'âge" des eaux souterraines en Europe par le tritium*. Revue des sciences de l'eau, 1996. 4: 523-533 p.
8. Eyrolle-Boyer, F., Claval, D., Antonelli, C., Tournieux, D., et Cossonnet, C., *1963-2013 : Fifty years of anthropogenic tritium in our environment - Focus on the Rhône valley (South east France)*. 10th International Conference on Tritium Science and Technology, "TRITIUM 2013", Nice, 2013 p.
9. Levin, I. et Hesshaimer, V., *A unique tracer of global carbon cycle dynamics*. Radiocarbon, 2000. 42(1): 69-80 p.
10. Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, *Tchernobyl, 25 ans après*. 2011, Livret de la collection Thématique de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. 43 p.
11. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environnementales et exposition des personnes*. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
12. 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*. 2011, IRSN. Rapport DEI/2011-01, 90 p.
13. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. 2018 [cited 2018; Available from: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matiere_de_rejets_hospitaliers_medecine_nucleaire.
14. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017*. 2018, IRSN. 353 p. p.
15. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. 17(4) p.
16. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting of ¹⁴C data*. Radiocarbon, 1977. 19(3): 355-363 p.

Rapport IRSN N° 2022-00811

17. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissement des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Note technique LNHB/04-13, 8 p.
18. Vray, F., Debayle, C., et Louvat, D., *Long-term flux of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs from soil to French rivers : a study on sediment and biological indicators*. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003. **68**: 93-114. p.
19. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.
20. Renaud, P. et Louvat, D., *Magnitude of fission product depositions from atmospheric nuclear weapon test fallout in France*. *Health Physics*, 2004. **86**(4): 6 p.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7. ANNEXES

Comme pour toute expertise radioécologique de site reposant sur des résultats de mesures, le choix et la mise en place de la stratégie d'échantillonnage sont primordiaux. Il est nécessaire de choisir des lieux de prélèvement et des matrices capables de rendre compte d'un éventuel marquage de l'environnement par les radionucléides émis lors des rejets d'effluents liquides ou atmosphériques des installations étudiées.

Les bryophytes, les phanérogames aquatiques ou les algues sont utilisés comme indicateur des activités présentes dans les vecteurs de diffusion des rejets (air et eau). Les sols et sédiments sont des matrices d'accumulation des radionucléides. Pour répondre à des besoins de radioprotection, des produits végétaux (légumes-feuilles essentiellement) ou animaux consommables localement (poissons, mollusques, crustacés, lait de vache ou de chèvre) font l'objet d'une surveillance. Les eaux destinées à l'irrigation ou à la consommation sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Afin de rendre les études autour des CNPE français homogènes et d'établir si besoin des comparaisons, les plans d'échantillonnage sont établis de manière standardisée et, autant que possible, reproduits d'un site à l'autre. La Figure 12 page 63 présente de manière schématique le plan d'échantillonnage avec notamment le type de matrices prélevées. Des prélèvements supplémentaires ou des prélèvements de matrices différentes peuvent être réalisés, en particulier dans le cadre des prescriptions techniques formulées par l'A.S.N., en matière de surveillance de l'environnement. La stratégie d'échantillonnages et d'analyses, fournie par EDF, est mise à jour annuellement par EDF en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de la réglementation.

La localisation des prélèvements est définie en fonction du contexte géographique et environnemental de chaque site. Les prélèvements dans l'environnement terrestre sont répartis en fonction de la direction des vents, en distinguant notamment les zones potentiellement influencées par les rejets d'effluents atmosphériques des zones hors vents dominants. Dans l'environnement aquatique continental, on distingue les prélèvements effectués en amont ou en aval des points de rejets des effluents liquides des CNPE, en tenant compte de la présence possible d'une autre installation en amont sur le fleuve. Bien que souvent complexes à définir, les conditions hydrodynamiques locales sont également des facteurs importants à prendre en considération lors des choix des lieux de prélèvements en milieu marin.

La mesure gamma permet de quantifier les activités d'un large spectre de radionucléides naturels et artificiels. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue lors des premiers suivis radioécologiques annuels. Une recherche spécifique de l' ^{131}I par spectrométrie gamma a été entreprise depuis 1997 sur quelques végétaux terrestres et aquatiques. Outre les mesures des niveaux d'activités des radionucléides émetteurs gamma, les activités en tritium libre (HTO) ont été quantifiées annuellement depuis l'année 2000. L'amélioration des limites de détection et des capacités métrologiques font que, depuis 2009, la quantification des activités en tritium organiquement lié (TOL) et carbone-14 (^{14}C) est introduite dans la stratégie d'étude.

Toutes les informations concernant l'identification, la localisation, puis les traitements et les mesures effectués sur les échantillons prélevés, sont enregistrées dans la base de données exploitée par l'IRSN. La traçabilité et la qualité des différentes opérations sont ainsi garanties et vérifiables. De plus, cela permet l'archivage et l'exploitation de séries chronologiques ou spatiales de données. Leur exhaustivité et leur homogénéité depuis 1991 permet leur utilisation à tout moment pour une expertise ou une étude particulière. Les étapes détaillées suivies par un échantillon depuis le prélèvement jusqu'à la mesure sont décrites dans « l'appendice méthodologique ».

L'exploitation des résultats repose sur la connaissance nécessaire des différentes sources de radioactivité gamma, tritium et ^{14}C dans l'environnement.

Sur le territoire français métropolitain, des radionucléides d'origine naturelle tellurique (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th et leurs descendants) ou cosmogénique (^3H , ^7Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont

Rapport IRSN N° 2022-00811

présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^3H , ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts globaux de ces radionucléides (^3H , ^{14}C et ^{137}Cs) sont liés aux retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980, et, pour le ^{137}Cs , au passage en mai 1986 du panache radioactif consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi ont été décelées ponctuellement et à l'état de trace, en France, essentiellement en 2011 et jusqu'en 2013.

Localement, les rejets d'effluents effectués par les installations peuvent conduire à un marquage de certains compartiments de l'environnement en radionucléides artificiels. Les radionucléides émetteurs gamma présents dans les effluents radioactifs peuvent être des produits d'activation neutronique ou des produits de fission. Dans les CNPE, ^{14}C , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{124}Sb sont par exemple générés par l'activation des matériaux de structure des installations ; ^{134}Cs , ^{137}Cs , et ^{131}I , sont des produits de fission. Le ^3H provient principalement de l'activation neutronique du bore contenu dans le circuit primaire. Il est cependant important de tenir compte des possibles influences liées aux rejets de ces mêmes radionucléides par d'autres installations. Cela concerne par exemple les rejets d'effluents liquides des centres hospitaliers (rejets de ^{131}I). L'industrie horlogère en France et en Suisse a utilisé du tritium jusque dans les années 1990. Les résidus sont encore présents dans le Rhône et le Rhin aujourd'hui. Des centres d'études ou de recherche (C.E.A., instituts, CERN, etc.) contribuent au marquage des écosystèmes aquatiques. Par exemple, les eaux du Rhin, au niveau du CNPE de Fessenheim, peuvent apporter des radionucléides rejetés par les sites nucléaires suisses situés en amont. Les rejets des installations d'ORANO La Hague en Manche sont en partie responsables d'un marquage de l'environnement marin à proximité des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines. Les rejets atmosphériques des installations d'ORANO à Marcoule contribuent au marquage de la partie sud de la zone d'étude autour du Tricastin.

L'identification de radionucléides « traceurs » des rejets des différentes installations permet de rechercher les contributions des différentes sources de rejet au marquage de l'environnement. Les produits d'activation hormis les ^3H et ^{14}C (^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) sont caractéristiques de rejets issus d'activité nucléaire. Leur présence dans les matrices de l'environnement traduit donc un marquage par des rejets d'effluents locaux. Pour déterminer les marquages éventuels en ^3H et ^{14}C , il est indispensable d'avoir une référence hors influence.

L'ensemble des techniques utilisées est décrit dans les documents de l'Assurance de la Qualité de l'IRSN. Les principales d'entre elles sont résumées ci-après.

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [15] donnait du bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

Rapport IRSN N° 2022-00811

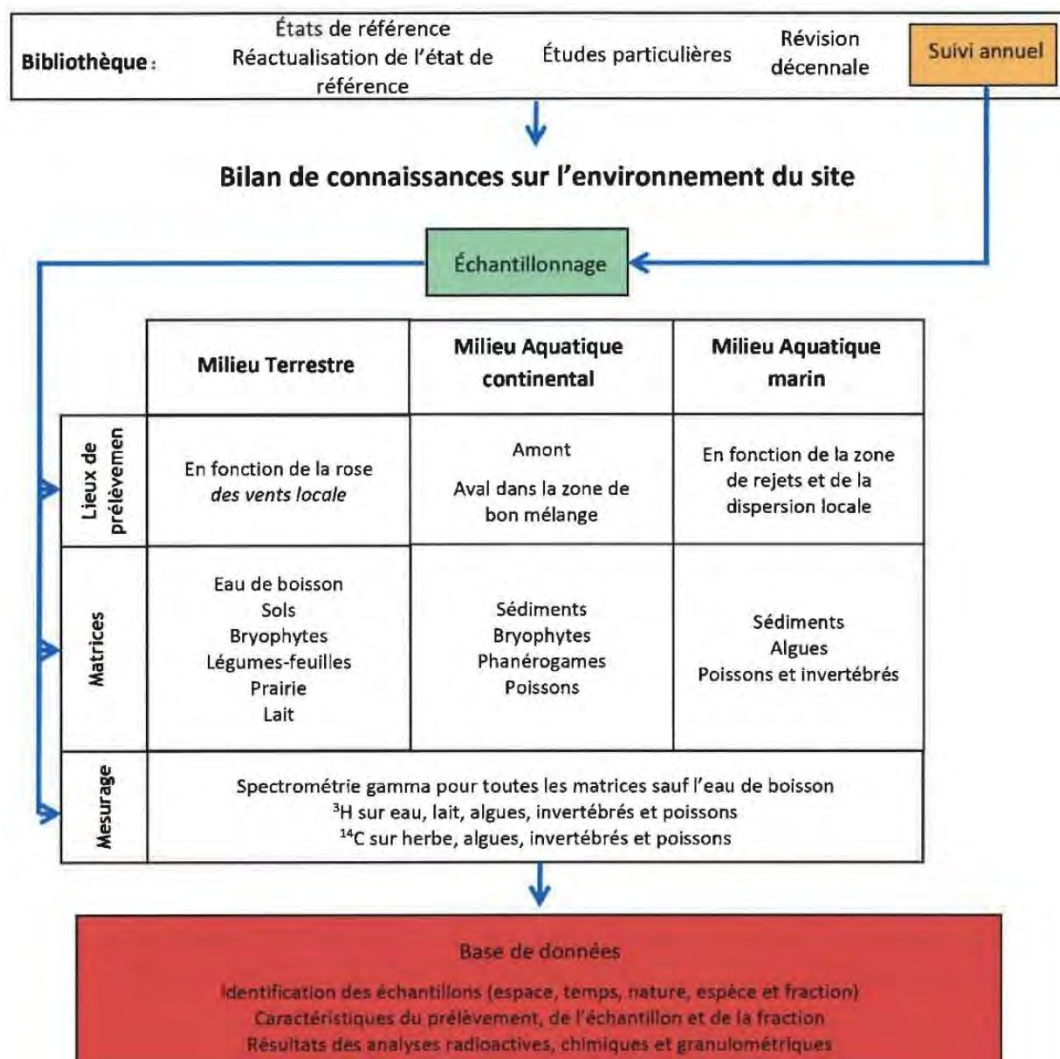


Figure 12 – Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.1. Choix des stations de prélèvements

La localisation des stations de prélèvements suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché.

7.2. Choix des matrices prélevées

Comme indiqué dans le cahier des charges, « EDF a défini une stratégie de surveillance basée sur la complémentarité des mesures réglementaires et des études radioécologiques d'expertise. Cette stratégie se traduit par un plan de prélèvements et d'analyses tenant compte de nombreux paramètres de façon à obtenir des résultats aussi représentatifs que possible du milieu étudié. Cette représentativité porte sur :

- les échantillons prélevés, dont la représentativité dépend notamment du radionucléide recherché, de la disponibilité dans l'environnement de la matrice échantillonnée, de la fréquence de prélèvement, de la zone de prélèvement, des méthodes de prélèvement et de conservation de l'échantillon...
- les mesures réalisées, dont la représentativité dépend des traitements subis par l'échantillon, du protocole et des contraintes analytiques, de l'appareillage utilisé...

Le choix du type de matrices échantillonnées (bioindicateurs, compartiments d'accumulation, produits de consommation, vecteurs de la radioactivité...) et de la fréquence d'échantillonnage impose des zones de prélèvements dans lesquelles une matrice de ce type est présente et disponible en quantités suffisantes pour supporter la périodicité des prélèvements. Ce critère de disponibilité conditionne le choix d'une espèce en particulier, à laquelle des critères spécifiques en termes d'échantillonnage peuvent être associés, notamment des critères relatifs à la zone de prélèvement (ex. zone dégagée de tout obstacle).

Qu'il s'agisse du milieu terrestre ou des milieux aquatiques (dulçaquicoles ou marins), le choix des points de prélèvement est basé sur une prise d'échantillon double permettant de collecter une matrice, sous et hors influence potentielle des rejets d'effluents atmosphériques ou liquides de chaque installation, et ainsi disposer de valeurs permettant de mettre en évidence et de quantifier une éventuelle influence des rejets des installations. Les études de dispersion et de dilution dans le milieu des rejets d'effluents atmosphériques et liquides permettent d'identifier les zones sous influence potentielle et hors influence des rejets des sites.

Le choix d'une zone de prélèvement pour chaque matrice correspond donc au meilleur compromis possible permettant de répondre au mieux à l'ensemble de ces critères génériques et spécifiques. Une fois la zone de prélèvement déterminée, le choix des points de prélèvement doit tenir compte des aspects liés à la sécurité : les points retenus doivent être aisément accessibles et permettre les prélèvements en toute sécurité.

De plus, le choix des stations de prélèvements est effectué sur la base du retour d'expérience acquis dans le cadre de la surveillance radioécologique des sites et dans l'objectif de pouvoir comparer les résultats obtenus sur le long terme. Ainsi, dans la mesure du possible, les prélèvements seront réalisés aux mêmes points de prélèvements aux mêmes périodes d'une année sur l'autre de manière à assurer une continuité géographique et temporelle.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.2.1. Domaine terrestre

7.2.1.1. Les bryophytes terrestres

Les bryophytes terrestres constituent d'excellents indicateurs des apports atmosphériques. En effet, ne disposant pas de racines, leur principale voie d'absorption est aérienne. Des processus actifs de conduction d'eau par capillarité et d'échanges d'ions par voie extracellulaire permettent aux mousses de piéger les éléments nécessaires à leur croissance. En plus de ce mode d'intégration actif, les phénomènes passifs d'accumulation des poussières atmosphériques par piégeage mécanique contribuent à concentrer la radioactivité du fait d'un important rapport surface/volume. Leur cycle de vie pluriannuel en fait un indicateur pertinent pour l'observation des apports atmosphériques à long terme.

7.2.1.2. Les sols

On distingue les sols cultivés pour lesquels des labours sont réalisés des sols non cultivés sur lesquels les cultures pluriannuelles ne demandent aucun remaniement (pâturages). Les sols non cultivés sont des intégrateurs pluriannuels des retombées atmosphériques. N'ayant pas subi de labourage récent, les radionucléides déposés à leur surface ne sont pas dilués dans la couche de labour.

7.2.1.3. L'herbe

Les prairies naturelles, non cultivées, sont privilégiées afin de rendre compte des transferts de radionucléides à partir d'un sol non remanié depuis plusieurs décennies. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif de la prairie échantillonnée (quelques mois) et ceux incorporés par voie racinaire.

7.2.1.4. Les végétaux cultivés

Parmi les végétaux cultivés, les salades sont privilégiées. Elles représentent la catégorie de légumes à feuilles, largement consommée. Seules les parties aériennes, sans contact avec le sol, sont échantillonnées. Leur grande surface d'interception en fait d'assez bons indicateurs des retombées atmosphériques de l'année.

7.2.1.5. Le lait

Les mesures dans le lait permettent de disposer d'échantillons intéressants en matière de radioprotection. La mesure du lait est pertinente pour rendre compte d'un éventuel marquage par les retombées atmosphériques, même très faibles, du fait des grandes surfaces d'herbe consommées pour produire ce lait. En effet la surface d'herbe consommée par une vache pour produire 1 litre de lait est nettement supérieure à la surface d'un prélèvement d'herbe.

7.2.1.6. Les eaux

Les prélèvements sont réalisés préférentiellement dans les réseaux de distribution d'eau potable, sinon dans le réseau de distribution d'eau d'irrigation. Les radionucléides sont recherchés dans la phase dissoute.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.2.2. Domaine aquatique

7.2.2.1. Les sédiments

Les sédiments de surface intègrent les dernières phases de dépôt du système aquatique et les résultats de mesures sont donc représentatifs des activités rejetées au cours des derniers mois. D'une manière générale, plus les particules sont fines plus elles développent, à masse identique, une surface d'échange importante susceptible de retenir des radionucléides tels que les produits de fission ou d'activation. Les zones de sédimentation des particules fines sont privilégiées, dans la mesure du possible, afin d'optimiser la détection des radionucléides. Les analyses portent sur la fraction inférieure à 2 mm.

7.2.2.2. Les phanérogames

Les phanérogames sont bien représentées sur l'ensemble du territoire français métropolitain. Les espèces immergées sont préférées aux espèces semi-aquatiques pour rendre compte des activités en radionucléides présents sous forme dissoute. Les résultats de mesure dans ces matrices sont représentatifs des niveaux d'activité dans l'eau au cours des quelques semaines précédant le prélèvement. Pour diminuer l'apport de radionucléides par le substrat, les tiges sont coupées au-dessus des racines. Un lavage soigneux permet de diminuer la quantité de matière en suspension retenue à la surface des végétaux.

7.2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés

Seule la partie consommée est analysée dans la majeure partie des cas. Cette fraction est en outre représentative des radionucléides assimilés.

7.3. Choix des fréquences d'analyses

La fréquence des analyses suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Dans le rapport du suivi radioécologique annuel sont exploités les résultats d'analyses sur les prélèvements collectés annuellement et spécifiquement pour le suivi radioécologique annuel. En complément, sont intégrés des résultats d'analyses acquis par l'IRSN pour EDF dans le cadre de la réglementation. Il s'agit en particulier des analyses de ^{14}C sur les végétaux collectés trimestriellement sous les vents des CNPE.

7.4. Choix des analyses

Les analyses réalisées suivent les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Elles portent sur les radionucléides les plus rejetés par les CNPE : tritium, ^{14}C , produits d'activation ou de fission présents dans les rejets d'effluents liquides (émetteurs gamma comme les ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{63}Ni , $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs ou ^{137}Cs) ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ^{58}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs ou ^{137}Cs). Les rejets atmosphériques comprennent aussi des gaz rares et des iodes.

7.5. Méthode de prélèvements sur le terrain

7.5.1. Domaine terrestre

7.5.1.1. Sols

Les sols non caillouteux sont prélevés avec une tarière racinaire de 8 cm de diamètre.

Rapport IRSN N° 2022-00811

Pour les sols cultivés, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 20 cm. Dans le cas des sols non cultivés, le prélèvement est réalisé dans l'horizon superficiel entre 0 et 5 cm ; dans le cas des bilans radioécologiques décennaux, trois prélèvements sont effectués entre 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm.

Plusieurs points de prélèvement proches les uns des autres sont réalisés afin d'obtenir un échantillon de 2 à 3 kg qui est placé dans un sachet plastique, préalablement référencé.

7.5.1.2. Végétaux

La quantité de végétal (ou de fraction de végétal) à prélever est déterminée en fonction du rapport de poids frais / poids sec de l'échantillon (estimé a priori) et de la quantité nécessaire pour faire la mesure. L'échantillon est récolté à la main ou à l'aide d'outils tranchants, puis placé dans un sac plastique préalablement référencé et immédiatement fermé. Si l'échantillon doit être soumis à un mesurage du ^{14}C , il est immédiatement mis au frais.

7.5.1.3. Eaux (eau de boisson, eau de nappe)

La réalisation d'une spectrométrie gamma nécessite la collecte de 90 litres d'eau, stockés en bidons plastiques référencés, et acidifiés à l'acide nitrique molaire à raison de 1 mL par litre. Cette acidification est destinée à éviter le développement des micro-algues et à limiter la fixation de radionucléides sur les parois des récipients. La mesure du tritium nécessite la collecte de 80 mL d'eau filtrée à 0,22 μm puis répartie dans deux flacons en verre fermés hermétiquement. Tous les prélèvements d'eau de boisson sont réalisés après avoir fait couler de l'eau durant plusieurs minutes afin de purger la canalisation. Les eaux de nappe sont prélevées à l'aide de pompes pour piézomètres. Ces échantillons sont conservés au frais jusqu'à leur envoi au service de métrologie.

7.5.1.4. Lait

Le lait est prélevé directement à la ferme, chez le producteur. Les 6 à 18 litres nécessaires pour la réalisation d'une spectrométrie gamma, sont stockés dans des flacons référencés. Pour le mesurage du ^3H libre, lié et ^{14}C 1 à 2 litre est conservé au frais.

7.5.2. Domaine aquatique continental

7.5.2.1. Sédiments

Le sédiment est prélevé de préférence à la pelle, sinon au cône de Berthois, puis déposé dans un récipient plastique à usage unique, fermeture hermétique et référencé. De retour au laboratoire, ces boîtes sont conservées en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

7.5.2.2. Végétaux

Les végétaux aquatiques sont prélevés, à raison d'environ 1 kg frais par espèce, à partir de la berge, à la main ou à l'aide de gaffes ou de grappins. Lavés dans le cours d'eau, ils sont ensuite disposés par espèce dans des bacs aérés afin d'éviter tout pourrissement, et traités dès leur arrivée au laboratoire.

7.5.2.3. Poissons

Les pêches sont réalisées au moyen de filets de type monofilament en nylon, de mailles de 10 à 70 mm. Ils sont installés au-dessus de zones profondes. Fixés en un point, ils sont disposés passivement dans le courant. Cette technique est efficace pour assurer la capture d'individus effectuant des migrations transversales et pour

Rapport IRSN N° 2022-00811

s'assurer de l'obtention d'un lot de poissons de taille homogène. Ces pêches sont réalisées de façon diurne avec une pose n'excédant pas 3 heures.

Une quantité d'environ 12 kg frais par espèce est nécessaire. Les individus capturés sont identifiés, pesés et mesurés sur le terrain. Après éviscération, ces échantillons sont conditionnés en sacs plastiques référencés et conservés à basse température (<4°C) jusqu'à leur arrivée au laboratoire où une dissection permet de séparer les filets du reste du corps (environ 6 kg de chair).

7.6. Préparation et conditionnement des échantillons

7.6.1. Domaine terrestre

7.6.1.1. Eau de boisson

Mesurage des émetteurs gamma

Pour le mesurage des émetteurs gamma, chaque échantillon de 90 litres environ est ramené à un volume de 500 mL par évaporation à 70 °C. L'échantillon concentré est transvasé dans un conteneur pour échantillons liquides (SG500), équivalent de la géométrie 380 mL. Il est alors expédié au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

Mesurage du tritium

La préparation pour le mesurage du ^3H se fait sur le terrain par filtration sur filtre plan de porosité 0,22 μm de deux échantillons de 40 mL, puis expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

7.6.1.2. Sols

Après émottage et quartage, 300 g environ sont séchés à l'étuve à une température inférieure à 40 °C, placés dans un sachet, référencés et expédiés, pour l'analyse granulométrique et la détermination de la teneur en matière organique, à la Société du Canal de Provence ou à l'INRA d'Arras. En ce qui concerne les analyses par spectrométrie gamma, 1,5 kg d'échantillon est séché et tamisé à 2 mm. 350 à 500 g de la fraction de terre fine (< 2 mm) ainsi séparés sont broyés puis conditionnés dans une boîte cylindrique en matière plastique (géométrie solide 380 mL), dont les dimensions sont spécifiques aux comptages en spectrométrie γ . Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

7.6.1.3. Végétaux

Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, les échantillons sont immédiatement nettoyés et pesés frais. Ils sont ensuite placés en étuve à moins de 105 °C jusqu'à dessiccation complète (24 à 48 h). Le poids sec de l'échantillon est noté, puis le résidu sec est mis au four. La montée en température s'effectue par paliers successifs afin d'éviter l'inflammation des échantillons (Figure 13 page 69). À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre, afin de concentrer le maximum de matière dans le minimum de volume. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en matière plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL, référencées. Le poids du contenu est noté puis la géométrie est expédiée au service de métrologie de l'IRSN afin d'effectuer une spectrométrie γ . Le rapport poids frais / poids sec est déterminé sur chaque aliquote de façon à exprimer l'ensemble des résultats dans la même unité ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}$).

Rapport IRSN N° 2022-00811

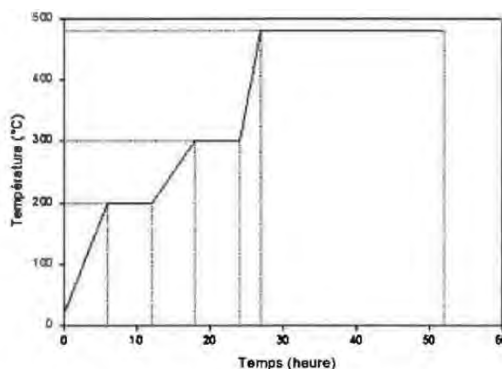


Figure 13 – Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

Les analyses destinées à la mesure de l' ^{131}I sont effectuées rapidement, idéalement dans les 8 jours qui suivent le prélèvement. Les échantillons peuvent être mesurés frais (mousses, herbe) ou sec (lait).

Mesurage du tritium et du ^{14}C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à $0,22\text{ }\mu\text{m}$ puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

7.6.1.4. Lait

Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, 6 à 18 litres de lait sont évaporés dans une étuve à moins de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le résidu sec est ensuite incinéré selon le protocole cité précédemment. À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie afin d'effectuer une spectrométrie γ .

Mesurage du tritium et du ^{14}C

Un litre de lait est lyophilisé de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et du ^{14}C . Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de

Rapport IRSN N° 2022-00811

métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

7.6.2. Domaine aquatique continental

7.6.2.1. Sédiments

Les sédiments sont séchés à moins de 105 °C, émiettés à la main et tamisés à 2 mm. La fraction supérieure à 2 mm est écartée. Une fraction de 200 g, séchée à moins de 40 °C, est réservée pour la granulométrie et la détermination de la teneur en matière organique. Une géométrie de comptage de 380 mL est remplie pour effectuer une spectrométrie γ.

7.6.2.2. Végétaux

Mesurage des émetteurs gamma

Après égouttage, le poids frais des végétaux (ou de leur fraction) est noté à titre indicatif. Ces échantillons sont ensuite séchés à 105 °C jusqu'à poids constant. Les produits secs sont pesés, puis incinérés selon un cycle de 52 h jusqu'à 480°C (Figure 13 page 69). Les cendres sont pesées et broyées. En fonction du volume de matières préparé, un conteneur 380 mL (sec) ou 17 mL (cendres) est utilisé pour un comptage en spectrométrie γ. Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

Le protocole de préparation et de mesurage de l'¹³¹I pour les végétaux terrestres est appliqué, ce type d'analyse étant effectué de préférence sur 2 bryophytes aquatiques ou par défaut, sur 2 phanérogames immergées (un échantillon amont et un aval).

Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie.

7.6.2.3. Poissons

Mesurage des émetteurs gamma

La biométrie ayant été réalisée sur le terrain, sur des individus entiers, non éviscérés, les lots de poissons constitués sont disséqués de manière à isoler les filets, susceptibles d'être consommés par l'homme. Comme pour les végétaux, ils sont séchés à poids constant, pesés secs et incinérés. Leurs cendres sont broyées et disposées dans des boîtes de 17 ou 60 mL pour la spectrométrie γ. Référencée, cette boîte est expédiée au service de métrologie de l'IRSN.

Mesurage du tritium et du ¹⁴C

Une aliquote est lyophilisée de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et/ou le ¹⁴C. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au laboratoire de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.7. Techniques d'analyses

7.7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments

Ces analyses sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses des Eaux de la Société du Canal de Provence ou par le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras.

7.7.1.1. Teneur en matière organique

La matière organique des sédiments et des sols est dosée par calcination. Les échantillons, préalablement séchés à 105 ± 2 °C jusqu'à poids constant, sont calcinés dans un four à moufle porté progressivement jusqu'à une température de 480 °C. La perte de masse permet de connaître directement le pourcentage de matière organique.

7.7.1.2. Granulométrie

La technique d'analyse granulométrique consiste tout d'abord en une attaque de la matière organique par l'eau oxygénée à 20 volumes, qui permet d'éliminer ce liant des particules. Une agitation mécanique dans l'hexamétaphosphate de sodium va disperser les particules dans un flacon à sédimentation.

La séparation des argiles, limons fins et grossiers est réalisée au moyen de prélèvements de 20 ml de cette suspension, en se basant sur la loi de Stokes qui régit la sédimentation des particules dans un liquide à température constante. Des abaques permettent en effet de connaître la profondeur de sédimentation de chacune de ces fractions en un temps donné. Les aliquotes prélevées sont déposées dans des capsules et desséchées à 103 ± 2 °C jusqu'à poids constant.

Le fractionnement des sables se fait par la superposition de tamis de 200 µm et de 50 µm. Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 µm.

7.7.2. Identification des espèces vivantes

Une fraction des échantillons de mousses prélevées est mise à sécher à l'air libre. Leur identification est réalisée selon le besoin. Notamment, les mousses aquatiques qui peuvent être identifiées par le Laboratoire AgroCampus Ouest de Rennes.

Les phanérogames terrestres, aquatiques et semi-aquatiques sont identifiées par nos soins.

La détermination des espèces de poissons est effectuée après capture, lors des mesures de biométrie, par un pêcheur professionnel.

7.7.3. Mesure du tritium libre

La mesure du tritium libre est réalisée par le service de métrologie de l'IRSN Orsay (Essonne).

Il est entendu par « tritium libre » le tritium de la molécule d'eau ou pouvant être recouvré sous forme d'eau par déshydratation d'un échantillon solide (eau interstitielle, eau tissulaire).

Les échantillons d'eau, excepté les eaux de lyophilisation, sont distillés à sec. Les échantillons solides frais sont lyophilisés à froid sous vide, permettant de séparer la fraction eau et la fraction sèche. Dans le cas des produits alcoolisés, une distillation partielle est effectuée sur la fraction liquide recueillie pour isoler l'eau de l'alcool.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.7.4. Mesure du tritium organiquement lié

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par spectrométrie de masse est privilégiée pour les échantillons à faible teneur en matière organique, notamment les sols et sédiments.

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à 1000°C. Le second four est réglé à une température de 1000 °C. Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

Le tritium organiquement lié peut être également déterminé en mesurant par spectrométrie de masse, la quantité d'hélium 3 (^3He), descendant du tritium. L'échantillon est lyophilisé, puis conditionné dans un conteneur, garantissant une étanchéité totale. L'isolement est maintenu le temps nécessaire à la formation de la quantité d' ^3He nécessaire. Ce délai varie généralement entre 3 et 6 mois et dépend de la masse d'échantillon introduite, des performances du spectromètre de masse, de la quantité de tritium attendue et de l'incertitude souhaitée. A l'issue de la période de stockage, le conteneur est monté sur la ligne d'introduction du spectromètre de masse pour la mesure de l'hélium. L'activité en tritium est déterminée par calcul de décroissance.

Les mesures sont effectuées sur un spectromètre VG-3000 de chez Micromass.

7.7.5. Mesure du ^{14}C

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par spectrométrie de masse est privilégiée pour les échantillons à faible teneur en matière organique, notamment les sols et sédiments.

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à 1000°C. Le second four est réglé à une température de 1000 °C. Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

Le tritium organiquement lié peut être également déterminé en mesurant par spectrométrie de masse, la quantité d'hélium 3 (^3He), descendant du tritium. L'échantillon est lyophilisé, puis conditionné dans un conteneur, garantissant une étanchéité totale. L'isolement est maintenu le temps nécessaire à la formation de la quantité d' ^3He nécessaire. Ce délai varie généralement entre 3 et 6 mois et dépend de la masse d'échantillon introduite, des performances du spectromètre de masse, de la quantité de tritium attendue et de l'incertitude souhaitée. A l'issue de la période de stockage, le conteneur est monté sur la ligne d'introduction du spectromètre de masse pour la mesure de l'hélium. L'activité en tritium est déterminée par calcul de décroissance.

Les mesures sont effectuées sur un spectromètre VG-3000 de chez Micromass.

7.7.6. Spectrométrie γ

L'essentiel des mesures par spectrométrie γ est réalisé par le service de métrologie de l'IRSN accrédité COFRAC pour les matrices exploitées dans cette étude. La mesure de ^{131}I des échantillons collectés en Manche et mer du Nord sont mesurés au laboratoire d'Octeville de l'IRSN.

L'IRSN dispose d'installations de mesure spécifiques lui permettant de détecter et de quantifier les radionucléides naturels ou artificiels émetteurs γ dans des échantillons de très faibles niveaux de radioactivité comme c'est le cas des échantillons issus de l'environnement.

Rapport IRSN N° 2022-00811

L'un des objectifs du service de métrologie est de détecter les niveaux de radioactivité les plus bas en jouant sur l'efficacité de la détection, le mouvement propre et le bruit de fond radioactif de l'installation. Un autre objectif est d'assurer que la qualité des résultats reste constante au cours du temps à l'aide d'un programme d'assurance qualité.

Afin de protéger les détecteurs du rayonnement cosmique secondaire, la salle de mesure blindée est en sous-sol, à 6 m de profondeur. Pour augmenter la protection contre ce type de rayonnement, sous-sol et rez-de-chaussée sont séparés par une dalle de béton de 3 m d'épaisseur. Le blindage de la salle est constitué d'un mur de 10 cm de plomb (115 tonnes de plomb) de faible radioactivité. Cependant, les rayonnements cosmiques induisent une fluorescence X du plomb qui fait apparaître des raies parasites jusqu'à 90 keV. Le mur de la salle blindée a donc été doublé d'une couche interne de 10 mm de cuivre électrolytique qui neutralise cette fluorescence X. De plus, les matériaux utilisés dans la chambre blindée, en particulier les aciers entrant dans les supports des détecteurs, ont été sélectionnés pour leurs faibles niveaux radioactifs. Ces précautions réduisent les sources de radioactivité liées à l'introduction du matériel de mesure. De même, des précautions sont prises pour limiter les effets des sources potentielles de radioactivité naturelle, tels les radionucléides appartenant aux familles radioactives de l'uranium et du thorium comme le ^{40}K , ou artificielles, comme les radionucléides issus des essais nucléaires aériens ou d'accidents nucléaires.

Les détecteurs sont de type Gamma-X Ge System, d'efficacité comprise entre 10 et 23 %, et d'une résolution de 850 eV à 100 keV. Les spectrométries sont réalisées dans la bande d'énergie allant de 20 keV à 3 MeV. La méthode de mesure (acquisition et traitement des spectres) est celle développée par la société Silena et utilisée dans les logiciels Emca Plus et Silgamma.

7.8. Expression des résultats et unités utilisées

Les résultats d'analyse de radioactivité sont rapportés à la date de prélèvement.

Les activités en émetteurs gamma sont reportées en Bq.kg^{-1} de matière sèche pour les résultats dans la plupart des matrices, en Bq.kg^{-1} frais pour les poissons, mollusques et crustacés et en Bq.L^{-1} dans le lait et l'eau. Le ^{137}Cs , émetteur β^- , donne naissance avec un rendement de 94,6 % au $^{137\text{m}}\text{Ba}$ de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ^{137}Ba , stable. Le $^{137\text{m}}\text{Ba}$ conduit au ^{137}Ba , avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du $^{137\text{m}}\text{Ba}$, sera reportée sous l'intitulé 137Cs usuellement utilisé.

Les activités en tritium sont reportées en Bq.L^{-1} d'eau de cryodessiccation pour le tritium libre mesuré dans le lait et les poissons, en Bq.L^{-1} d'eau filtrée pour les résultats dans les prélèvements d'eau de boisson ou d'irrigation. Les activités en tritium organiquement lié sont reportées en Bq.L^{-1} d'eau de combustion et en Bq.kg^{-1} de matière sèche.

Les activités en ^{14}C sont reportées en Bq.kg^{-1} de carbone ainsi qu'en pMC (pourcentage de carbone moderne). Le pMC est calculé à partir du résultat en Bq.kg^{-1} de carbone (A ci-dessous) et du résultat de la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ ci-dessous) :

$$pMC = A \left\{ 1 - \frac{2 \times (25 + \delta^{13}\text{C})}{1000} \right\} \times \frac{100}{226}$$

d'après [16]

Chacun des résultats de mesure du ^{14}C en Bq.kg^{-1} de carbone (BqC ci-dessous) est assorti du résultat de la mesure du carbone total en g.kg^{-1} sec (C ci-dessous) pour permettre l'expression du résultat en Bq.kg^{-1} de matière sèche (BqS ci-dessous) :

$$\text{BqS} = \text{BqC} \left(\text{C} / 1000 \right)$$

Dans les tableaux récapitulatifs concernant les données antérieures relatives à un site, une vision synthétique de l'ensemble des résultats disponibles est donnée par l'utilisation de leur gamme de variation. Ces tableaux comprennent les valeurs minimales et maximales mesurées pour chaque radionucléide décelé, ainsi que leur

Rapport IRSN N° 2022-00811

fréquence de détection (égale au nombre d'échantillons où le radionucléide est détecté de manière significative divisé par le nombre d'échantillons analysés). Lorsqu'aucune valeur significative n'a été obtenue, les données chiffrées sont remplacées par un tiret (-).

Dans les tableaux des résultats de l'année ainsi que dans le texte, les résultats sont accompagnés de l'incertitude statistique, calculée pour un intervalle de confiance de 95 %, et sont présentés dans les tableaux par : « valeur $\pm$ incertitude » ($\pm 2 \sigma$). De 1996 à 2010, ces tableaux indiquaient, en outre, la Limite de Détection (LD) associée à la mesure des radionucléides non détectés. Depuis 2011, cette LD fait place au Seuil de Décision (SD = LD/2). En outre, le couple « valeur $\pm$ incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [17].

Les graphiques présentent les valeurs significatives (rond coloré) accompagnées de leurs incertitudes (barres verticales colorées hautes et basses) ou le seuil de décision (barre colorée depuis l'abscisse) dans le cas de valeurs non significatives (Figure ci-dessous).

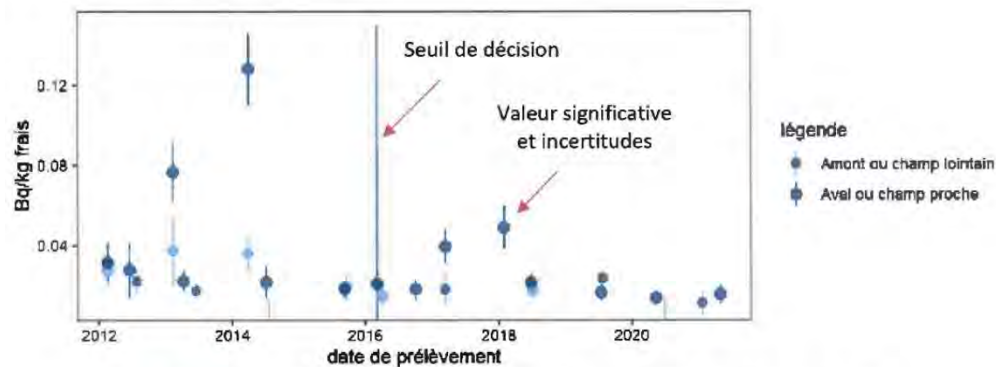


Figure 14 – Valeurs significatives et seuils de décisions dans les graphiques.

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ^{137}Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [18]. Ainsi les résultats de chacun des deux prélèvements en aval sont normalisés selon leur granulométrie pour être ramenés à la granulométrie du prélèvement en amont selon la formule :

$$^{137}\text{Cs}_{\text{ref}} = ^{137}\text{Cs}_{\text{meas}} \frac{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{\text{ref}} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{\text{ref}}}{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{\text{meas}} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{\text{meas}}}$$

Où

$^{137}\text{Cs}_{\text{ref}}$ = activité massique en ^{137}Cs normalisée (une station aval dans ce document) ;

$^{137}\text{Cs}_{\text{meas}}$ = activité massique en ^{137}Cs mesurée (une station aval dans ce document) ;

CC_{ref} = teneur en argile du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

CC_{meas} = teneur en argile du sédiment mesuré ;

FSC_{ref} = teneur en limon fin du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

Rapport IRSN N° 2022-00811

FSC_{meas} = teneur en limon fin du sédiment mesuré.

Cette équation ne doit être utilisée que si la teneur en matière organique est supérieure à 1 %.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.9. Radionucléides dans l'environnement

7.9.1. Radioactivité d'origine naturelle

La radioactivité naturelle est essentiellement due au ^{40}K , à la famille de l' ^{238}U comprenant 14 descendants, et à celle du ^{232}Th en comprenant 10. Le ^7Be est parfois détecté.

Dans le cas des deux familles du ^{232}Th et de l' ^{238}U , le mesurage est le plus souvent réalisé à l'aide de raies d'émission de plusieurs éléments fils de chacune de ces deux chaînes naturelles :

- pour la famille du ^{232}Th : ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl
- pour la famille de l' ^{238}U : ^{234}Pa , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb

En fonction de l'énergie d'émission, de l'activité dans l'échantillon et de l'éventuel déséquilibre au sein de la chaîne, le dosage ne s'effectue pas toujours sur les raies d'énergie du même élément fils.

Si les éléments fils du thorium et de l'uranium sont à l'équilibre avec l'élément père, et uniquement dans ce cas précis, alors la radioactivité naturelle peut être calculée selon la formule : $^{40}\text{K} + (14 \times ^{238}\text{U}) + (10 \times ^{232}\text{Th}) + ^7\text{Be}$. L'équilibre dans une chaîne de filiation peut ne pas être respecté en raison d'un apport supplémentaire d'origine naturelle (apport atmosphérique, métabolisme favorisant la concentration d'un élément donné chez les organismes vivants...) et/ou anthropique de l'un des éléments de la chaîne.

Les activités en radionucléides naturels dans les sols et sédiments métropolitains ont fait l'objet de publications dont un rapport IRSN [19].

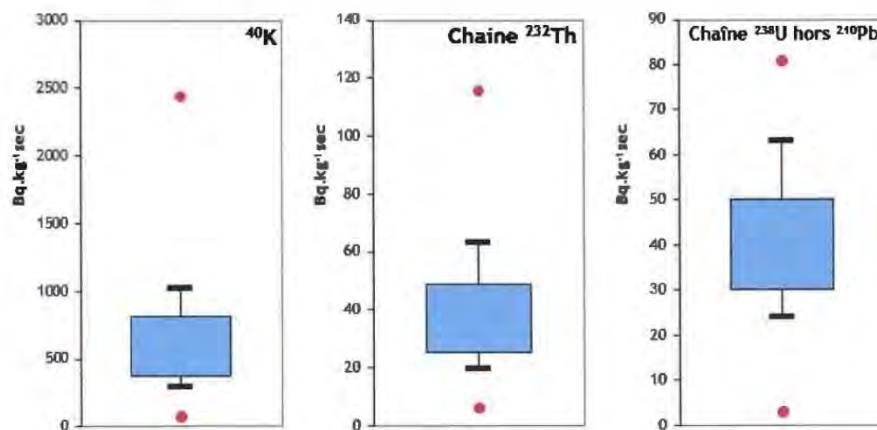


Figure 15 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

Rapport IRSN N° 2022-00811

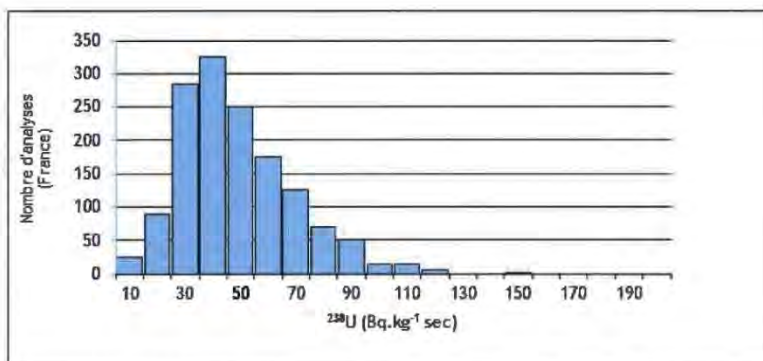


Figure 16 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

7.9.2. Radioactivité d'origine artificielle

La présence dans la biosphère de radio-isotopes artificiels résulte des apports anthropiques liés à l'utilisation militaire du combustible nucléaire, à son utilisation civile dans les installations nucléaires en fonctionnement normal et aux accidents qui se sont produits.

7.9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires

Les essais nucléaires atmosphériques, qui se sont déroulés essentiellement de 1945 à 1962, ont libéré en majorité des produits de fission, tels que le ^{134}Cs , le ^{90}Sr et les radio-isotopes 238, 239 et 240 du plutonium. Les retombées ont conduit à un marquage chronique de l'environnement qui perdure depuis l'arrêt des essais américains et soviétiques en août 1963.

Jusqu'au 16 octobre 1980, la Chine a continué à effectuer des essais atmosphériques d'armes nucléaires à Lop Nor (40°N, 90°O). Les mesures réalisées consécutivement à ces tirs dans des échantillons d'air ou des échantillons biologiques ont montré la présence de ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb et ^{125}Sb [20].

7.9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires

L'accident ayant entraîné l'émission radioactive quantitativement la plus importante est celui de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986. Cet accident a libéré dans l'atmosphère des radionucléides divers représentatifs du cœur du réacteur, dont les plus abondants sont les $^{134+137}\text{Cs}$, l' ^{131}I , le ^{132}Te , le ^{140}Ba et les $^{103+106}\text{Ru}$. La progression du nuage a conduit, surtout dans l'est et le sud-est de la France, à partir du 29 avril, à une montée nette de la radioactivité des aérosols. Les dépôts, essentiellement sous forme humide, ont affecté directement et par lessivage des sols, les bassins versants français, tout comme les écosystèmes aquatiques de l'est et du nord de l'Europe.

Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon au cours de la seconde moitié du mois de mars 2011 ont occasionné en France des détections faibles et fugaces dans les matrices terrestres de ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I et ^{132}Te . Le rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ est proche de 1 [12]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire implique la génération d'isotopes stables et radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission), et de l'activation des différents matériaux de structure (produits d'activation). Après traitement, contrôle et dilution, les effluents liquides faiblement radioactifs sont rejetés dans les cours d'eau ou la mer conformément à la législation en vigueur.

Globalement, les principaux radionucléides émetteurs γ émis par les réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement normal sont : ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{134}Cs et ^{137}Cs . Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ^{58}Co , ^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Les quantités rejetées au cours des années 90 ont diminué d'environ un facteur dix. Cependant, la composition des effluents liquides est variable d'un CNPE à l'autre, en fonction de sa conception, de son mode d'exploitation, de son âge et de l'historique d'exploitation de la tranche.

Les effluents atmosphériques radioactifs sont rejetés dans l'environnement, après traitement des effluents atmosphériques hydrogénés et stockage durant trente jours au minimum.

7.9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations

Des centres d'études, des centres militaires ainsi que des centres de traitements ou de stockage du combustible usé peuvent occasionner des marquages avec des signatures plus ou moins proches de celui des CNPE.

Les services de médecine nucléaire rejettent du ^{131}I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.

7.9.3. Sources de ^3H

En dehors des rejets de ^3H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^3H est déjà présent dans l'environnement. Sur l'ensemble du globe, la plus grande part provient très majoritairement des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Localement, les sites CEA de Marcoule, ORANO La-Hague, Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc sont aussi à l'origine d'un net marquage de l'environnement. Les résidus de l'industrie horlogère peuvent augmenter sensiblement les niveaux de radioactivité des systèmes aquatiques.

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L^{-1} . Le ^3H a été massivement produit lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans l'eau de pluie dans les années soixante, l'activité volumique à proximité de la zone d'étude est descendue à 10 Bq.L^{-1} en 1980 après le dernier essai aérien. Aujourd'hui, l'activité volumique de l'eau de pluie est inférieure à 2 Bq.L^{-1} .

7.9.4. Sources de ^{14}C

En dehors des rejets autorisés de ^{14}C liquides et atmosphériques par les CNPE, le ^{14}C est déjà présent dans l'environnement.

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires ont massivement apporté du ^{14}C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C est montée jusqu'à 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décliné. Elle est, en 2021, de $223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C [1].

Rapport IRSN N° 2022-00811

7.10. Laboratoires d'analyses

ANALYSES	LABORATOIRE
Radionucléides émetteurs alpha Radionucléides émetteurs gamma (+ Iode-129) Strontium-90 Carbone-14 (méthode benzène) Tritium libre et lié Technétium-99 Nickel-63	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Métrologie de la Radioactivité dans l'Environnement (LMRE) Le bois des Rames - Bâtiment 501 91400 Orsay
Carbone-14 (méthode benzène) Fer-55	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) 31 rue de l'écluse 78116 Le Vésinet
Carbone-14 (méthode AMS)	Laboratoire de mesure du carbone-14 Bâtiment 450 porte 4E CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex Isotoptech Zrt. P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie
Iode-127 Calcium Carbone et rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Hydrogène	Centre National de la Recherche Scientifique Service central d'analyses 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne
Granulométrie 5 fractions Teneurs en matière organique, calcium et aluminium Capacité d'échange cationique	Institut national de la recherche agronomique Laboratoire d'analyse des sols d'Arras (LAS) 273 rue de Cambrai 62000 Arras Société du canal de Provence Le Tholonet – CS70064 13182 Aix-en-Provence Cedex 5



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

EDF SA
22-30, avenue de Wagram
75382 Paris cedex 08
Capital de 2 000 466 841 euros
552 081 317 R.C.S. Paris
www.edf.fr

CNPE de Chooz
BP174 - 08600 GIVET
Contact : chooz-communication@edf.fr
Tél. : 03.24.36.30.00