

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

**Golfech**

**2022**

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

# SOMMAIRE

<b>Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité</b>	<b>4</b>
<b>de Golfech en 2022</b>	<b>4</b>
I. Contexte	4
II. Le CNPE de GOLFECH	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de GOLFECH	5
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	5
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement	6
<b>Partie II - Prélèvements d'eau</b>	<b>9</b>
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	12
<b>Partie III – Restitution et consommation d'eau</b>	<b>14</b>
I. Restitution d'eau	14
II. Consommation d'eau	14
<b>Partie IV - Rejets d'effluents</b>	<b>16</b>
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	16
II. Rejets d'effluents liquides	24
III. Rejets thermiques	40
<b>Partie V - Prévention du risque microbiologique</b>	<b>44</b>
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	44
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	45
<b>Partie VI - Surveillance de l'environnement</b>	<b>46</b>
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	46
II. Physico-chimie des eaux souterraines	53
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	55

IV. Hydrobiologie _____	58
V. Acoustique environnementale _____	61
<i>Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</i> _____	<i>63</i>
<i>Partie VIII - Gestion des déchets</i> _____	<i>67</i>
I. Les déchets radioactifs _____	67
II. Les déchets non radioactifs _____	71
<i>ABREVIATIONS</i> _____	<i>74</i>
<i>ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Golfech Année 2022</i> _____	<i>75</i>
<i>ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de Golfech Année 2021</i> _____	<i>76</i>

# Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Golfech en 2022

## I. Contexte

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

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

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

En application de l'article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base, ce document présente le bilan de l'année 2022 du CNPE de Golfech en matière d'environnement.

## II. Le CNPE de GOLFECH

Le site de Golfech est situé sur la commune de Golfech (département de Tarn-et-Garonne) entre Toulouse et Agen. Il occupe une surface de 220 hectares, sur la rive droite de la Garonne. Les premiers travaux de construction ont eu lieu à partir de 1982 sur une zone choisie pour ses caractéristiques géologiques.

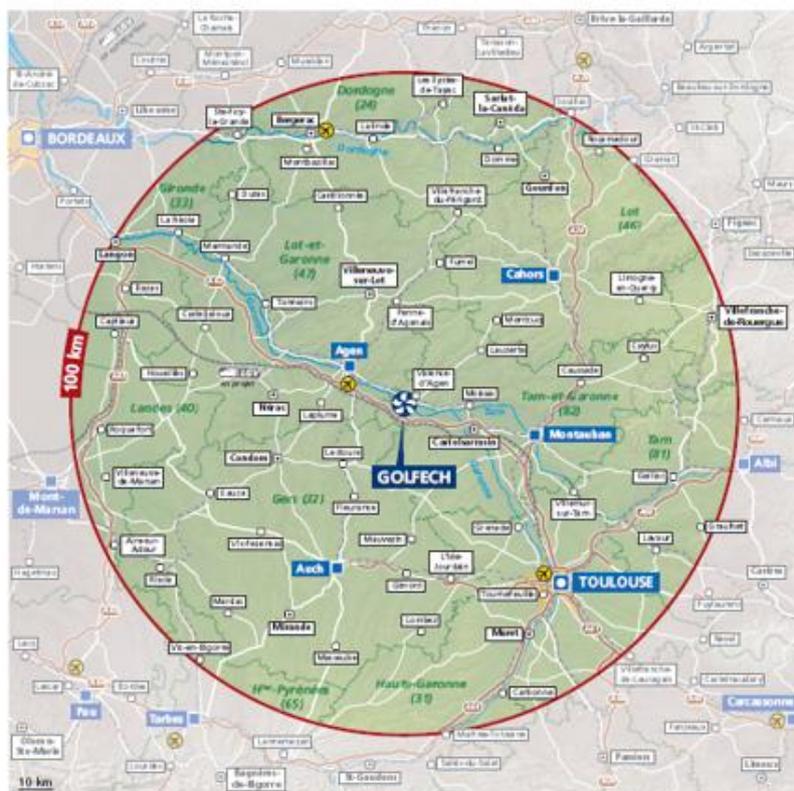
Les installations de Golfech regroupent deux unités de production d'électricité en fonctionnement :

- une unité de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 1 300 mégawatts électriques refroidie par l'eau de la Garonne : Golfech 1, mise en service en 1991. Ce réacteur constitue l'installation nucléaire de base (INB) n° 135 ;

- une unité de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 1 300 mégawatts électriques refroidie par l'eau de la Garonne : Golfech 2, mise en service en 1994. Ce réacteur constitue l'installation nucléaire de base (INB) n° 142.

Le centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Golfech emploie plus de 1000 salariés d'EDF et d'entreprises extérieures, et fait intervenir, pour réaliser les travaux lors des arrêts pour maintenance des unités, de 500 à 1 500 personnes supplémentaires.

## LOCALISATION DU SITE



### Les grandes villes et axes de communication



- Préfecture de région
- Préfecture départementale
- ⊙ Sous-préfecture
- Autre ville

### III. Modifications apportées au voisinage du CNPE de GOLFECH

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 CNPE de Golfech n'a été identifiée.

o

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

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

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

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

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

En 2003 le CNPE de Golfech a été certifié, pour la première fois, ISO 14001. L'obtention de la norme ISO 14001 est une reconnaissance internationale de la prise en compte de l'environnement dans l'ensemble des activités de l'entreprise. Elle est l'assurance d'une démarche d'amélioration continue et de la mise en place d'une organisation spécifique au domaine de l'environnement.

La protection de l'environnement, sur le terrain comme en laboratoire, a toujours été une priorité pour les CNPE d'EDF. Comme pour tous les sites industriels, les exigences environnementales fixées par le CNPE de Golfech 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 Golfech. L'ensemble des salariés du CNPE, ainsi que le personnel intervenant pour le compte d'entreprises extérieures, sont impliqués dans le respect de l'environnement.

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

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

## 1. Bilan des évènements significatifs pour l'environnement déclarés

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

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE 22-01	09/02/22	Cumul annuel 2022 d'émission de fluide frigorigène supérieur à 100 kg sur le CNPE de Golfech. ⇒ Emission de gaz à effet de serre	Remplacement des anciens groupes par des groupes de technologie différente.
ESE 22-02	09/03/22	Ecoulement d'effluents acides dans le réseau d'eaux pluviales. ⇒ Rejet d'une partie de l'écoulement dans le canal de fuite du CNPE. ⇒ Pas d'impact visible sur les eaux souterraines	Contrôles du bon état des commandes de verrouillage des robinets similaires sur l'installation CTF. Mise en place d'une ronde de surveillance à risque environnement par les équipes conduite.
ESE 22-03	25/03/22	Présence d'effluents dans la rétention non étanche du déshuileur 1SEK011DH suite à coupure tableaux électriques ⇒ Pas d'impact, la surveillance renforcée des eaux souterraines n'a pas révélé de marquage.	Réfection de l'étanchéité de la rétention. Mise en œuvre de nouvelles mesures organisationnelles
ESE 22-04	16/06/22	Présence d'effluents chimiques non radioactifs dans la fosse en béton contenant le réservoir de stockage des produits issus du développement des films radiographiques ⇒ Pas d'impact, la surveillance renforcée des eaux souterraines n'a pas révélé de marquage. ⇒ L'analyse des sols réalisée dans l'environnement proche de l'installation n'a pas non plus mis en évidence de marquage chimique.	Réparation du réservoir. Reprise de l'étanchéité des drains. Etanchéification du fond de fosse.
ESE 22-05	19/08/22	Non-surveillance du pH lors d'un rejet liquide non radioactif issu de la station de déminéralisation. ⇒ Pas d'impact, le pH de la fosse rejetée étant conforme aux limites réglementaires en amont du rejet (défaut de surveillance uniquement).	Mise en œuvre d'un affichage sur la commande de rejet en local. Mise en œuvre de nouvelles mesures organisationnelles.

## 2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE de Golfech a eu, durant l'année 2022, des matériels indisponibles suivants :

Le réservoir de stockage des effluents radioactif T1 est indisponible depuis le 14 avril 2022 pour travaux par suite de phénomènes de corrosion sur ses structures internes. Ceux-ci sont toujours en cours.

Les structures internes du piège à iode 2 DVN 171 Pi ont été trouvées dégradées, cette découverte faisant suite à la détection d'une partie de son charbon en dehors de son caisson. Celui-ci a été entièrement rénové et la charge de charbon remplacée. La requalification fonctionnelle de ce matériel a entraîné une légère présence d'iode à la cheminée du Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires.

A noter le retour à la pleine disponibilité de la chaîne 2 KRT 114 MA (prélèvement C14 à la cheminée du Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires) par suite des réparations et sa requalification fonctionnelle à mi-année 2022. Cette anomalie avait été mentionnée dans le rapport de 2021.

## Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

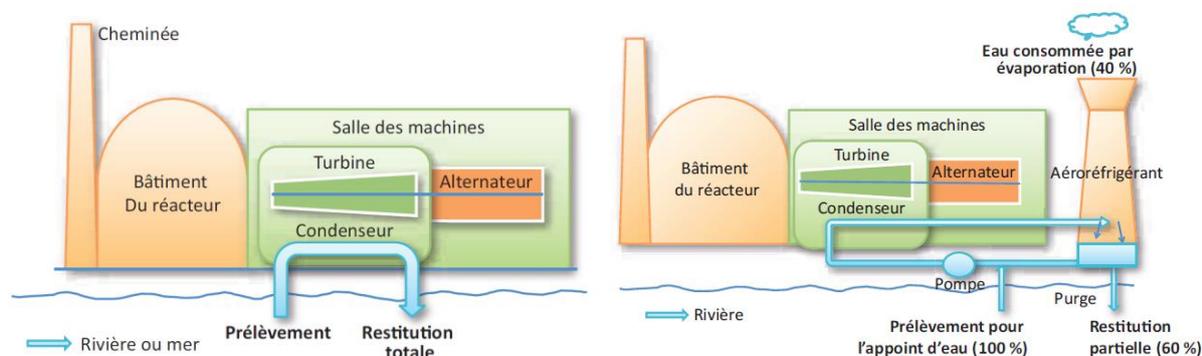
Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

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



**Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (à gauche) et fermé (à droite) (Source : EDF)**

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

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement. Plus précisément, 80 % de l'eau prélevée est restituée au fleuve, les 20 % restants étant très majoritairement attribuables à l'évaporation d'eau au niveau des tours aéroréfrigérantes.

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

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

## I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

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

	Prélèvement d'eau (en millions de m <sup>3</sup> )
Janvier	17,06
Février	15,28
Mars	12,90
Avril	12,55
Mai	13,32
Juin	13,23
Juillet	13,36
Août	11,15
Septembre	10,67
Octobre	10,98
Novembre	10,66
Décembre	12,31
<b>TOTAL</b>	<b>153,49</b>

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel de l'année 2022 ;

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	22 111
Février	16 255
Mars	10 780
Avril	10 650
Mai	17 406
Juin	15 473
Juillet	19 867
Août	26 573
Septembre	14 460
Octobre	14 617
Novembre	6 929
Décembre	19 756
<b>TOTAL</b>	<b>194 874</b>

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

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

	Prélèvement d'eau (en m <sup>3</sup> )
Janvier	2 020
Février	2 133
Mars	2 642
Avril	2 514
Mai	2 222
Juin	1 210
Juillet	1 917
Août	2 396
Septembre	2 324
Octobre	2 389
Novembre	1 715
Décembre	2 047
TOTAL	25 529

### 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 (millions de m <sup>3</sup> )
2020	Eau douce superficielle	196,52
2021		187,34
2022		153,68
Prévisionnel 2022		200

**Commentaires :** Le volume annuel d'eau prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2022, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches. L'affaire CSC a entraîné la prolongation de la VD TR1, ce qui a amené à un moindre prélèvement.

#### 2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par l'arrêté de prélèvements et rejets du 18 septembre 2006.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Canal	Débit horaire	9,8	6,7	4,9	m <sup>3</sup> / s
	Volume journalier	743 000	579898	420514	m <sup>3</sup>
	Volume annuel	238 <sup>E6</sup>	153 <sup>E6</sup>	S.O.	m <sup>3</sup>

**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'ont été nécessaires.

### 4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE de Golfech n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le fleuve en 2022.

## Partie III – Restitution et consommation d'eau

### I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			Unités
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	
Restitution mensuelle	Janvier	14,386	0,0021	0,0011	Millions de m <sup>3</sup>
	Février	13,046	0,0014	0,0014	
	Mars	11,563	0,0015	0,0011	
	Avril	11,291	0,0022	0,0017	
	Mai	11,816	0,0014	0,0008	
	Juin	11,736	0,0012	0,0006	
	Juillet	12,09	0,0008	0,0009	
	Août	9,622	0,0014	0,0023	
	Septembre	9,246	0,0009	0,0008	
	Octobre	9,538	0,0006	0,0011	
	Novembre	9,342	0,0010	0,0014	
	Décembre	11,062	0,0007	0,0009	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	134,77			Millions de m <sup>3</sup>
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	85,3			%

### 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 millions de m3)
Janvier	2,67
Février	2,24
Mars	1,34
Avril	1,49
Mai	1,50
Juin	1,49
Juillet	1,27
Août	1,53
Septembre	1,43
Octobre	1,44
Novembre	1,32
Décembre	1,25
<b>TOTAL</b>	<b>18,98</b>

Cette consommation correspond en grande majorité à l'eau évaporée (tours aéroréfrigérantes).

## 2. Comparaison aux valeurs limites

Limite de la fraction évaporée (m³/s)	Valeur maximale fraction évaporée (m³/s)	Valeur moyenne fraction évaporée (m³/s)	Limite de la fraction évaporée (Mm³)	Fraction évaporée (Mm³)
2,4	1,07	0,63	42	18,98

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

## Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

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

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

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

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

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

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

- Les principaux gaz rares issus de la réaction de fission sont le xénon 133, le xénon 135, le krypton 85 et le xénon 131. Ce sont des gaz inertes, ils ne sont donc pas retenus par les systèmes de filtration (filtres très haute efficacité THE et pièges à iodes).
- Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. C'est un émetteur bêta (électron) de faible énergie. Il est rejeté par les CNPE 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  $\beta$  ou  $\gamma$ , correspondent principalement au césium et au cobalt.

#### a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

### c. Cumul mensuel

Les cumuls mensuels des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère sont donnés dans les tableaux suivants.

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

	<sup>41</sup> Ar (GBq)	<sup>85</sup> Kr (GBq)	<sup>131m</sup> Xe (GBq)	<sup>133</sup> Xe (GBq)	<sup>135</sup> Xe (GBq)	<sup>131</sup> I (MBq)	<sup>133</sup> I (MBq)	<sup>58</sup> Co (MBq)	<sup>60</sup> Co (MBq)	<sup>134</sup> Cs (MBq)	<sup>137</sup> Cs (MBq)
Janvier	1,888	/	/	17,4	9,45	0,210	0,701	0,0303	0,0574	0,0357	0,0339
Février	1,489	0,049	0,049	19,6	10,11	0,167	0,691	0,0334	0,0480	0,0372	0,0330
Mars	5,429	0,0042	0,0042	22,16	10,78	0,360	0,715	0,0390	0,0557	0,0283	0,0373
Avril	0,894	0,0044	0,0043	18,72	10,10	0,154	0,606	0,0921	0,0624	0,0453	0,0399
Mai	1,441	/	/	18,99	10,50	1,902	0,708	0,0373	0,0516	0,0336	0,0308
Juin	0,941	0,0058	0,0045	19,01	10,84	0,221	0,642	0,0363	0,0463	0,0362	0,0362
Juillet	1,151	0,0042	0,0089	20,04	11,09	0,153	0,694	0,0378	0,0522	0,0386	0,0342
Août	0,621	0,0012	0,0014	21,15	12,02	2,296	0,792	0,0374	0,0472	0,0312	0,0322
Septembre	0,886	0,0030	0,0036	19,89	11,26	0,146	0,686	0,0404	0,0536	0,0397	0,0363
Octobre	1,400	0,0402	0,0055	21,44	12,24	5,062	0,914	0,0440	0,0636	0,0456	0,0443
Novembre	1,010	0,0113	0,0024	20,40	11,44	1,915	0,697	0,0399	0,0596	0,0384	0,0399
Décembre	0,946	0,0025	0,0053	19,63	11,25	0,186	0,747	0,0481	0,0553	0,0440	0,0428
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>18,1</b>	<b>0,126</b>	<b>0,0089</b>	<b>238,43</b>	<b>131,08</b>	<b>12,8</b>	<b>8,59</b>	<b>0,516</b>	<b>0,653</b>	<b>0,454</b>	<b>0,441</b>

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activités gaz rares (TBq)	Activité Tritium (TBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,38 <sup>E8</sup>	0,0287	0,0416	116,2	0,00091	0,000157
Février	3,08 <sup>E8</sup>	0,0313	0,0484		0,00685	0,000152
Mars	3,72 <sup>E8</sup>	0,0384	0,0843		0,00107	0,000160
Avril	3,64 <sup>E8</sup>	0,0297	0,0674	102,4	0,00076	0,000240
Mai	3,64 <sup>E8</sup>	0,0309	0,0715		0,00261	0,000153
Juin	3,41 <sup>E8</sup>	0,0308	0,0709		0,00086	0,000155
Juillet	3,79 <sup>E8</sup>	0,0323	0,0842	66,7	0,00085	0,000163
Août	3,79 <sup>E8</sup>	0,0338	0,0905		0,00309	0,000148
Septembre	3,62 <sup>E8</sup>	0,0320	0,0942		0,00083	0,000170
Octobre	3,85 <sup>E8</sup>	0,0351	0,0658	61,1	0,00598	0,000198
Novembre	3,75 <sup>E8</sup>	0,0329	0,0478		0,00261	0,000178
Décembre	3,73 <sup>E8</sup>	0,0318	0,0275		0,00093	0,000190
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>4,34<sup>E9</sup></b>	<b>0,388</b>	<b>0,794</b>	<b>346,4</b>	<b>0,0274</b>	<b>0,00206</b>

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

#### d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2020	236	556	236	1.93 <sup>E-2</sup>	1.66 <sup>E-3</sup>
2021	406	820	362	1.97 <sup>E-2</sup>	2.15 <sup>E-3</sup>
2022	388	794	346	2,74 <sup>E-2</sup>	2,06 <sup>E-3</sup>
Prévisionnel 2022	500	1000	350	2 <sup>E-2</sup>	3 <sup>E-3</sup>

**Commentaires :** Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022, à l'exception des iodes gazeux, dont le bilan de rejet est de 137 % de la valeur attendue.

Ce dépassement est dû à un comptage prématuré des prélèvements du mois de février (qui a entraîné une surestimation des rejets réellement réalisés), l'aléa sur 2 DVN 171 PI ainsi qu'un défaut d'étanchéité de la source iode utilisée dans le cadre des tests pièges à iode du mois de novembre.

## e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2022 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejets du 18 septembre 2006.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	45000	388*
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5 <sup>E7</sup>	5,05 <sup>E5</sup>
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5 <sup>E7</sup>	5,84 <sup>E5</sup>
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1400	346*
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8000	794*
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5 <sup>E6</sup>	2,55 <sup>E4</sup>
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5 <sup>E6</sup>	2,36 <sup>E4</sup>
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,8	2,74 <sup>E-4*</sup>
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	10,3
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	4,83
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,8	2,06 <sup>E-3*</sup>
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	0,143
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	0,0303

\*Correspond à l'activité annuelle rejetée

**Commentaires :** Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites réglementaires.

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

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

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

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

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

	Volume (m <sup>3</sup> )	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	7,1 <sup>E3</sup>	0	0	4,717 <sup>E7</sup>	0
Février	1,03 <sup>E4</sup>	6,058 <sup>E8</sup>	0	3,950 <sup>E7</sup>	0
Mars	9,13 <sup>E3</sup>	0	0	6,268 <sup>E7</sup>	0
Avril	7,8 <sup>E3</sup>	0	0	6,471 <sup>E7</sup>	0
Mai	4,94 <sup>E3</sup>	0	0	6,394 <sup>E7</sup>	0
Juin	6,16 <sup>E3</sup>	0	0	4,621 <sup>E7</sup>	0
Juillet	5,05 <sup>E3</sup>	0	0	3,593 <sup>E7</sup>	0
Août	8,4 <sup>E3</sup>	0	0	3,556 <sup>E7</sup>	0
Septembre	6,31 <sup>E3</sup>	0	0	3,980 <sup>E7</sup>	0
Octobre	7,67 <sup>E3</sup>	0	0	3,584 <sup>E7</sup>	0
Novembre	5,56 <sup>E3</sup>	0	0	3,497 <sup>E7</sup>	0
Décembre	6,87 <sup>E3</sup>	0	0	2,226 <sup>E7</sup>	0
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>8,53<sup>E4</sup></b>	<b>6,058<sup>E8</sup></b>	<b>0</b>	<b>5,286<sup>E8</sup></b>	<b>0</b>

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

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

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

petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.

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

#### a. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2022, 36 m<sup>3</sup> de calorifuges dans l'enceinte du bâtiment réacteur 1 ont été renouvelés.

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

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m <sup>3</sup>	Formaldéhyde	5,95E-3	1,35E-4
		Monoxyde de carbone	5,56E-3	1,26E-4

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

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

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

Paramètre	Masse en kg	Tonne équivalent CO <sub>2</sub>
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	0	0
Hydrogène-chloro-fluor-carbone (HCFC)	0	0
Hydrogène-fluoro-carbone (HFC)	336,41	522
Hexafluorure de soufre (SF6)	26,97	680
<b>Total des émissions de GES en tonne équivalent CO<sub>2</sub></b>		<b>1202</b>

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2022, les émissions liées à cette activité représentent 609 tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.

L'équivalent CO<sub>2</sub> total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigènes et SF<sub>6</sub> et de la combustion des diesels de secours, représente 0,148 g CO<sub>2</sub> / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 12,23 TWh sur l'année 2022.

#### **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) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

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

Le CNPE de Golfech 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, des effluents liquides radioactifs sont produits :

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

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

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

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

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

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

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

#### a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

#### g. 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 :

---

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

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

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

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

#### h. Cumul mensuel

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

	<sup>131</sup> I (MBq)	<sup>110m</sup> Ag (MBq)	<sup>123m</sup> Te (MBq)	<sup>124</sup> Sb (MBq)	<sup>125</sup> Sb (MBq)	<sup>134</sup> Cs (MBq)	<sup>137</sup> Cs (MBq)	<sup>54</sup> Mn (MBq)	<sup>58</sup> Co (MBq)	<sup>60</sup> Co (MBq)	<sup>63</sup> Ni (MBq)
<b>Janvier</b>	0,6121	0,780	0,5032	0,6434	1,744	0,6564	0,5801	0,8057	1,596	7,918	6,853
<b>Février</b>	0,4546	1,619	0,3793	0,3873	1,251	0,3847	0,3858	0,4093	0,5048	3,906	3,1
<b>Mars</b>	0,4973	0,8698	0,3427	0,5323	1,467	0,5380	0,5330	3,174	0,7946	31,29	6,853
<b>Avril</b>	0,6644	0,7279	0,5209	1,261	3,615	0,6780	0,6246	0,7579	5,127	6,966	3,117
<b>Mai</b>	0,3842	0,4652	0,3557	0,4506	1,219	0,4299	0,4103	0,4965	2,489	2,913	1,865
<b>Juin</b>	0,3397	0,3844	0,6302	2,058	1,138	0,4346	0,3830	0,4395	10,04	1,930	2,065
<b>Juillet</b>	0,2863	0,2983	0,2000	5,946	0,9802	0,3457	0,3131	0,2823	3,068	1,264	1,571
<b>Août</b>	0,3768	0,4318	0,2902	3,392	1,288	0,4548	0,4204	0,5130	1,996	3,557	3,615
<b>Septembre</b>	0,2560	0,3749	0,1818	0,3247	0,7992	0,3182	0,3057	1,502	1,074	15,43	1,233
<b>Octobre</b>	0,1843	0,4144	0,1350	0,2492	0,5607	0,2177	0,1992	0,2023	3,418	2,088	2,597
<b>Novembre</b>	0,3704	0,4617	0,3223	1,257	1,074	0,3749	0,3238	0,3464	2,372	1,786	1,627
<b>Décembre</b>	0,2184	0,2274	0,1890	0,1936	0,6066	0,2069	0,1976	0,2480	0,6305	1,750	1,114
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>4,65</b>	<b>7,06</b>	<b>4,05</b>	<b>16,7</b>	<b>15,7</b>	<b>5,04</b>	<b>4,68</b>	<b>9,18</b>	<b>33,1</b>	<b>80,8</b>	<b>35,6</b>

	Volumes rejetés (m <sup>3</sup> )	Activité Tritium (MBq)	Activité Carbone 14 (MBq)	Activités Iodes (MBq)	Activités Autres PF et PA (MBq)
Janvier	7100	4,25 <sup>E6</sup>	2125	6,12E-01	15,23
Février	10670	3,54 <sup>E6</sup>	1872	0,4546	9,226
Mars	8170	5,04 <sup>E6</sup>	1666	0,497	39,5
Avril	7600	5,59 <sup>E6</sup>	1470	0,6644	20,28
Mai	4890	5,42 <sup>E6</sup>	1754	0,3842	9,23
Juin	6160	3,70 <sup>E6</sup>	1524	0,3397	17,44
Juillet	5050	2,02 <sup>E6</sup>	686,7	0,2863	12,7
Août	8400	3,18 <sup>E6</sup>	499	0,3786	12,34
Septembre	4397	1,78 <sup>E6</sup>	929,5	2,56E-01	20,3
Octobre	5494	9,87 <sup>E5</sup>	264,7	0,1843	7,484
Novembre	5210	2,14 <sup>E6</sup>	1273	0,3704	8,318
Décembre	6823	1,76 <sup>E6</sup>	1394	0,2184	4,25
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>79964</b>	<b>39,4<sup>E6</sup></b>	<b>15,5<sup>E3</sup></b>	<b>4,65</b>	<b>176</b>

Il a été vérifié que les rejets ne présentent pas d'activité volumique alpha globale

#### i. 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

	Rejets par catégorie de radionucléides			
	Tritium (GBq)	Carbone 14 (GBq)	Iodes (MBq)	Autres PA et PF (MBq)
2020	52 400	23,90	5,61	134
2021	43 020	16,59	6,53	269
2022	39 407	15,46	4,65	176
Prévisionnel 2022	63 000	30	10	200

**Commentaires :** Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2022.

### j. 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 l'arrêté de rejets du 18 septembre 2006.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	80 000	39 407
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	190	15,46
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,1	0,00465
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	25	0,176

**Commentaires :** Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

### f. Surveillance des rejets

Paramètres	Type réservoir	Limite de rejet		Valeur Maximale
		Prescription	Valeur	
Tritium	Bâche T et S	Débit d'activité moyen (Bq/s)	80*D	51,3*D
	Bâche Ex	Activité Volumique (Bq/L)	4 000	553
Iodes	Bâche T et S	Débit d'activité moyen (Bq/s)	0,1*D	1,25 <sup>E-5</sup> *D
PF - PA	Bâche T et S	Débit d'activité moyen (Bq/s)	0,7*D	1,14 <sup>E-3</sup> *D
β Global	Bâche Ex	Activité Volumique (Bq/L)	4	2,44

**Commentaire :** Les limites réglementaires de rejets ont été respectées

### k. Surveillance des eaux de surface

Des prélèvements d'eau de Garonne 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 moyennes et maximales).

Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière			
	Valeur moyenne mesurée en 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2022	Valeur maximale mesurée en 2022	Limite réglementaire	
Eau filtrée	Activité bêta globale	0,14 Bq/L	0,24 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	42,2 Bq/L	65 Bq/L	280 Bq/L	11,5 Bq/L	20,2 Bq/L	140 <sup>(1)</sup> / 100 <sup>(2)</sup> Bq/L
	Potassium	1,92 mg/L	2,60 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,024 Bq/kg sec	0,071 Bq/kg sec	-	-	-	-

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

### **Commentaires :**

Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 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.

## **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<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) : 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<sub>4</sub>H<sub>9</sub>NO), l'éthanolamine (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO) et l'ammoniaque (NH<sub>4</sub>OH) 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<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NO), 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<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- Les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

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

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

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

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

- Des composés liés à la fabrication de la monochloramine sur CNPE, tels que le sodium, les chlorures et l'ammonium issus respectivement de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) et de l'ammoniaque (NH<sub>4</sub>OH),

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

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

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

Une évolution des connaissances sur la toxicité de la morpholine a été identifiée en 2019. De même, une substance formée à partir de la réaction de nitrosation d'un sous-produit de la morpholine a été identifiée récemment. Ces évolutions sont présentées ci-après.

Les principaux effets connus sont également rappelés ci-après.

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

□ Les produits de dégradation de la morpholine sont constitués de composés carbonés : ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de composés azotés : diéthanolamine, éthanolamine, méthylamine, pyrrolidine, diéthylamine, éthylamine, N-nitrosomorpholine. Il s'agit de substances qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances à l'exception de la N-nitrosomorpholine.

De plus, la morpholine peut notamment être transformée in vivo en N-nitrosomorpholine en présence de nitrites. Une VTR chronique par voie orale pour la N-nitrosomorpholine de 4 (mg/kg/j)-1 a été établie par l'ANSES en 2012.

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

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

#### **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 rejets principal**

**i. Cumul mensuel**

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

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Azote (kg)	Phosphates (kg)	Sodium (T)	Chlorures (T)	Métaux totaux (kg)
Janvier	87,1	20,4	0,031	0,0368	0,0177	266	14,5	0,43	0,77	1,82
Février	334	43,5	0,0775	0,0243	0	267	9,48	0,72	1,46	3,69
Mars	467	20,8	0,0294	0,0252	0,0365	143	48,3	1,09	2,10	1,64
Avril	582	14,7	0,026	0,0373	0,286	163	22,6	0,94	1,79	2,23
Mai	444	11,1	0,0122	0,0235	0,034	72,6	11,5	0,57	1,08	1,39
Juin	631	18,4	0,0154	0,0211	0,0306	107	15,6	0,60	1,29	1,3
Juillet	290	15,5	0,0126	0,0145	0,021	111	16,4	0,78	1,36	1,25
Août	352	30,1	0,0210	0,0234	0	135	11,5	0,97	1,70	2,33
Septembre	131	8,44	0,011	0,0153	0,115	95,5	27,8	0,87	1,46	1,43
Octobre	99,7	1,62	0,0137	0,0104	0,00765	173	9,27	1,48	2,28	1,45
Novembre	635	8,81	0,013	0,0178	0,0167	150	5,6	1,04	1,63	0,961
Décembre	186	16,7	0,02	0,0115	0,0166	143	8,35	0,65	0,99	1,08
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>4239</b>	<b>210</b>	<b>0,283</b>	<b>0,261</b>	<b>0,582</b>	<b>1826</b>	<b>201</b>	<b>10,15</b>	<b>17,91</b>	<b>20,6</b>

## ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Substances	Unité	2020	2021	2022	Prévisionnel 2022
Acide borique	kg	5889	6666	4239	6000
Morpholine	kg	345	559	210	350
Hydrazine	kg	0,372	0,456	0,283	0,400
Lithine	kg	0,804	0,695	0,261	SO
Détergents	kg	0,445	0,277	0,582	0,5
Azote	kg	2289	2090	1826	2200
Phosphates	kg	113	119	201	140
Sodium	T	17,93	21,7	10,15	19
Chlorures	T	27,82	39,6	17,91	33
Métaux totaux	kg	47,7	30,2	20,6	40
Sulfates	T	1167	760	418	900

### Commentaires :

Plusieurs espèces chimiques sont supérieures au prévisionnel 2022 :

Le dépassement en détergents est dû aux activités d'arrêt de tranche (Visite décennale TR1).

Le dépassement en phosphates est également lié aux activités d'arrêt de tranches ainsi qu'aux purges effectuées pour faire baisser l'activité tritium du circuit de Réfrigération Intermédiaire TR2.

## 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 issus des réservoirs T, S et Ex fixées par l'arrêté du 18 septembre 2006.

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/l)	Valeur maximale calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximal calculée	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Acide borique	50	1,25	900	31,3	5600	376	25000	4239
Morpholine	1,7	0,107	-	-	80	7,01	1000	210
Hydrazine	0,09	0,002	-	-	4	0,15	80	0,283
Ethanolamine	0,44	0	-	0	16	0	600	0
Détergents	1,1	0,0003	20	0,0094	120	0,113	3100	0,582
Azote	-	-	-	-	124	46	4500	1826
Phosphates	5,5	0,59	100	14,4	160	32,4	1000	201
Métaux totaux	0,12	0,06	-	-	4,5	0,24	145	20,6
MES	4,8	0,11	-	-	180	7,1	-	-
DCO	6,5	0,41	-	-	450	21,4	-	-

### i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques liés à la production d'eau déminéralisée (SDP), au traitement contre le tartre et le traitement biocide est donné dans le tableau suivant :

	Sodium (SDP) t	Chlorures (SDP) t	Chlorures (Biocide) t	Sodium (Biocide) t	AOX kg	THM kg	CRT kg	Ammonium kg	Nitrites kg	Nitrates t	Azote total t	Sulfates t
Janvier	0,43	0,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,90
Février	0,72	1,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,10
Mars	1,09	2,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,70
Avril	0,94	1,79	8	0	0	0	0	0	0	0	0	21,00
Mai	0,57	1,08	4,65	3,12	24	0	85	13	11,9	3,54	0,96	16,90
Juin	0,60	1,29	7,74	5,10	80	0	94	0	0	6,45	1,58	63,90
Juillet	0,78	1,36	8,95	5,98	23	0	295	0	0	6,92	1,96	39,10
Août	0,97	1,70	10,10	6,77	39	0	165	0	0	7,76	2,54	40,00
Septembre	0,87	1,46	10,78	7,14	25	0	259	0	0	8,85	2,63	40,80
Octobre	1,48	2,28	3,62	2,36	13	0	149	0	0	3,09	0,74	59,40
Novembre	1,04	1,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,55
Décembre	0,65	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,70
<b>TOTAL ANNUEL</b>	<b>10,15</b>	<b>17,91</b>	<b>45,84</b>	<b>30,47</b>	<b>204</b>	<b>0</b>	<b>1047</b>	<b>13</b>	<b>8,9</b>	<b>39,60</b>	<b>10,43</b>	<b>418</b>

## ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques liées au traitement antitartre, biocide et à la production d'eau déminéralisée sont réglementées par l'arrêté du 18 septembre 2006.

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
Chlorures (SDP)	t	17,93	21,70	10,15	19
Sodium (SDP)	t	27,92	39,59	17,91	33
Chlorures (Biocide)	t	59,52	33,63	45,84	50
Sodium (Biocide)	t	50,13	22,43	30,47	30
AOX	kg	529	107,6	204	200
THM	kg	0	0	0	0
CRT	kg	699	152,5	1047	200
Ammonium	kg	146	0	13	50
Nitrites	kg	10	91	11,9	200
Nitrates	t	39,52	28,05	39,60	50
Azote total	t	9,87	7,01	10,43	-
Sulfates	t	1167	761	418	900

**Commentaires :** Plusieurs espèces chimiques sont supérieures au prévisionnel 2022 :

- Pour les chlorures et sodium issus des effluents de la station de déminéralisation (SDP), des rejets très inférieurs liés à la prolongation de la visite décennale TR1 : Pas d'opérations de démarrage nécessitant une consommation accrue d'eau déminéralisée ou conditionnée ;
- Un dépassement significatif du prévisionnel en CRT évoqué dans le document de synthèse du 3<sup>e</sup> trimestre 2022 : Une pollution de notre système de prélèvement sur 2021 a donné des résultats anormalement faibles, ce qui a faussé notre estimation pour 2022.
- Des résultats très faibles également sur les rejets de sulfate, dus au fonctionnement du seul réacteur N°2 cet été, avec également des baisses de production dues au respect des exigences réglementaires liées aux conditions climatiques.

## 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 issus des réservoirs T, S et Ex fixées par l'arrêté du 18 septembre 2006.

Paramètres	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale (mg/L)	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux 2h (kg)	Valeur maximale (kg)
AOX	0,17	0,037	75	24,1	28	1,6
THM	0,004	0	1,8	0	0,75	0
CRT	0,3	0,063	220	25	/	/
Ammonium	/	/	73	13	/	/
Nitrites	/	/	230/1130	6	/	/
Nitrates	/	/	3035	545	/	/
Sulfate	56	23,6	24000	8880	/	/

**Commentaire :** Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

### 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 issus de plusieurs origines fixées par l'arrêté du 18 septembre 2006. Ces paramètres ne font pas l'objet de prévisionnel de rejet ni de suivi de cumul mensuel (indicateur global).

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/l)	Valeur maximale calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximal calculée	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Azote	1,8	0,95	-	-	810	128	-	-
Sodium	8	1,8	-	-	3500	544	-	-
Chlorures	12	3	-	-	5100	905	-	-

**Commentaires :** Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de l'arrêté du 18 septembre 2006.

#### d. Rejets d'effluents liquides chimiques des autres émissaires

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques via les émissaires d'eaux pluviales, stations d'épurations et déshuileurs de site du CNPE de Golfech pour l'année 2022. Il regroupe des contrôles à fréquence variables (à chaque rejet, hebdomadaire, mensuelle ou trimestrielle). La périodicité de contrôle est décrite dans l'arrêté de prise d'eau et de rejet du 18 septembre 2006.

Paramètres	Localisation prélèvement	Prescription	Limite	Valeur maximale
DBO5	STEP principale	Concentration (mg/L)	35	1
	STEP Belvédère			6
Hydrocarbures	Eaux pluviales au point de rejet W2, W3; R9, R9, R10 et R16	Concentration (mg/L)	5	0,17
	Effluents en sortie de l'aire de transit des déchets industriels conventionnels			1,1
	Bassin d'orage			0,26
	Effluents SEH	10	3,4	
MES	Effluents en sortie de l'aire de transit des déchets industriels conventionnels	Concentration (mg/L)	40	22
DCO	Emissaire W1	Concentration (mg/L)	150	16
β global	Emissaire W1	Absence de radioactivité (Bq/L)	< 0,5	0,42
	Emissaire W2, W3			0,22
3H	Emissaire W1	Absence de radioactivité (Bq/L)	< 50	8,92
	Emissaire W2, W3			6,49

**Commentaires :** Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites annuelles de rejet de l'arrêté du 18 septembre 2006.

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

##### **Commentaires :**

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'ont été nécessaires.

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

**Commentaires :** Le CNPE de Golfech 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 (Pth) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur (Q).

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

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

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de Golfech et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans l'arrêté de rejets du 18 septembre 2006

Les températures amont et aval après mélange sont issues de moyennes journalières 00h-24h. Les données d'échauffement amont-aval calculé sont issues de moyennes horaires.

#### 1. En conditions climatiques normales

Le CNPE de Golfech 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 aval du rejet après mélange et échauffement Aval/Amont*). Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2022 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)			Echauffement amont- aval calculé (°C)			Température aval après mélange (°C)		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Janvier	4,15	6,07	9,03	0,01	0,13	0,56	4,25	6,19	9,33
Février	4,72	8,00	10,02	0,07	0,19	0,36	4,98	8,19	10,17
Mars	9,12	10,31	12,17	0,02	0,08	0,21	9,23	10,39	12,25
Avril	8,69	12,52	15,53	0	0,07	0,15	8,76	12,59	15,58
Mai	15,04	18,08	20,65	0,02	0,07	0,14	15,10	18,15	20,73
Juin	20,78	24,03	27,58	0,02	0,09	0,19	20,88	24,13	27,68
Juillet	22,62	26,51	29,04	0	0,09	0,23	22,70	26,59	29,05
Août	25,56	26,95	29,02	0	0,16	0,31	25,80	27,11	29,20
Septembre	19,34	23,64	26,44	0	0,18	0,39	19,45	23,81	26,61
Octobre	18,37	19,39	20,04	0,10	0,31	0,51	18,75	19,70	20,44
Novembre	9,88	14,23	18,41	0,06	0,28	0,58	10,07	14,50	18,75
Décembre	6,36	8,29	9,45	0,09	0,25	0,47	6,62	8,54	9,84

## 2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites suivantes :

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement amont-aval calculé entre le 1 <sup>er</sup> juin et le 30 septembre	°C	1,25	0,39
Echauffement amont-aval calculé entre le 1 <sup>er</sup> octobre et le 30 avril	°C	2	0,58
Température aval après mélange	°C	28	27,84*

**Commentaires :** les limites réglementaires d'échauffement et de température aval calculée après mélange ont toujours été respectées. En ce qui concerne la température aval après mélange, la valeur de 28°C a été dépassée mais les exigences réglementaires ont bien été respectées (voir ci-dessous).

\*Hors période de condition climatique exceptionnelle ou situation exceptionnelle

### 3. En situation climatique exceptionnelle

Lors des épisodes caniculaires de juillet et août 2022, le CNPE de Golfech a été contraint sur requis RTE de dépasser les limites en conditions climatiques normales sur deux périodes consécutives :

Le bilan des valeurs rencontrées lors de ces épisodes est indiqué dans le tableau suivant :

Episode	15/07 au 23/07	04/08 au 06/08	Limites applicables
T° amont maximale mesurée (°C)	29,04	28,14	-
T° aval maximale calculée (°C)	29,05	28,35	28
Echauffement calculé après mélange (°C)	0,07	0,26	1,25
Durée T° aval calculée > 28°C	7 Jours	3 jours	-
Gestion par le CNPE	340 à 1288 MW	290 à 1240 MW	-

### 4. En situation exceptionnelle

Lors de l'épisode caniculaire de mi-août 2022, le CNPE de Golfech a été contraint, au regard de la sécurité du réseau électrique et par nécessité publique confirmée par le ministère de la transition écologique dans son courrier du 04 août 2022, de poursuivre sa production au niveau maximal de puissance, avec une modification temporaire de ses limites réglementaires de fonctionnement liées aux rejets thermiques, portée par la décision de l'ASN n° 2022-DC-0739.

La mise en œuvre de cette décision a été réalisée à compter de 28°C en température moyenne aval calculée (et non 30°C comme demandé par l'arrêté du 18 septembre 2006) et a fait l'objet d'une surveillance environnementale renforcée (Dépôt d'un article R593-40 au titre du code de l'environnement).

Le bilan des valeurs rencontrées lors de ces épisodes est indiqué dans le tableau suivant :

Episode	du 09/08 au 15/08	Limites applicables
T° amont maximale mesurée (°C)	29,02	-
T° aval maximale calculée (°C)	29,20	-
Echauffement calculé après mélange (°C)	0,22	0,3
Durée T° aval calculée > 28°C	6 jours	-
Gestion par le CNPE	1250 MW	-

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

##### **Commentaires :**

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'ont été nécessaires.

## Partie V - Prévention du risque microbiologique

Le CNPE de Golfech 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 fermés des CNPE. Ces circuits de refroidissement, équipés de tours aéroréfrigérantes, sont soumis depuis le 1<sup>er</sup> avril 2017 à une réglementation commune, la décision ASN n° 2016-DC-0578 relative à la prévention des risques résultant de la dispersion de micro-organismes pathogènes, qui fixe des seuils à partir desquels des actions doivent être menées afin de rétablir les concentrations à des niveaux inférieurs.

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE de Golfech 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 Golfech 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 corréliser 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 en bassin et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

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

Paramètre	Valeur maximale observée en 2022	Seuil d'action
Legionella pneumophila	< 100	10 000 UFC / L
Naegleria fowleri	56	100 <i>N.fowleri</i> / L

Sur l'année 2022, aucune valeur n'a atteint la limite du seuil d'action. Toutes les mesures en *Legionella pneumophila* sont inférieures au seuil de détection.

## II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

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

La stratégie de traitement préventif estival communiquée en début d'année consistait en un traitement continu, suivi d'un traitement séquentiel. Le traitement séquentiel consiste en une injection continue de 8 heures par jour. Le traitement est démarré et arrêté sur des critères basés sur les niveaux de colonisations en amibes *Naegleria fowleri*. La durée du traitement séquentielle est adaptée aux populations en *Naegleria fowleri* et peut être augmentée (passage de 8h jusqu'à 12h de traitement) mais le talon minimal de 8h a toujours été maintenu.

Le traitement en continu peut être remis en service en cas de dérive constatée des populations dans les installations du CNPE, avant un retour à un traitement optimisé dès que possible.

Pour rappel, le réacteur N°1 a été à l'arrêt sur toute la période de traitement.

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	SO	22/05 – 15/10
Date d'arrêt de Tranche (Début et fin)	26/02/22 -	11/02-13/02 29/04-01/05 15/06-16/06
Nombre de jour de traitement continu	0	8
Nombre de jour de traitement séquentiel	0	139
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	0	/
Nombre de jours de Chloration massive	0	/
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	0	0,25
Consommation réelle d'eau de Javel (m3)	0	270
Consommation réelle d'ammoniaque (m3)	0	46

On peut noter quelques difficultés d'approvisionnement en Javel liée aux tensions du marché (raréfaction des matières premières). Toutefois, l'optimisation des temps de traitement a permis de maintenir des résultats microbiologiques sous les seuils d'alerte / d'action.

## Partie VI - Surveillance de l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

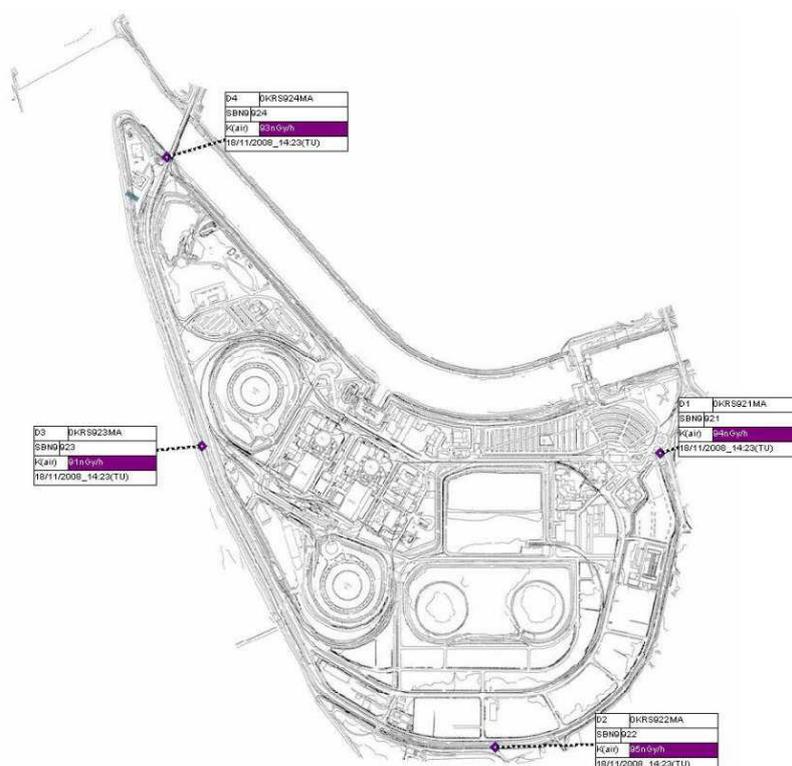
Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis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

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

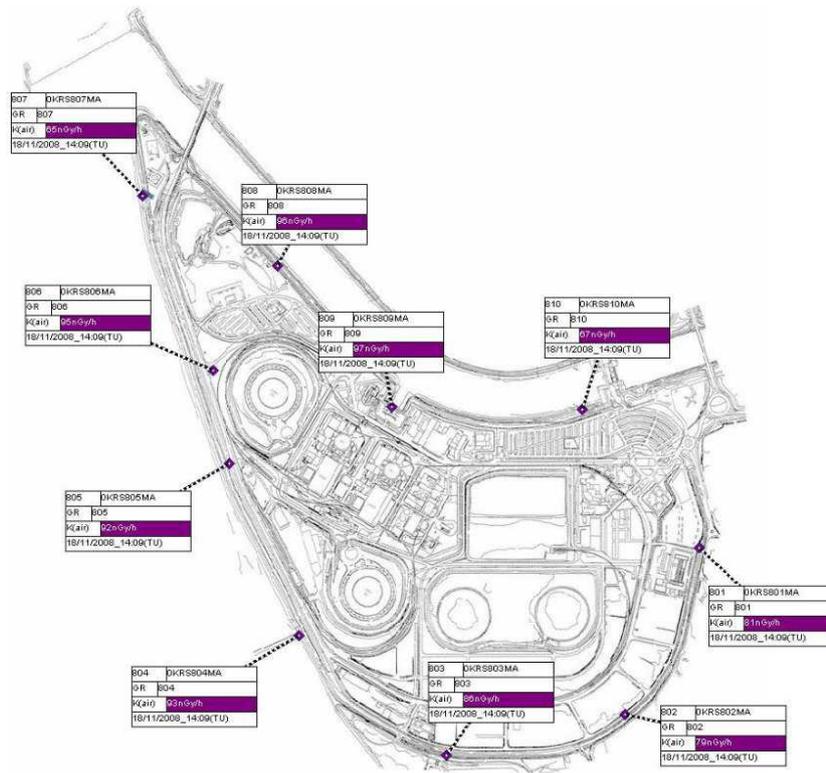
## 1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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

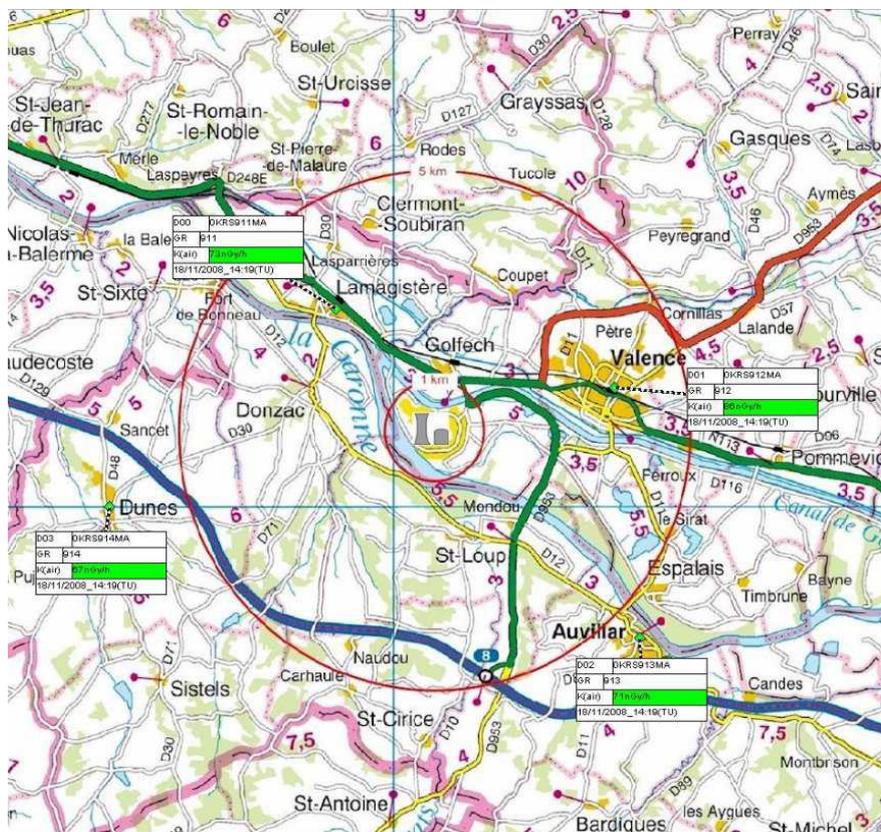
A noter que le réseau 10 km est surveillé au titre des situations accidentelles et n'est pas requis par l'arrêté du 18 septembre 2006.



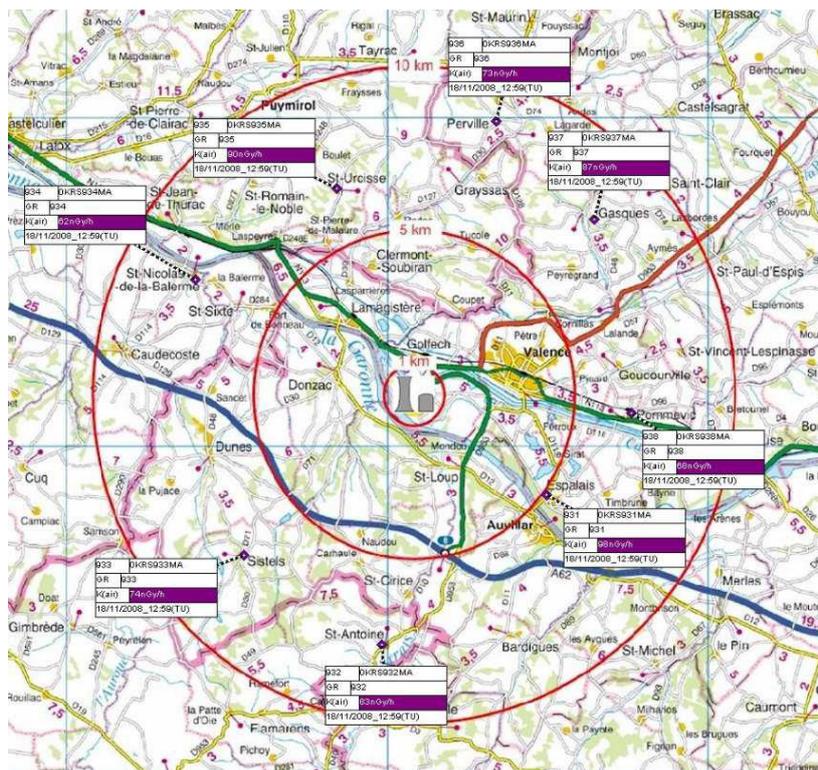
Plan du réseau 1 km



Plan du réseau clôture



Plan du réseau 5 kms



Plan du réseau 10 kms

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 et les données relatives à l'année antérieure 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	96	180	97	98
1 km	96	194	96	99
5 km	108	276	112	112
10 km	111	216	119	121

### **Commentaire :**

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.

## **2. Surveillance du compartiment atmosphérique**

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

isotopique mensuelle par spectrométrie gamma sur regroupement des filtres quotidiens par station.

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

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

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

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire	
Poussières atmosphériques Bq/m3	Bêta globale	0,00078	0,0024	0,01	
	Spectrométrie gamma	<sup>58</sup> Co	<0,000008	<0,00006	/
		<sup>60</sup> Co	<0,000008	<0,00007	/
		<sup>134</sup> Cs	<0,00001	<0,00006	/
		<sup>137</sup> Cs	<0,00001	<0,00005	/
		<sup>40</sup> K	<0,00015	0,0011	/
Tritium atmosphérique Bq/m3		< 0,15	0,14	50	
Eau de pluie Bq/L	Bêta globale	0,16 Bq/L	0,43 Bq/L	/	
	Tritium	4,6 Bq/L	7,75 Bq/L	Mélange seuils / significatifs	

**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	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	<sup>58</sup> Co	Mensuelle	< 0,4	< 0,5
		<sup>60</sup> Co		<0,44	<0,7
		<sup>134</sup> Cs		<0,34	<0,4
		<sup>137</sup> Cs		<0,37	<0,5
		<sup>40</sup> K		810	1140
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	<sup>58</sup> Co	Mensuelle	<0,43	<0,6
		<sup>60</sup> Co		<0,42	<0,7
		<sup>134</sup> Cs		<0,40	<0,5
		<sup>137</sup> Cs		<0,43	<0,5
		<sup>40</sup> K		48	62

### Commentaires :

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, présenté en annexe 02.

#### 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, présenté en annexe 02.

## 5. Surveillance des eaux souterraines

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

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Tritium	Bq/L	< 20
Bêta global MES	Bq/kg	0,08
Bêta global Eau Filtrée	Bq/L	< 1
Potassium	mg/L	6,64

**Commentaires :** RAS

## II. Physico-chimie des eaux souterraines

Une surveillance physico-chimique des eaux souterraines est effectuée sur les paramètres physicochimiques par le biais de prélèvements sur 23 piézomètres du CNPE.

Les résultats de cette surveillance sont indiqués dans le tableau ci-après.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH (Min-Moy-Max)	-	6,6 - 7,2 - 7,8
Conductivité	μS / cm	1040
Hydrocarbures totaux	mg / l	0,21
DCO		34
COT		2,07
Ammonium		< 0,3
NTK		< 2
Métaux totaux		0,17
Mercure (Dissous)		< 5 <sup>e-4</sup>
Cadmium (Dissous)		< 3 <sup>e-3</sup>
Plomb (Dissous)		< 5 <sup>e-3</sup>
Arsenic (Dissous)		0,93
Manganèse (Dissous)		4,34
Nickel (Dissous)		<0,01

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Cuivre (Dissous)		<1
Zinc (Dissous)		<2,5
Chrome (Dissous)		<0,03
Aluminium (total)		9,12
Fer (total)		133
Phosphates		<0,3
Nitrites		0,26
Nitrates		<25
Chlorures		<100
Sulfates		<125
Sodium		<100

#### **Commentaires : RAS**

Comme suite à l'évènement ESE 22-02 cité au paragraphe des Evènements significatifs pour l'environnement, une surveillance complémentaire a été mise en place sur 6 piézomètres à fréquence bimensuelle pour les paramètres pH et sulfate. Les résultats de cette surveillance complémentaire, qui n'a montré aucun marquage chimique, sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètres	Unité	Valeur mesurée
pH (minimal)	-	6,9
Sulfate (maximal)	mg/L	52,8

Comme suite à l'évènement ESE 22-03 cité au paragraphe des Evènements significatifs pour l'environnement une surveillance complémentaire a été mise en place sur 4 piézomètres à fréquence mensuelle pour les paramètres hydrocarbures totaux, azote Kjeldhal, nitrite, nitrate, ammonium et tritium. Les résultats de cette surveillance complémentaire, qui n'a montré aucun marquage chimique et radiochimique, sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Hydrocarbures totaux	mg/L	<0,05
Azote Kjeldhal	mg/L	0,537
Nitrite	mg/L	<0,5
Nitrate	mg/L	10,9
Ammonium	mg/L	<0,05
Tritium	Bq/L	< 20

Comme suite à l'évènement ESE 22-04 cité au paragraphe des Evènements significatifs pour l'environnement une surveillance complémentaire a été mise en place sur 3 piézomètres à fréquence bimensuelle pour les paramètres potassium, sulfate, azote Kjeldhal, nitrite, nitrate, ammonium, pH, Conductivité et bore. Les résultats de cette surveillance complémentaire, qui n'a montré aucun marquage chimique, sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Potassium	mg/L	3,1
Sulfate	mg/L	47
Azote Kjeldhal	mg/L	<0,5
Nitrite	mg/L	<0,5
Nitrate	mg/L	8,9
Ammonium	mg/L	<0,05
pH	/	7,1 à 7,5
Conductivité	mg/L	661
Bore	mg/L	<0,1

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

#### 1. Physico-chimie en continu

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

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 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)	HS	HS	HS	HS	HS	8,2	8,6	9,3	8,9	9,7	10,9	14,3
Conductivité (µS/cm)	296	296	286	272	242	252	339	299	308	324	279	289
pH	8	8	8,2	8,1	7,8	7,3	7,7	8,0	7,8	8,1	8,0	8,0
Température (°C)	6,1	9,8	10,9	14,3	16,0	21,9	23,9	23,8	22,6	16,4	10,8	7,2

**Commentaires :** La présence de bulles d'air liées à un défaut de notre système de pompage a perturbé la mesure d'oxygène. Celui-ci a pu être réparé courant mai.

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10,0	8,6	9	8,6	8,2	7,2	7,7	8,0	8,5	9,4	10,1	9,7
Conductivité (µS/cm)	378	392	379	362	322	308	376	322	335	382	320	357
pH	8,4	8,2	8,2	8,2	8	7,6	8,2	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4
Température (°C)	17,4	21,9	20,6	21,5	22,1	25,8	27	26,3	23,8	19,5	16,3	18,4

**Commentaires :** RAS

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	12	10,9	11,3	10,3	9,7	7,7	7,9	8,0	7,5	9,4	11,2	11,6
Conductivité (µS/cm)	284	313	298	286	265	258	320	294	307	347	293	313
pH	8,1	8,1	8,4	8,2	8,0	7,4	7,8	7,9	7,7	7,9	8,1	8,2
Température (°C)	6,9	10	11,2	14,7	16,4	22,1	24,0	24,1	22,6	16,7	11,2	7,6

**Commentaires :** RAS

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

Le pH au rejet est toujours resté dans les limites de l'arrêté de rejet (6 à 9).

## 2. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par le Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement (UMR 5245 CNRS / INP-ENSAT/UT3), en amont et en aval, des mesures bimestrielles et trimestrielles de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE.

Vous trouverez ci-dessous le résumé du suivi des paramètres physicochimiques :

*L'influence du fonctionnement du CNPE de Golfech sur la qualité physico-chimique de l'eau est évaluée en comparant les paramètres physico-chimiques en aval proche ST2, 300 m après les plots de rejet, et en aval éloigné ST3, 8 km après les rejets avec celle mesurée en amont immédiat ST1, dans le canal de dérivation.*

*Les mesures physico-chimiques de l'eau effectuées 1 fois tous les 2 mois (ou 3 mois pour les métaux) en 2022 mettent en évidence une eau bien oxygénée avec des pH compatibles avec le développement d'organismes. Une faible différence de température est identifiée aux stations SMP avec en moyenne 0,29°C de plus en aval du CNPE.*

*Le printemps et l'été 2022 ont été marqués par des précipitations très faibles à nulles engendrant des débits bas. La conséquence a été de passer en alerte SCE en juillet et SE tout le mois d'août. Si les températures maximales enregistrées en aval étaient plus élevées qu'en amont, il faut noter que nous observons l'inverse pour les températures minimales. Ainsi, cet été, alors que les débits étaient bas, l'échauffement de l'eau en aval était important, mais le refroidissement tout autant, infligeant de fortes variations de températures en aval. L'écart maximal entre aval et amont a été enregistré début juillet (+1,04 °C en moyenne) alors qu'il est ensuite resté aux alentours de +0,5 °C ou en-dessous.*

*Les résultats n'indiquent pas de différences significatives entre l'amont et l'aval sauf en ce qui concerne l'alcalinité et la minéralisation de l'eau en aval du CNPE. En effet, on observe une augmentation de la concentration en ions hydrogénocarbonates, des valeurs de TAC et de dureté ainsi qu'une augmentation de la conductivité et des concentrations d'ions dissous (notamment calcium, magnésium, nitrates) en aval immédiat du CNPE. Chez les éléments métalliques cette même différence existe aussi pour l'aluminium et le fer. Cela pourrait s'expliquer par un effet des rejets du CNPE en aval du site, et/ou à l'influence de la Barguelonne avec un mélange incomplet des eaux de ce cours d'eau et de la Garonne au niveau de la station ST2. Mais, dans la très grande majorité des cas, les valeurs en aval éloigné se rapprochent de celle de l'amont, indiquant une bonne résilience du milieu.*

*Il est cependant à souligner qu'une surveillance en continu des paramètres physicochimique serait beaucoup plus instructive pour déceler d'éventuels effets.*

## IV. Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance au Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement (UMR 5245 CNRS / INP-ENSAT/UT3), Sont distinguées la surveillance pérenne, réalisée annuellement, des surveillances en situation climatique exceptionnelle (SCE) ou en situation exceptionnelle (SE), dont le déclenchement est conditionné à l'attente des critères respectifs de 28°C et 30°C en température aval calculée.

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

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE de Golfech

### 1. Surveillance pérenne

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

#### Diatomées benthiques

Les espèces de diatomées identifiées sont majoritairement alcaliphiles et oligohalobes et traduisent un milieu alcalin avec des valeurs de conductivités moyennes. D'une manière générale, on constate des valeurs de structure (notamment diversité taxonomique et abondances) des peuplements élevés. La majorité des sites ont une qualité biologique moyenne qui se maintient dans la même classe de qualité au cours de la période considérée. L'analyse des caractéristiques écologiques des espèces de diatomées montre que l'ensemble de la zone de suivi est impacté par les matières fermentescibles. Le taux de formes anormales et/ou tératogènes peut apparaître, sur certaines stations, significatif d'anomalies particulières en termes de micropolluants toxiques pour les diatomées et/ou de facteurs environnementaux qui altèreraient leur morphologie. Les effets des facteurs à l'origine des déformations, sont ici difficilement déterminables à partir des seules données dont nous disposons. Ces déformations touchent essentiellement un seul taxon qui semble particulièrement sensible car il n'est pas rare de les observer dès que sa population devient abondante.

**D'après ces observations, nous constatons que la qualité biologique périphytique est critique sur l'ensemble du secteur étudié et notamment dans des sites amont et aval du CNPE de Golfech. Les peuplements de diatomées sont toutefois relativement proches ou similaires d'un bout à l'autre du secteur étudié. Cela ne nous permet pas de déceler un impact potentiel lié au fonctionnement du CNPE. Il n'est du moins pas suffisamment perceptible et identifiable.**

#### Macrophytes

Les notes d'IBMR obtenues en amont comme en aval correspondent à un niveau trophique « très fort ». Il est normal d'observer un enrichissement de la teneur en nutriments dans la zone moyenne d'un grand cours d'eau comme la Garonne. La richesse spécifique de 18

espèces en amont et en aval en 2022 est supérieure à celles de 2021 (respectivement 10 et 11 espèces) 2020 (respectivement de 6 espèces).

**L'indice biologique calculé pour les deux stations à l'amont (ST4) et à l'aval (ST3) du CNPE de Golfech, reflète la charge importante en éléments nutritifs. Cette charge est à mettre en relation avec les rejets anthropiques, principalement d'origine agricole et urbaine au niveau du bassin versant de la Garonne, sans que cela puisse impliquer spécifiquement le fonctionnement du CNPE de Golfech.**

### Oligochètes des sédiments

Il est d'abord important de souligner que les sédiments sont un faciès très marginal dans l'ensemble du secteur de Garonne étudié et que leur collecte oblige à sélectionner des zones de dépôt très peu représentatives du secteur. La constitution des peuplements témoigne d'une contamination généralisée par des micropolluants (métaux, PCB) sur l'ensemble du secteur. Lors de la campagne d'août, une augmentation Tubificinae avec et sans soies capillaires sur les deux stations amont immédiat et aval immédiat suggère la présence d'une pollution en matière organique, HAP ou sels ammoniacaux sur ce secteur. Cependant, la station ST3 ne présente pas de traces de cette pollution et affiche un profil plutôt proche de la station amont éloigné. Ce dernier résultat indique une bonne résilience du milieu.

Le réseau de suivi des stations présente de nombreuses sources de pollution, dont notamment des confluences de cours d'eau aux bassins versants importants (Tarn, Arrats). Ceci peut donc influencer sur les résultats obtenus, en aval du CNPE notamment.

**Ainsi, les résultats obtenus ne mettent pas en évidence un éventuel impact de la centrale nucléaire de Golfech sur la qualité biologique des sédiments de la Garonne.**

### Macroinvertébrés

Les variétés taxonomiques moyennes (calcul à partir des 3 opérations de 2022) de la station amont éloigné Garonne (ST4), aval immédiat rejets (ST2) et aval éloigné (ST3) sont équivalentes (respectivement 37 taxons, 36 taxons et 35 taxons), avec des peuplements relativement équilibré (pas de dominance d'un ou plusieurs taxons avérée) mais une variété taxonomique moyenne. De façon générale, quel que soit l'indice considéré, les notes indiciaires diminuent entre juin et septembre sur chaque station. Et nous constatons que les valeurs de ces indices sont équivalentes entre ST4 (amont éloigné) et ST3 (aval immédiat). Cependant, la qualité du milieu est considérée comme moyenne en raison d'un peuplement qui est majoritairement composé de taxons polluo-résistants.

**Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence un éventuel impact du CNPE de Golfech sur la qualité biologique des peuplements de macroinvertébrés de la Garonne.**

### Ichtyofaune

Les inventaires à l'électricité montrent un plus grand effectif sur les stations ST4 et Seuil V. Cette dernière affichant un nombre de poissons capturés par EPA supérieur à toutes les autres stations, avec un nombre total d'EPA inférieur de moitié. Au niveau des inventaires aux filets, le nombre de prise est le plus important sur la station ST4 mais la biomasse la plus importante capturée est enregistrée à ST5 avec plus de 16 kg, avec une baisse d'effectif par rapport à 2021 (captures de poissons plus gros). Les peuplements sont globalement composés de chevesne, barbeau, ablette. Le pseudorasbora est très important sur les 2 stations amont de

la Garonne (ST4 et Seuil V) et important sur le Tarn et à St Nicolas de la Balerme (ST3). Notons l'identification de quelques spiralin à Lamagistère (ST2), au seuil V et à St Aignan.

A l'aide de l'IPR, nous constatons que les résultats de septembre sont meilleurs que ceux de juillet. A titre informatif, toutes les stations sont donc classées en bon état. A noter le bon résultat au niveau du Seuil V avec une note de 7,92. De plus, sur l'axe Garonne, les notes entre Saint-Aignan (ST4 – amont éloigné) et Saint-Nicolas-De-La-Balerme (ST3 – aval éloigné) sont relativement proches. Par contre, sur le Tarn, la situation s'est vraisemblablement dégradée par rapport à 2021 où les individus tolérants sont assez abondants. Cependant, il faut tenir compte du fait que l'IPR n'est pas vraiment adapté aux grands cours d'eau et que des espèces telles que le pseudorasbora, pourtant en quantité importante parfois et non autochtones, ne sont pas prises en compte dans le calcul.

### **L'évolution de l'indice IPR entre l'amont éloigné et l'aval éloigné n'est pas imputable au fonctionnement du CNPE.**

Le suivi des poissons migrateurs montre des effectifs plus importants en 2022 pour les saumons et les anguilles, mais une baisse des passages pour les aloses, par rapport à 2021. Certaines espèces n'ont pas été observées comme la truite de mer, la lamproie marine. Notons qu'aucun migrateur amphihalal n'a été détecté pendant la période la plus chaude. Ces évolutions n'ont pas de lien avec le fonctionnement du CNPE de Golfech.

## **2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles**

L'arrêté de rejet du 18 septembre 2006 prévoit qu'une surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydrobiologique spécifiques soit réalisée en cas de dépassement de la température Garonne en aval calculée de la limite de 28°C, dans le cadre du maintien en production d'au moins un réacteur.

Cette surveillance a été engagée dans le cadre de la réquisition du réacteur N°2 par le RTE au titre de la sûreté du réseau sur la période du 13 au 20 juillet 2022.

## **3. Surveillance en situation exceptionnelle**

En 2022, EDF a sollicité une d'autorisation temporaire de fonctionnement pour le CNPE de Golfech suite à un dossier « Article R593-40-II ». Celle-ci a fait l'objet d'une décision temporaire le 04 aout 2022 réf 2022-DC-0739, avec la mise en place d'une surveillance hydrobiologique renforcée.

## **4. Bilan de la surveillance sur les différentes phases de canicule**

Le CNPE de Golfech est passé deux fois en conditions climatiques exceptionnelles pendant 8 jours (du 15/07/22 au 22/07/22 et le 4/08/22) et une fois en situation exceptionnelle pendant 6 jours (du 9/08/22 au 14/08/22). Les températures moyennes journalières calculées à l'aval après mélange ont atteint au maximum 29,2°C.

Une thermographie aérienne ainsi que des capteurs de température en points fixes dans quatre zones à proximité du CNPE de Golfech ont été utilisés pour caractériser le panache thermique du CNPE. Les résultats montrent que le panache thermique est limité à une zone

d'environ 1 km en rive droite. Au-delà, la température redevient homogène, avec des valeurs proches de celles observées dans le tronçon court-circuité de la Garonne. Ces résultats confirment ceux déjà obtenus lors d'études précédentes.

Le suivi des paramètres physico-chimiques renforcés pendant l'été 2022 (DBO5, DCO, MES, NH4+/NH3) ainsi que les mesures en continu du pH, de l'oxygène dissous et de la conductivité présentent des valeurs traduisant globalement un bon état des eaux, sans différence notable entre l'amont et l'aval.

La surveillance microbiologique renforcée des *Escherichia coli*, des entérocoques intestinaux, des amibes de l'espèce *Naegleria fowleri* et des cyanobactéries ne montre pas de différence notable entre l'amont et l'aval du CNPE. La qualité microbiologique de l'eau est restée globalement bonne pendant la période estivale.

La surveillance du phytoplancton montre une production algale plus élevée à l'aval du CNPE, et présentant un maximum fin août. La richesse du peuplement était aussi plus élevée à l'aval. Ces observations pourraient être liées à la présence d'aménagements hydrauliques entre la station amont et la station aval, sans lien avec le fonctionnement du CNPE.

Le zooplancton présentait aussi une richesse plus élevée à l'aval, avec une structure du peuplement comparable entre les deux stations. La densité était plus élevée début août en aval, mais était comparable dans les campagnes suivantes.

La richesse des diatomées benthiques était temporairement plus faible en août sur le secteur d'étude. L'IBD (Indice Biologique des Diatomées) calculé à l'aval immédiat des rejets du CNPE était aussi plus faible en août avant de retrouver des valeurs comparables aux autres stations en septembre. Les résultats traduisent un peuplement riche et stable notamment à la station aval éloignée.

Aucune mortalité piscicole n'a été constatée dans l'environnement du CNPE pendant la période de canicule. Peu de poissons présentaient d'anomalie sanitaire, sans différence notable entre l'amont et l'aval du CNPE. La structure du peuplement piscicole était comparable entre les stations amont et aval du CNPE pendant et après la période de canicule.

**Les résultats des suivis physico-chimiques, microbiologiques et hydrobiologiques ne mettent donc pas en évidence d'effet notable du fonctionnement du CNPE en période de canicule sur le milieu récepteur.**

## V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE de Golfech réalise des informations, par le biais de son site internet [www.edf.fr/centrale-nucleaire-golfech](http://www.edf.fr/centrale-nucleaire-golfech), mais aussi en s'adressant directement aux mairies, à la CLI et aux médias dans un rayon de 2 km, lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation et graduellement en fonction de leur niveau sonore.

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

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl, ...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par SUBATECH, présenté en ANNEXE 02

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

[https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV\\_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf)

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose efficace 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.

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

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;

ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...);

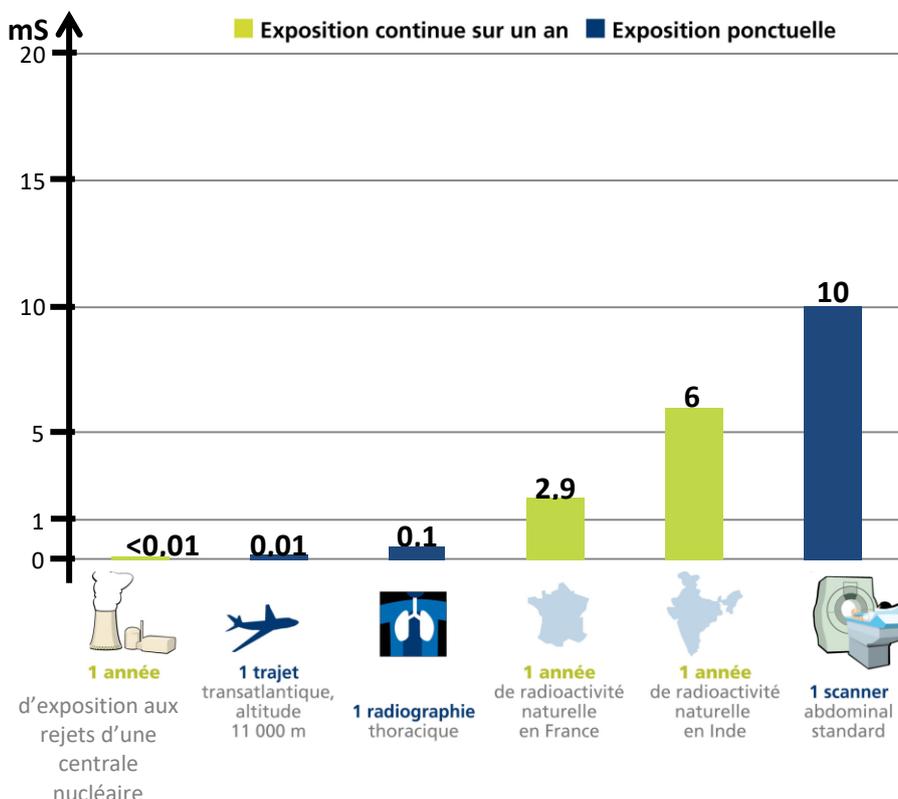
- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du CNPE est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;

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

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

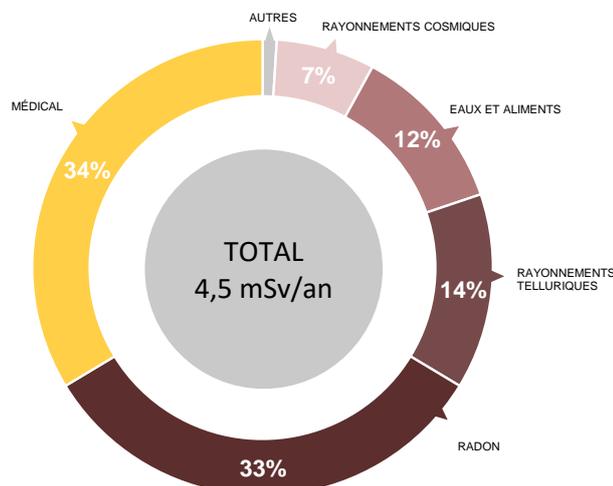
Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).

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



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

L'exposition moyenne de la population française aux rayonnements ionisants (d'origine naturelle et artificielle) est de 4,5 mSv/an. Les contributions des différentes sources d'exposition sont présentées sur la figure 2 ci-après.



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

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

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,6 E-07	1,1 E-05	1,2 E-05
Rejets d'effluents liquides	2,1 E-07	7,6 E-05	7,6 E-05
<b>Total</b>	<b>9,7 E-07</b>	<b>8,7 E-05</b>	<b>8,8 E-05</b>

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,7 E-07	1,2 E-05	1,3 E-05
Rejets d'effluents liquides	s.o.	7,1 E-05	7,1 E-05
<b>Total</b>	<b>7,7 E-07</b>	<b>8,3 E-05</b>	<b>8,4 E-05</b>

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,7 E-07	1,9 E-05	2,0 E-05
Rejets liquides	s.o.	1,0E-04	1,0E-04
<b>Total</b>	<b>7,7 E-07</b>	<b>1,2 E-04</b>	<b>1,2 E-04</b>

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 CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

## Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

### I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

#### 1. Les catégories de déchets radioactifs

Selon la durée de vie des éléments radioactifs contenus et le niveau d'activité radiologique qu'ils présentent, les déchets sont classés en plusieurs catégories. On distingue

les déchets « à vie courte » des déchets « à vie longue » en fonction de leur période (une période s'exprime en années, jours, minutes ou secondes. Elle quantifie le temps au bout duquel l'activité radioactive initiale du déchet est divisée par deux).

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

inoxydable : ce sont des déchets « de haute activité à vie longue (HAVL) ». Les parties métalliques des assemblages sont compactées et conditionnées dans des conteneurs en acier inoxydable qui sont entreposés dans l'usine précitée : ce sont des déchets « de moyenne activité à vie longue (MAVL) ».

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

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

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

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

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

## 2. Le transport des déchets

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

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

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

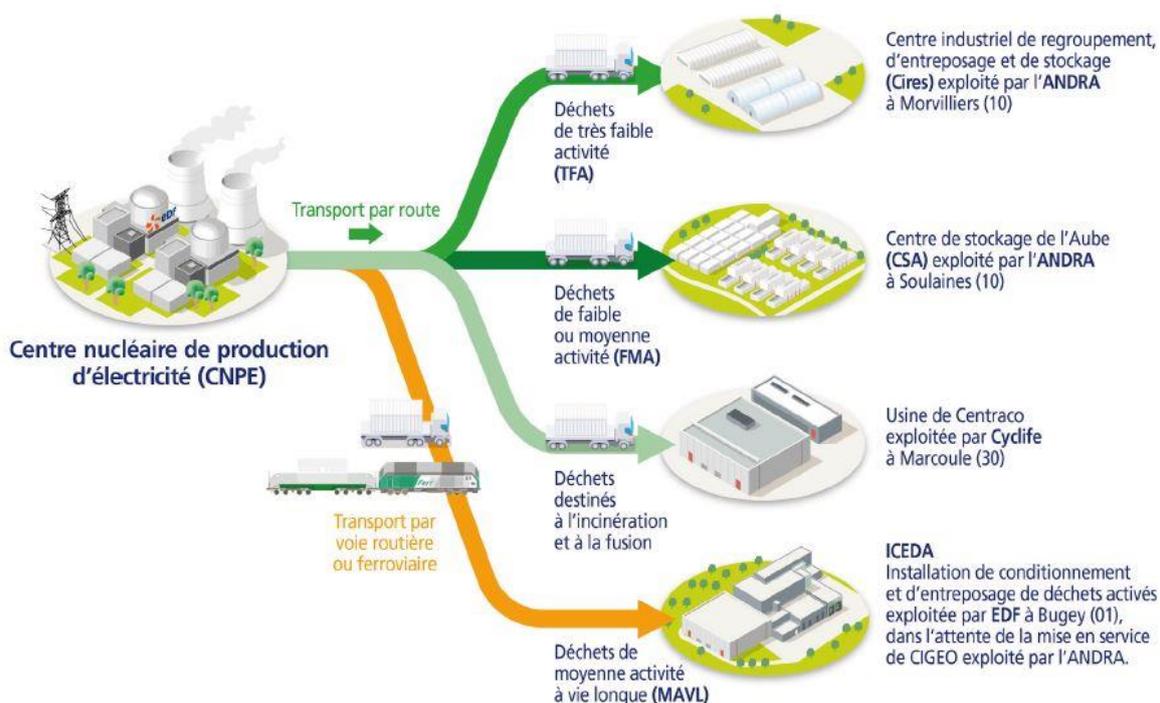


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

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 Golfech.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Commentaires
TFA	42,872 tonnes	Déchets présents au Bâtiment de Traitement des Effluents (BTE) ou au sein de l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	5,781 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	40,307 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment de Traitement des Effluents (BTE)
FAVL	0	Pas de déchets de ce type
MAVL	187 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques, galette inox, bloc béton et chemise graphite)

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

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2022	Type d'emballage
TFA	37 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (Liquides)	38 colis	Coques béton
FMAVC (Solides)	502 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FAVL	0	Pas de déchets de ce type
MAVL	1 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

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 Golfech.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	441
CSA à Soulaines	438
Centraco à Marcoule	1551

En 2022, 2430 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés.

## 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 CNPE de Golfech.

Quantités 2022 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
CNPE de Golfech	358,891	270,607	773,678	773,678	5327,96	5327,96	6460,529	6372,245

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

- Réduire leur production et leur dangerosité par une gestion optimisée,
- Favoriser le recyclage et la valorisation.

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

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

- La mise en place de structures opérationnelles assurant la coordination et la sensibilisation à la gestion des déchets de l'ensemble des métiers,
- La création de stages de formation spécifiques « gestion des déchets conventionnels »,
- Le recensement annuel des actions de prévention de production des déchets.

En 2022, les 2 unités de production du CNPE de Golfech ont produit 6460 tonnes de déchets conventionnels : 98,6 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

## ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

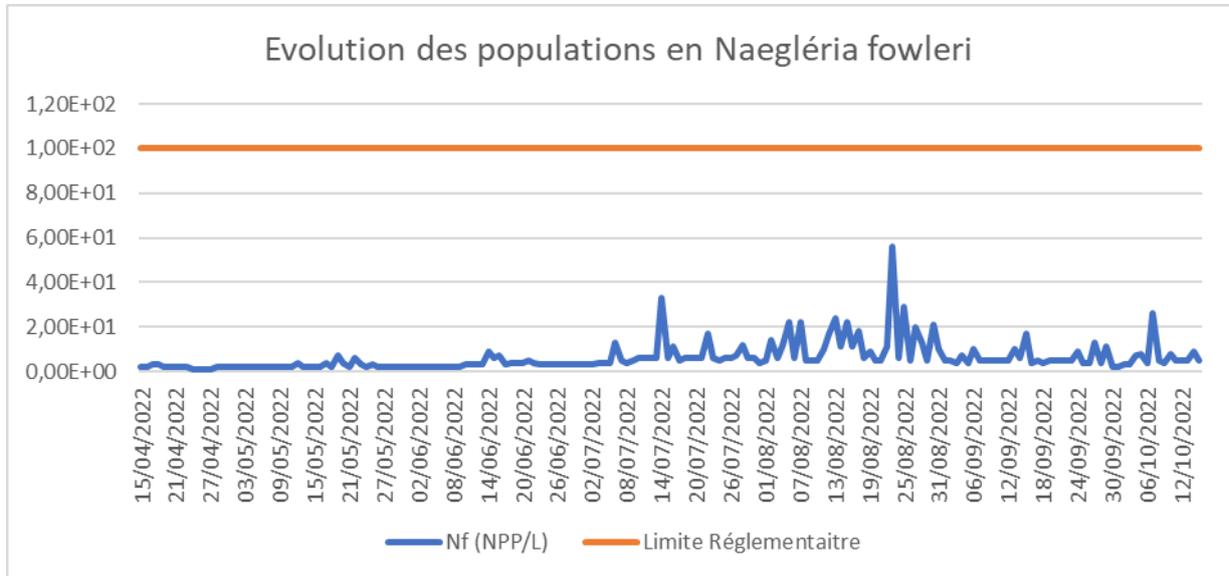
TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

# ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE de Golfech Année 2022



**ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE de  
Golfech Année 2021**

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

**- Année 2021 -**

**Bassin de la Garonne**

**Rapport SUB/RE/RC/21-G**

Indice	Date	Etabli par	Vérfié par	Approuvé par	Modifications / commentaires
01	07/06/23	M. Le Ferrec	M. Bertaud	F. Caillon	Version définitive
<b>Signatures</b>					Version provisoire transmise le 31/03/22.



## Liste de diffusion

Destinataires		Nombre d'exemplaires
EDF/DIPDE/DEED	Geoffrey DEOTTO Cécile BOYER Elsa VITORGE Sophie CHAMPEL	1 version informatique (.pdf) 2 versions papier 2 CD
EDF/R&D	Cécile COUEGNAS Beatriz LOURINO-CABANA	1 version papier
EDF C.N.P.E de Golfech C.N.P.E. de Blayais	Stéphane DERVINS Anne-Marie GONÇALVES	1 version papier
SUBATECH	Myriam LE FERREC Gurvan ROUSSEAU	1 version informatique (.pdf) 1 version papier



---

### Coordination

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH

---

### Interprétation et rédaction

Myriam Le Ferrec SUBATECH  
Gurvan ROUSSEAU SUBATECH

---

### Organisation et réalisation des prélèvements

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH  
Nancy LE GRALL SUBATECH  
Gaëlle GUEREL SUBATECH  
Anne DROUIN SUBATECH  
Myriam LE FERREC SUBATECH

---

### Traitements et métrologie

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

---

### Collaboration technique

Gilbert PINCHON Pêcheur professionnel  
Mathieu SAGET AQUASCOP  
Arnaud CORBARIEU AQUASCOP  
Yannick GELINEAU AQUASCOP  
Jean-Benoît HANSMANN AQUASCOP



## C.N.P.E. du bassin de la Garonne

**GOLFECH**

**BLAYAIS**





Répartition des C.N.P.E. français et identification des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

(Source : EDF)



## **SOMMAIRE**

<b>1. Objectifs du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français</b>	<b>15</b>
<b>2. Méthodologie du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français</b>	<b>16</b>
<b>3. Origine de la radioactivité dans l'environnement des C.N.P.E.</b>	<b>17</b>
<b>4. Contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E.</b>	<b>23</b>
<b>5. C.N.P.E. de Golfech</b>	<b>29</b>
<b>6. C.N.P.E. de Blayais</b>	<b>88</b>
<b>7. Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Garonne</b>	<b>151</b>
<b>8. Annexes</b>	<b>167</b>
<b>9. Glossaire</b>	<b>184</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955, source AIEA [29].....	21
Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, Bq.kg <sup>-1</sup> de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].....	21
Figure 4-1. Hydrologie de la Garonne à la station de Lamagistère pour l'année 2021 (QmnJ : débit moyen journalier en m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ). Les zones grises représentent les périodes dont les valeurs sont douteuses [39].....	24



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

En France, la production d'électricité d'origine nucléaire est assurée par 56 réacteurs à eau sous pression (R.E.P.) répartis sur 18 sites exploités par EDF [1]. L'exploitation d'un parc de Centres Nucléaires de Production d'Electricité (C.N.P.E.) génère, comme toute activité industrielle, la production de déchets solides et d'effluents liquides et atmosphériques, dont il convient d'évaluer l'impact sur l'environnement et l'homme. Pour chaque C.N.P.E., des arrêtés ministériels spécifiques fixent les limites et les conditions techniques de rejets d'effluents atmosphériques et liquides (radioactifs ou non), les moyens d'analyse, de mesure et de contrôle de ces installations ainsi que les modalités de surveillance de leur environnement (détail sur le site du Journal Officiel, [www.journal-officiel.gouv.fr](http://www.journal-officiel.gouv.fr)).

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

Le suivi radioécologique des C.N.P.E. français repose sur l'étude des divers composants (biocénose, biotope) de l'environnement allant de la source jusqu'à l'homme, permettant de quantifier sur le long terme l'apport éventuel de radionucléides par le C.N.P.E. considéré et de le distinguer des autres sources possibles de radionucléides, qu'elles soient d'origine naturelle ou liées aux autres apports exogènes (essais aériens nucléaires, accidents de Tchernobyl et de Fukushima, rejets de centres hospitaliers...). Ces études réalisées autour des installations nucléaires présentent un intérêt pour les pouvoirs publics, les exploitants, les scientifiques et les populations. Enfin, elles participent à l'amélioration des connaissances des phénomènes de transferts des radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement.

Dans ce cadre, ce rapport présente les opérations relatives au suivi radioécologique 2021 des C.N.P.E. du bassin de la Garonne (Golfech et Blayais). Les données présentées dans ce document sont issues des résultats de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) fournis par EDF pour les années 1991 à 2007 et de ceux de SUBATECH obtenus de 2008 à 2021. Ce document s'articule en huit parties :

- après cette première partie introductive, la seconde partie présente la méthodologie générale de l'étude,
- un bilan de l'origine de la radioactivité présente généralement dans l'environnement est exposé dans la troisième partie,
- la quatrième partie présente le contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E. du bassin de la Garonne,
- les cinquième et sixième parties présentent les résultats obtenus en 2021 respectivement pour les C.N.P.E. de Golfech et de Blayais,
- une synthèse générale relative au bassin de la Garonne constitue la septième partie,
- enfin, les acteurs du suivi radioécologique de 2021, les méthodes de prélèvements, de préparation et de conservation des échantillons, ainsi que les techniques d'analyses sont développés en annexe.

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

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

Dans le cas des suivis radioécologiques annuels des C.N.P.E., la stratégie d'échantillonnage a pour objectif d'apporter des éléments permettant de quantifier et de distinguer la radioactivité liée aux rejets d'effluents atmosphériques et liquides de l'installation nucléaire considérée de la radioactivité naturelle locale et de celle liée à d'autres activités anthropiques. Dans cet objectif, il est nécessaire de choisir des stations de prélèvement et des matrices permettant d'obtenir des résultats les plus représentatifs possible du milieu étudié. Par ailleurs, cette stratégie d'échantillonnage et d'analyse est également fortement dimensionnée par les exigences réglementaires. Dans ce cadre, le plan d'échantillonnage de 2021 a été établi sur la base de la réglementation applicable à chaque C.N.P.E., des campagnes précédentes, des informations recueillies sur chacun des sites, des normes en vigueur ainsi que des analyses à réaliser.

Pour chaque C.N.P.E., la localisation des points de prélèvement est définie en fonction des exigences réglementaires et du contexte environnemental et géographique du site (Annexes, page 172). Les stations de prélèvement et la nature des échantillons sont également choisies au plus proche de celles étudiées les années précédentes si possible afin d'assurer la continuité dans l'historique des données recueillies. Même si la nature des prélèvements est globalement en cohérence sur l'ensemble des C.N.P.E. français, certaines adaptations peuvent exister d'un site à l'autre en fonction des particularités locales (pratiques agricoles...) ou de la disponibilité des espèces.

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

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

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

#### 3.1. La radioactivité d'origine naturelle

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

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

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

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

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

#### 3.2. La radioactivité d'origine artificielle

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

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

### **3.2.1. Essais nucléaires atmosphériques**

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

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

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

### **3.2.2. Retombées des accidents de Tchernobyl et Fukushima**

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

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

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

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

### 3.2.3. Installations nucléaires d'EDF

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

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

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

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

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

Dans le bassin de la Garonne, la production repose sur deux C.N.P.E. regroupant six réacteurs. A l'amont du bassin, la production du C.N.P.E. de Golfech est assurée par deux unités de 1300 MWe de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.), successivement mises en service en juin 1990 et juin 1993. Pour le C.N.P.E. de Blayais, la production est basée sur quatre unités de production équipées R.E.P. de 900 MWe chacun. Le premier réacteur a été couplé au réseau en juin 1981, la seconde en juillet 1982, enfin les troisième et quatrième réacteurs en mai et août 1983.

### 3.3. Cas particuliers du tritium et du carbone 14

#### 3.3.1. Origines naturelle et artificielle

Le tritium et le carbone 14 présentent la particularité d'être à la fois d'origine naturelle et d'origine artificielle. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène et le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone. Ces deux radionucléides sont des émetteurs bêta dont les périodes radioactives sont respectivement de 12,312 et 5700 ans.

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

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

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

Dans les réacteurs à eau pressurisée (R.E.P.), le tritium est issu de la fission de l'uranium et du plutonium et de l'activation neutronique d'éléments légers (bore, lithium) présents dans le circuit primaire et le carbone 14 est produit majoritairement par activation de l'oxygène 17 ( $^{17}\text{O}$ ) contenue dans l'eau du circuit primaire. En France, les activités moyennes de tritium rejetées par les C.N.P.E. sont annuellement de l'ordre de 10 à 30 TBq/réacteur pour les effluents liquides et de 0,3 à 0,6 TBq/réacteur pour les effluents atmosphériques [27]. Dans le cas du  $^{14}\text{C}$ , les estimations indiquent des activités moyennes rejetées par réacteur de l'ordre de 10 GBq dans les effluents liquides et de 0,17 TBq dans les effluents atmosphériques [27]. Dans les usines de retraitement, le tritium des combustibles irradiés est principalement rejeté sous forme d'eau tritiée et le carbone 14 sous forme de  $\text{CO}_2$ . A titre d'exemple, dans les effluents liquides, l'usine de La Hague rejette annuellement environ 10000 TBq de tritium (30 g) et 70 TBq de  $^{14}\text{C}$  [3].

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

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

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

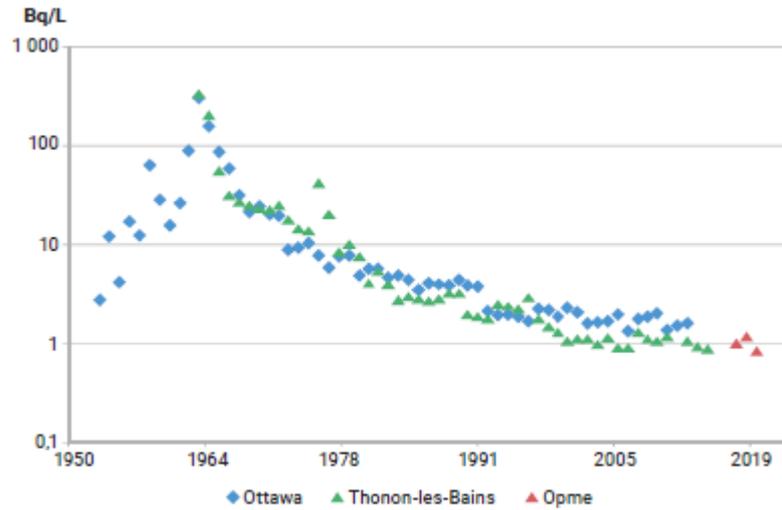


Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955, source AIEA [29].

Le  $^{14}\text{C}$  intègre le cycle biologique du carbone [26] et il se trouve principalement sous la forme de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de matière organique. Dans les milieux terrestres, les activités en  $^{14}\text{C}$  sont relativement stables. La Figure 3-2 (page 21) montre l'évolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32]. En 1950, l'activité spécifique ( $^{14}\text{C}/\text{C}$ ) était de  $226 \pm 1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone. Dans les années 1960, l'activité a augmenté suite aux essais nucléaires pour atteindre une valeur de l'ordre de  $400 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone. Depuis 1965, elle décroît lentement suite à l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques et à la dilution par les rejets de  $\text{CO}_2$  issus des énergies fossiles [33]. En 2020, l'activité moyenne ambiante hors influence industrielle mesurée dans le milieu terrestre sur des matières végétales était proche de  $225 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone [27,34]. Dans le milieu aquatique, les activités sont beaucoup plus variables. Dans les bicarbonates de l'eau, elles varient actuellement entre 150 et  $250 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone et elles sont proches de  $200\text{-}220 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone dans les végétaux aquatiques et les poissons [3,27].

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

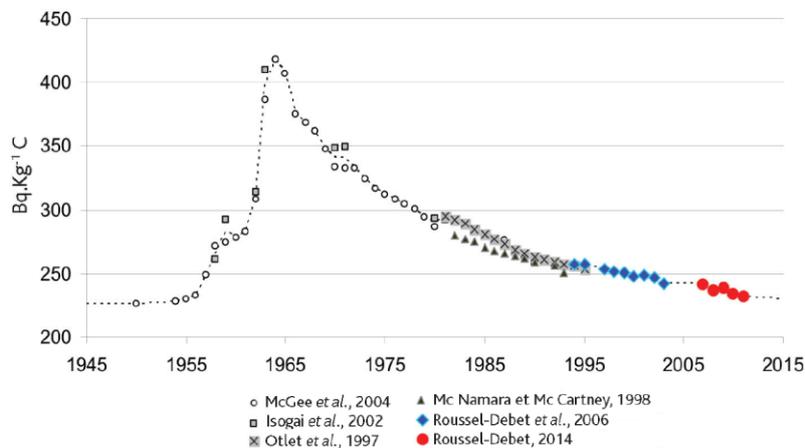


Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond,  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].

### 3.4. Les sources locales potentielles de radioactivité

Les paragraphes suivants sont basés sur l'inventaire national des matières et déchets radioactifs de 2020 de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) [35]. Il répertorie l'origine des radionucléides selon cinq secteurs économiques : l'électronucléaire (C.N.P.E., usines de fabrication ou de traitement du combustible...), la Défense (force de dissuasion, activités de recherches...), la recherche (nucléaire civil, recherche médicale, biologie, physiques des particules, agronomie...), l'industrie (extraction de terres rares, stérilisation et conservation de produits alimentaires...) et enfin le secteur médical (activités thérapeutiques, diagnostic...).

Dans le bassin de la Garonne, les sources locales potentielles de radioactivité artificielle dans l'environnement des C.N.P.E. peuvent provenir de centres de recherche, d'activités industrielles et de laboratoires pharmaceutiques situés au niveau des agglomérations toulousaine et bordelaise, des centres de la défense nationale présents en régions Midi-Pyrénées et Aquitaine, et enfin, des centres de médecine nucléaire, principalement les Centres Hospitaliers Universitaires (CHU) de Toulouse et de Bordeaux ainsi que les Centres Hospitaliers d'Agen et de Périgueux.

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

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

### 4.1. Climatologie

Le C.N.P.E. de Golfech est situé à l'Ouest de la région Midi-Pyrénées dans le département du Tarn-et-Garonne (82). Le climat de cette région présente un caractère océanique tempéré. Il gèle en moyenne 40 jours par an et la température dépasse 25°C environ 70 jours par an en moyenne. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 700 mm en moyenne. Pour le C.N.P.E. de Golfech, les vents sont orientés le long de la Garonne et se caractérisent par une dominance des vents d'Ouest Nord-Ouest et des vents secondaires Est Sud-Est.

Le C.N.P.E. de Blayais est situé dans la région Aquitaine et il est implanté dans le département de la Gironde (33). La région est sous influence atlantique caractérisée par des perturbations d'Ouest susceptibles de se succéder et de générer des précipitations importantes. Les étés secs peuvent au contraire entraîner des déficits pluviométriques importants. Il gèle en moyenne 38 jours par an et la température dépasse 25°C plus de 60 jours par an en moyenne. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 900-1000 mm en moyenne. Au niveau du site, la rose des vents est quasiment isotrope avec néanmoins une direction prédominante du secteur Ouest et une direction secondaire du secteur Sud-Est. Dans ces conditions, les zones sous influence potentielle des vents sont principalement déterminées en fonction de la distance au C.N.P.E.

### 4.2. Géologie et occupation des sols

Le C.N.P.E. de Golfech est situé dans l'est du bassin sédimentaire aquitain au milieu d'une plaine alluviale ancienne avec des dépôts anciens de sédiments jurassiques (mésozoïques) et crétacés (cénozoïques). Les formations principales sont composées de terreforts (sols lourds et compacts) se situant de part et d'autre du lit du Gers et de la Garonne, de boulbènes (sols clairs riches en sables et pauvres en argile) résultant du lessivage des alluvions anciennes et des alluvions situées autour du lit de la Garonne [36]. Les principaux aquifères exploités sont la nappe alluviale de la Garonne et du Tarn, les formations de l'Eocène (sables, graviers, galets et calcaires) les calcaires du Jurassique moyen et supérieur et les calcaires et sables de l'oligocène. L'agriculture est très diversifiée dans l'environnement du C.N.P.E. : production de fruits, maraîchage, élevage bovin (viande et lait), céréales/oléagineux, sylviculture et viticulture. A proximité du C.N.P.E., les productions laitières tendent à disparaître.

Le C.N.P.E. de Blayais se situe dans le bassin aquitain. Les terrains affleurant sont constitués par une épaisse couche de vases argileuses qui surmonte des dépôts graveleux quaternaires. Les formations sous-jacentes sont héritées de l'Eocène et forment une alternance complexe de faciès sableux, calcaires, marneux et des lentilles argileuses [37]. Quatre aquifères s'écoulent au niveau du site de Blayais : la nappe des graves quaternaires, la nappe du sommet de l'Eocène, la nappe des sables éocènes et la nappe du sommet du Crétacé. Dans l'environnement proche du C.N.P.E., les agriculteurs pratiquent principalement la viticulture, la production de céréales/oléagineux, le maraîchage (asperges) et l'élevage bovin (viande). A proximité du C.N.P.E., les productions laitières tendent à disparaître.

### 4.3. Hydrographie et hydrologie de la Garonne et de la Gironde

Le C.N.P.E. de Golfech est situé sur la Garonne en aval de la confluence avec le Tarn. Ce fleuve, long de 522 km en amont de l'estuaire de la Gironde, draine un bassin versant d'environ 56000 km<sup>2</sup> [38]. Les affluents les plus importants sont le Tarn, le Gers et le Lot. Sur le haut bassin, la Garonne et ses affluents ont une alimentation pluvio-nivale. Dans la moyenne vallée, les affluents gascons en rive gauche ont des débits faibles, notamment en période d'étiage, qui sont compensés par les affluents en rive droite provenant du Massif Central, notamment le Tarn, l'Aveyron et le Lot. Les crues et les périodes d'étiage du Tarn ont une grande influence sur la Garonne.

La Figure 4-1 (page 24) représente les débits journaliers moyens en aval immédiat du C.N.P.E. de Golfech à la station de Lamagistère pour l'année 2021 [39].

En 2021, l'hydrogramme montre que la Garonne a connu deux crues notables, la première en février et la deuxième en décembre. Cette même année, le débit moyen de la Garonne a été de  $392 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Lamagistère. Sur la période 2011-2021, la crue décennale a atteint un débit de  $3950 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à Lamagistère (26/01/2014).

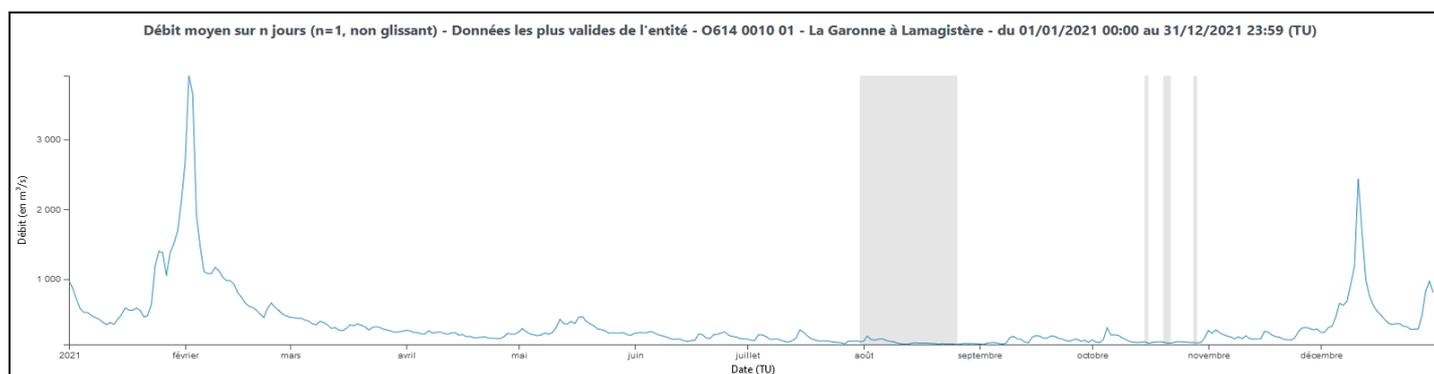


Figure 4-1. Hydrologie de la Garonne à la station de Lamagistère pour l'année 2021 (débit moyen journalier en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Les zones grises représentent les périodes dont les valeurs sont douteuses [39].

Le C.N.P.E. de Blayais est implanté dans l'estuaire de la Gironde. Cet estuaire est le plus grand d'Europe occidentale. La Gironde est un estuaire macrotidal (amplitudes de marées importantes) à forte turbidité, long de 76 km et couvrant une superficie de  $635 \text{ km}^2$ . Il est formé de la confluence de la Garonne et de la Dordogne au niveau du Bec d'Ambès et il draine un bassin de  $71000 \text{ km}^2$  [40,41]. L'estuaire de la Gironde est le siège de courants très intenses qui sont régis par deux facteurs hydrologiques principaux que sont la marée et le débit fluvial. En effet, la Garonne et la Dordogne apportent de  $800$  à  $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  d'eau douce en moyenne chargée de sédiments et, en même temps, deux fois par jour, la marée draine un volume d'eau de mer oscillant de  $1$  à  $2$  millions de  $\text{m}^3$  à l'embouchure. La rencontre de l'eau douce, riche en alluvions, avec l'eau salée fait flocculer les particules argileuses qui forment un « bouchon vaseux » caractéristique des eaux estuariennes. La Gironde charrie chaque année de deux à huit millions de tonnes de particules en suspension, dont une partie se dépose, formant des bancs de sable, des vasards et des îles. L'estuaire de la Gironde est donc fortement soumis au flux et au reflux des marées. Ce milieu estuarien engendre des processus hydrodynamiques et sédimentaires particuliers qui tendent à complexifier les échanges entre l'amont et l'aval du système fluvial contrairement à la plupart des environnements aquatiques continentaux des C.N.P.E. français [41].

## Bibliographie

- [1] Electricité de France. Site internet : <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres>
- [2] Duffa C., Masson M., Gontier G., Claval D. et Renaud P. – Synthèse des études radioécologiques annuelles menées dans l'environnement des centrales électronucléaires françaises depuis 1991. Radioprotection, Vol. 39, n°2, 233-254, 2004.
- [3] IRSN. Site internet : <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx>
- [4] Billon S., Morin A., Caër S., Baysson H., Gambard J.P., Rannou A., Tirmarche M. et Laurier D. – Evaluation de l'exposition de la population française à la radioactivité naturelle. Radioprotection, Vol. 39, n°2, 213-232, 2004.
- [5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. Nations Unies – New York, 2000.
- [6] Renaud Ph., Champion D. et Brenot J. – Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français : Conséquences environnementales et exposition des personnes. 190p, 2008, Lavoisier – Collection sciences et techniques.
- [7] Linsley G. – Environmental impact of radioactive releases: Addressing global issues. IAEA Bulletin, 1/1996.
- [8] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEI/2011-01, 90 p., 2011.
- [9] INES. International Nuclear and Radiological Event Scale. AIEA. Site internet : <https://www.iaea.org/>
- [10] INES. Les échelles de classement des incidents nucléaires et des événements en radioprotection dans le cadre de radiothérapies. ASN. Site internet : <https://www.asn.fr/>
- [11] Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience / report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. – Vienne: International Atomic Energy Agency, 2006.
- [12] Renaud Ph., Métivier J.M., Castelner E., Pourcelot L. et Louvat D. – Cartographie des dépôts de <sup>137</sup>Cs en mai 1986 sur l'ensemble du territoire français métropolitain. Radioprotection, Vol. 39, n°1, 23-38, 2004.
- [13] Beresford N.A., Barnett C.L., Howard B.J., Howard D.C., Welles C., Tyler A.N., Bradley S., Copplestone D. Observations of Fukushima fallout in Great Britain. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 48-53, 2012.
- [14] Fischer H.W., Hettwig B. and Pittauerová D. Traces of Fukushima fallout in the environment of Northwest Germany. Radioprotection, Vol. 46, n°6, 181-185, 2011.
- [15] Piñero García F., Ferro García M.A. Traces of fission products in southeast Spain after the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 146-151, 2012.
- [16] Ioannidou A., Manenti S., Gini L., Groppi F. Fukushima fallout at Milano, Italy. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 119-125, 2012.

- [17] Kritidis P., Florou H., Eleftheriadis K., Evangeliou N., Gini M., Sotiropoulou M., Diapouli E., Vratolis S. Radioactive pollution in Athens, Greece due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 100-104, 2012.
- [18] IRSN. Impact à très longue distance des rejets radioactifs provoqués par l'accident de Fukushima. Mise à jour du 8 avril 2011.
- [19] IRSN. Synthèse des résultats des mesures de radioactivité dans le cadre de la surveillance de l'impact à très longue distance des rejets de l'accident de Fukushima Dai-ichi en France. Note d'information n°15, 8 juin 2011.
- [20] ACRO. Contrôle des retombées en France de substances radioactives continues dans les masses d'air contaminées en provenance du Japon. Communiqué n°3, 22/04/2011. Site internet : <http://www.acro.eu.org>.
- [21] CRIIRAD. Contamination de la France par les rejets de la centrale de Fukushima Daiichi. Quels sont les risques ? Note d'information, 09/04/2011. Site internet : <http://www.criirad.org>.
- [22] Evrard O., Van Beek P., Gateuille D., Pont V., Lefèvre I., Lansard B., Bonté P. Evidence of the radioactive fallout in France due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 54-60, 2012.
- [23] Perrot F., Hubert Ph., Marquet Ch., Pravikoff M.S., Bourquin P., Chiron H., Guernion P.-Y., Nachab A. Evidence of <sup>131</sup>I and <sup>134,137</sup>Cs activities in Bordeaux, France due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 61-65, 2012.
- [24] IRSN. Fukushima, un an après. Premières analyses de l'accident et de ses conséquences. Rapport IRSN/DG/2012-001, 12 mars 2012.
- [25] Florence D. et Hartmann P.- Les rejets radioactifs des centrales nucléaires et leur impact radiologique. SFRP, L'évaluation et la surveillance des rejets radioactifs des installations nucléaires, Strasbourg, 13 et 14/11/2002.
- [26] Ménager M.T., Garnier-Laplace J. et Goyffon M. Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. 748p, Editions Tec&Doc, Lavoisier, 2009.
- [27] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2021, 408 p., 2021.
- [28] Belot Y., Roy M. et Métivier H. Le tritium de l'environnement à l'Homme. Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire. 191 p., 1997.
- [29] AIEA. Isotopes environnementaux dans le cycle hydrologique : principes et applications (6 volumes) source Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at : [isohis.iaea.org](http://isohis.iaea.org).
- [30] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [31] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. *Radioprotection*, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.
- [32] IRSN : Fiche radionucléide – Carbone 14 et environnement. <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Pages/carbone-14-environnement.aspx>
- [33] Jean-Baptiste P. et Paterne M. – Carbone 14 et environnement global. *Radioprotection*, Vol. 38, n°3, 377-390, 2003.

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

[35] Andra. Inventaire national des matières et déchets radioactifs. 2021

[36] SIGES Midi-Pyrénées. Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Midi-Pyrénées. Site internet : <http://sigesmpy.brgm.fr>.

[37] SIGES Aquitaine. Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Site internet : <http://sigesaqi.brgm.fr>.

[38] Etablissement Public Garonne. Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France. Décembre 2003. Site internet : <http://www.eptb-garonne.fr>.

[39] Banque Hydro. <http://www.hydro.eaufrance.fr>

[40] Syndicat Mixte pour le Développement Durable de l'Estuaire de la Gironde. Site internet : <http://www.estuaire-gironde.fr>.

[41] Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de l'Estuaire de la Gironde et des milieux associés. Site internet : <http://www.sage-estuaire-gironde.org>.



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

- Année 2021 -

Bassin de la Garonne

**Golfech**  
Blayais



## C.N.P.E. de Golfech



Répartition des C.N.P.E. français et identification du C.N.P.E. de Golfech.

Source : EDF.



<b>Résumé</b>	<b>38</b>
<b>5 C.N.P.E. de Golfech</b>	<b>40</b>
<b>5.1 Historique et généralités sur le C.N.P.E. de Golfech</b>	<b>40</b>
<b>5.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre</b>	<b>42</b>
5.2.1 Stratégie d'échantillonnage	42
5.2.2 Résultats et interprétation	45
5.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma	45
5.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta	47
<b>5.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique</b>	<b>50</b>
5.3.1 Stratégie d'échantillonnage	50
5.3.2 Résultats et interprétation	53
5.3.2.1 Radionucléides émetteurs gamma	53
5.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta	58
<b>5.4 Conclusion</b>	<b>61</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Golfech. ....	41
Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique annuel de 2021 du C.N.P.E. de Golfech. ....	44
Figure 5-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans le milieu terrestre lors des études menées depuis l'état de référence, de 1986/1987, au suivi radioécologique de 2021. ....	46
Figure 5-4. Activités en tritium libre ( $\text{Bq.L}^{-1}$ ) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021. ....	47
Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié ( $\text{Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021. ....	48
Figure 5-6. Activités spécifiques en $^{14}\text{C}$ mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021 (Station Merles pour les suivis annuels et trimestriels, et prélèvements à Labaquère (2,3 km du CNPE) depuis le 01/04/2020 pour les échantillons trimestriels). ....	49
Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2021 du C.N.P.E. de Golfech. ....	52
Figure 5-8. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les sédiments lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021. ....	54
Figure 5-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les phanérogames (toutes fractions confondues) lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021. ....	55
Figure 5-10. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les mousses aquatiques lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021. ....	56
Figure 5-11. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie $\gamma$ dans les poissons lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021. ....	57
Figure 5-12. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021. ....	58
Figure 5-13. Activités en tritium organiquement lié (TOL) détectés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021. ....	59
Figure 5-14. Activités spécifiques en $^{14}\text{C}$ mesurés dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021. ....	60

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021.....	43
Tableau 5-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	52
Tableau 5-3. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de sols issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ).....	63
Tableau 5-4. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ dans les échantillons des mousses terrestres issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 ( $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ).....	64
Tableau 5-5. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de légumes issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ).....	65
Tableau 5-6. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons d'herbe issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ).....	66
Tableau 5-7. Activités du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2015 à 2021 ( $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ).....	67
Tableau 5-8. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les laits issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ).....	68
Tableau 5-9 : Activités du $^{14}\text{C}$ dans les échantillons trimestriels de lait issu de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de février 2015 à janvier 2017 ( $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone). ....	69
Tableau 5-10. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021. ....	70
Tableau 5-11. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021.....	71
Tableau 5-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	72
Tableau 5-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	72
Tableau 5-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.....	72
Tableau 5-15. Activité du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	73

Tableau 5-16. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. Les analyses ont été faites suivant la méthode de diffraction laser. ....	73
Tableau 5-17. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	73
Tableau 5-18. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^{14}\text{C}$ dans les eaux issues de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.L}^{-1} \text{ sec}$ ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ). ....	74
Tableau 5-19. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de sédiments issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ organiquement lié : $\text{Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion).....	75
Tableau 5-20. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de mousses aquatiques issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ). ....	76
Tableau 5-21. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de phanérogames aquatiques issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ )......	77
Tableau 5-22. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ , du $^{14}\text{C}$ , du $^3\text{H}$ libre et du $^3\text{H}$ organiquement lié dans les échantillons de poissons issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie $\gamma$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ frais ; $^{14}\text{C}$ : $\text{Bq.kg}^{-1}$ de carbone ; $^3\text{H}$ : $\text{Bq.L}^{-1}$ ). ....	78
Tableau 5-23. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	79
Tableau 5-24. Activités des radionucléides émetteurs $\gamma$ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	80
Tableau 5-25. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	81
Tableau 5-26. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	81
Tableau 5-27. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.....	82
Tableau 5-28. Activités du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	83
Tableau 5-29. Activités du nickel 63 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	84
Tableau 5-30. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. ....	84
Tableau 5-31. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. Les analyses ont été faites suivant la méthode de diffraction laser.....	85

## Résumé

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

Le suivi radioécologique établi en 2021 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui relevé avant la mise en exploitation du C.N.P.E.

En 2021, la radioactivité artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est due uniquement à la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$ . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en tritium (libre et organiquement lié) sont conformes à celles attendues dans l'environnement en dehors de tout apport industriel local. Les analyses de  $^{14}\text{C}$  réalisées en 2021 dans les échantillons prélevés sous les vents dominants (herbe, choux et lait) montrent des activités équivalentes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

Dans **le milieu aquatique**, le  $^{137}\text{Cs}$  est présent en 2021 dans tous les compartiments du milieu aquatique aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à l'exception des poissons. Les activités mesurées sont du même ordre de grandeur à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. La présence de ces traces de  $^{137}\text{Cs}$  provient donc principalement des retombées atmosphériques liées aux anciens essais militaires aériens et à l'accident de Tchernobyl. En revanche, la détection uniquement à l'aval de traces de  $^{58}\text{Co}$  montre l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu aquatique environnant. Les niveaux d'activité du tritium libre sont cohérents avec le niveau ambiant hors influence industrielle locale. Les résultats des analyses de  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les myriophylles traduisent en revanche une augmentation de l'activité à l'aval de l'installation liée à l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech pour ce radionucléide.

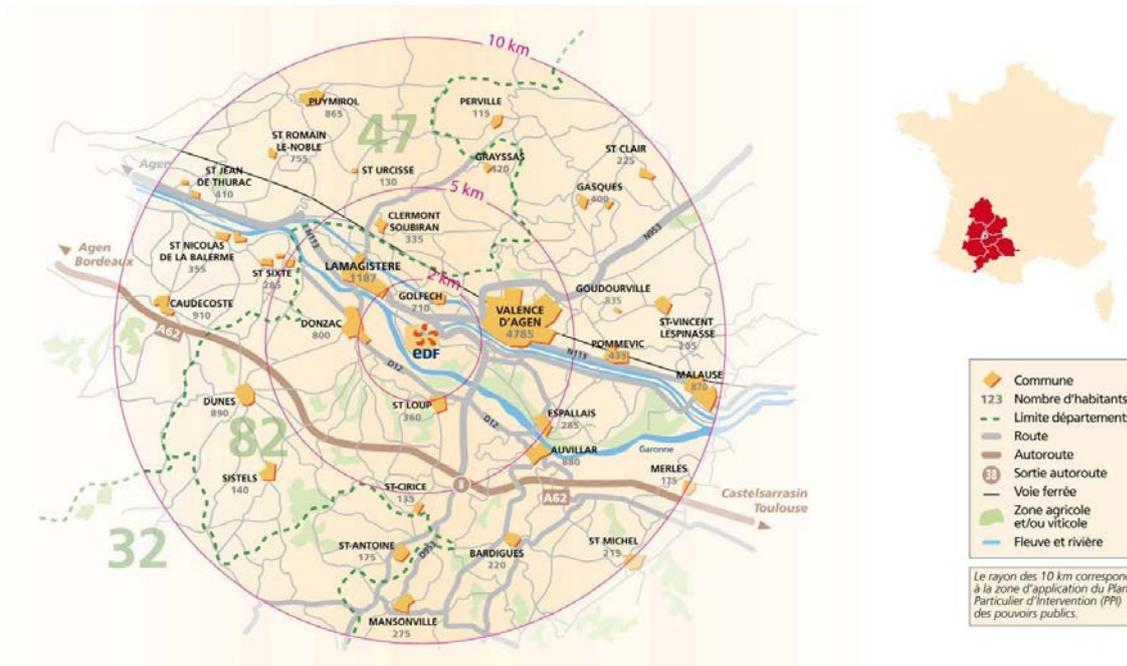
Enfin, une contribution en iode 131 est mise en évidence en amont et en aval du C.N.P.E. de Golfech. Ce radionucléide provient des activités de médecine nucléaire conduites au niveau de l'agglomération toulousaine.



## 5 C.N.P.E. de Golfech

### 5.1 Historique et généralités sur le C.N.P.E. de Golfech

Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité (C.N.P.E.) de Golfech est implanté sur la commune de Golfech (Tarn-et-Garonne), en bordure de la Garonne entre Agen (30 km en aval) et Toulouse (90 km en amont), à environ 40 km à l'ouest de Montauban, en aval du confluent du Tarn [1-2].



Carte 1. Implantation géographique du C.N.P.E. de Golfech [1].



Photo 1. C.N.P.E. de Golfech. Crédit : [www.edf.fr](http://www.edf.fr).

La Figure 5-1 (page 41) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Golfech depuis 1986.

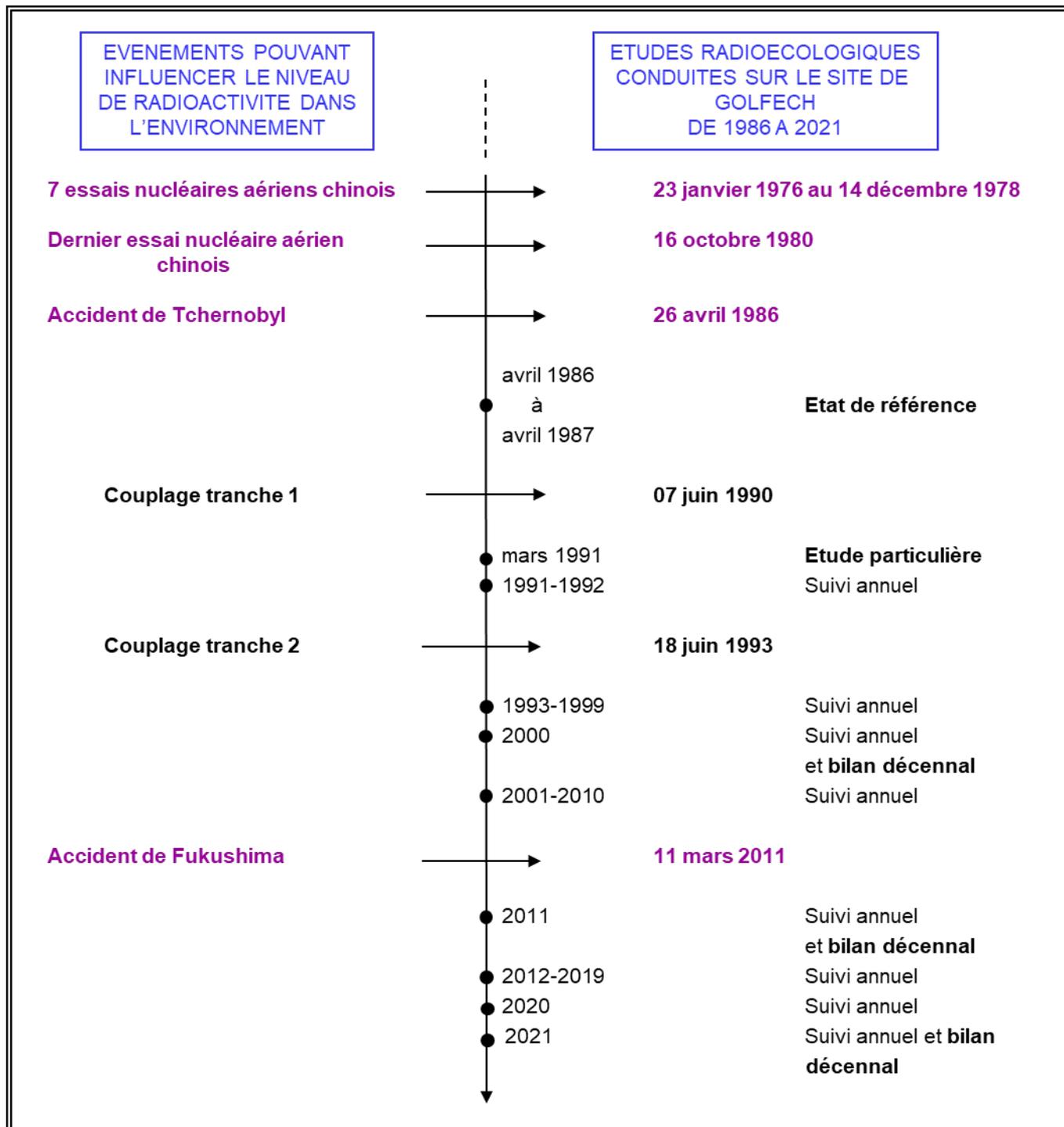


Figure 5-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. de Golfech.

## 5.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

### 5.2.1 Stratégie d'échantillonnage

Dans le cadre du suivi annuel de 2021, le Tableau 5-1 (page 43) regroupe l'identification détaillée des échantillons (lieu, nature, date de prélèvement...) ainsi que les rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 5-2 (page 44) présente la localisation des stations de prélèvement ainsi que la nature des échantillons collectés en 2021.

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

D'après la rose des vents, présentée sur la Figure 5-2 (page 44), les zones hors des vents dominants donc non influencées par les rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. (désignées par « ZHV » dans la suite du texte) sont situées au Nord-Est et au Sud-Ouest de l'installation alors que les zones sous les vents dominants et potentiellement influencées (« ZSV » dans la suite du texte) se situent le long de la Garonne sur un axe ouest-nord-ouest / est-sud-est .

Les échantillons prélevés dans le cadre du suivi annuel sont des indicateurs végétaux (mousse), des vecteurs directs ou indirects de transfert de radionucléides à la chaîne alimentaire (chou, herbe et lait) et des milieux d'accumulation (sol). Les indicateurs prélevés en sus dans le cadre du suivi décennal sont des feuilles d'arbre, des prunes et du maïs, ainsi que des sols de cultures (sols de maïs et sols de chou). Les natures d'échantillons prélevés sur les zones hors vents (ZHV) et sous les vents dominants (ZSV) par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques sont, dans la mesure du possible, identiques.

En 2021, quatre prélèvements d'herbe ont été réalisés par le C.N.P.E. à Golfech (Station Labaquère) dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

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

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement t	Type de mesure	Rapport frais / sec	Rapport sec / cendres
		Latitude	Longitude							
Monplaisir	9,5 km NO	44,15917	0,75194	Mousse terrestre	<i>Mousse Rhytidiaelaphus triquetrus</i>	Entier	31/05/21	Spectrométrie $\gamma$ en frais (lode 131) I427	1,27	-
Donzac	3 km NO	44,12083	0,81667	Production agricole	Chou <i>Brassica oleracea</i>	Feuilles	27/10/21	Spectrométrie $\gamma$	9,33	5,93
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,57	
Merfes	11,7 km SE	44,05444	0,97250	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	01/06/21	Spectrométrie $\gamma$ Granulométrie, TMO Archivage (sec)	1,16	-
Merfes	11,7 km SE	44,05444	0,97250	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	01/06/21	Spectrométrie $\gamma$ (cendres)	3,15	12,41
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié Archivage sec	3,46	
Merfes	11,7 km SE	44,05444	0,97250	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	Spectrométrie $\gamma$ (cendres) Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,38	17,85

Sous les vents

Tableau 5-1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021.

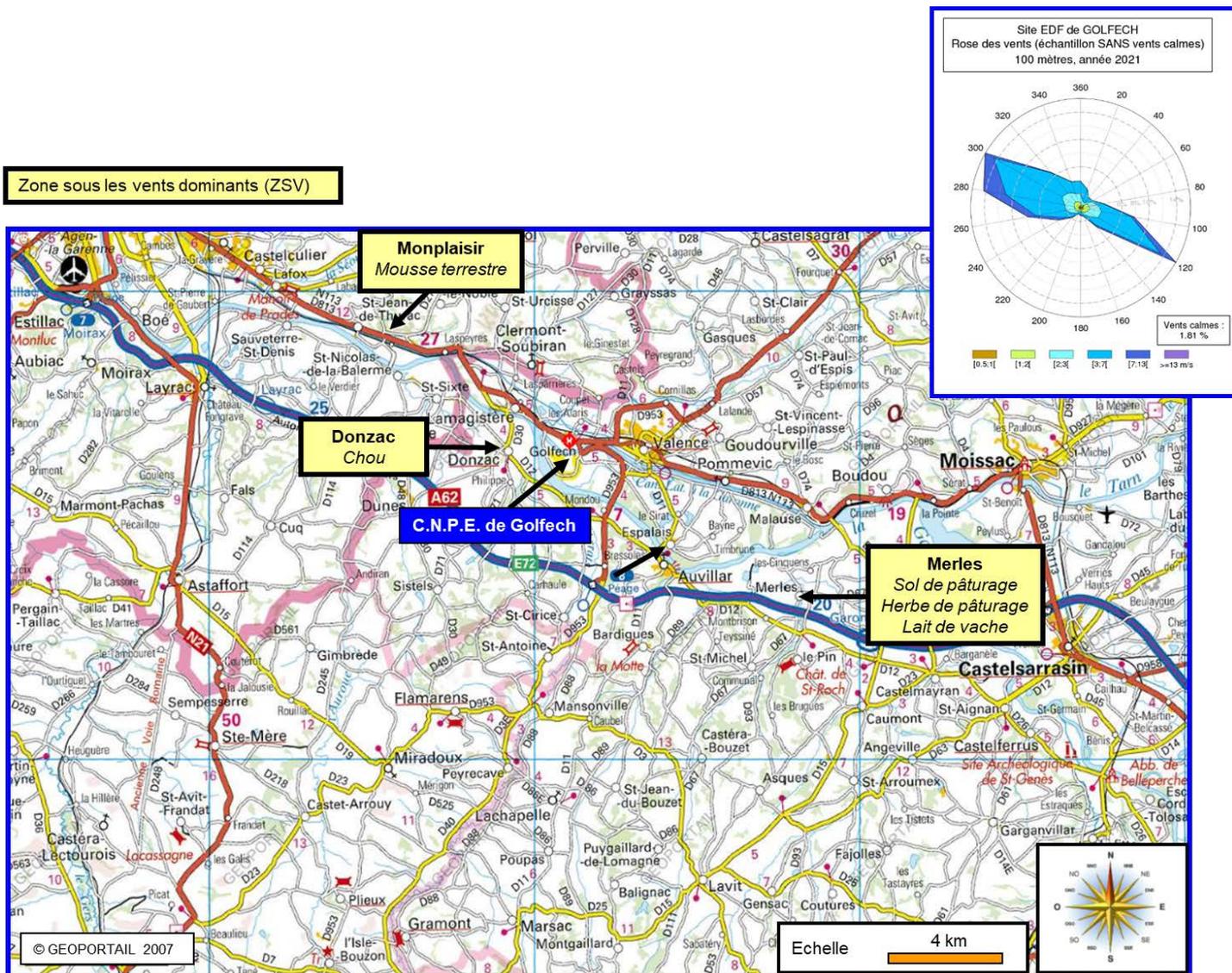


Figure 5-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique annuel de 2021 du C.N.P.E. de Golfech.

## 5.2.2 Résultats et interprétation

### 5.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

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

Les mesures effectuées en 2021 indiquent, dans le milieu terrestre, un niveau de radioactivité d'origine naturelle semblable à celui observé lors des suivis radioécologiques conduits depuis 1991 et lors de l'état de référence de 1986/1987 (Tableau 5-10, page 70). Cette radioactivité naturelle est essentiellement due, pour sa part tellurique, au  $^{40}\text{K}$  et dans une moindre mesure aux éléments radioactifs issus des chaînes naturelles de  $^{238}\text{U}$  et du  $^{232}\text{Th}$ . Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Le  $^{40}\text{K}$  est le seul radionucléide détecté dans les laits. Les activités sont conformes aux valeurs mesurées les années précédentes (proche de  $50 \text{ Bq.L}^{-1}$ ).

Le  $^7\text{Be}$  est systématiquement détecté dans les sols et les végétaux. Naturellement produit en haute atmosphère, le  $^7\text{Be}$  se dépose de manière plus ou moins homogène, sur les sols et les plantes. En particulier, l'intérêt d'analyser des bryophytes réside dans leur forte capacité à capter les dépôts atmosphériques.

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

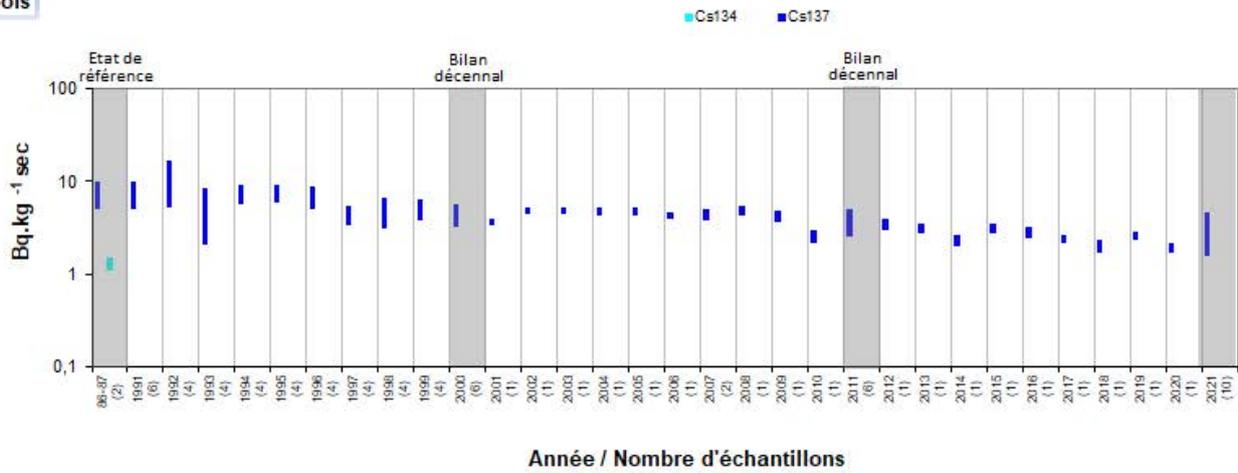
En 2021, la radioactivité d'origine artificielle est due uniquement à la détection de traces de  $^{137}\text{Cs}$  (Tableau 5-11, page 71).

Sa présence est mise en évidence dans un échantillon sur les quatre échantillons analysés dans le milieu terrestre (sol de pâturage) dans le cadre du suivi annuel. Les valeurs observées en 2021 sont cohérentes avec celles mesurées les années précédentes dans les sols et les végétaux, confirmant la diminution continue de l'activité du  $^{137}\text{Cs}$  observée depuis plusieurs années. Ces niveaux d'activités sont cohérents avec les valeurs attendues hors apport industriel local. Ils indiquent que la présence de  $^{137}\text{Cs}$  en 2021 est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2021, les autres radionucléides artificiels mesurables par spectrométrie gamma ( $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ...) ne sont pas détectés. Les mesures des radionucléides artificiels émetteurs gamma réalisées dans le milieu terrestre ne montrent pas d'influence des rejets atmosphériques du C.N.P.E. de Golfech.

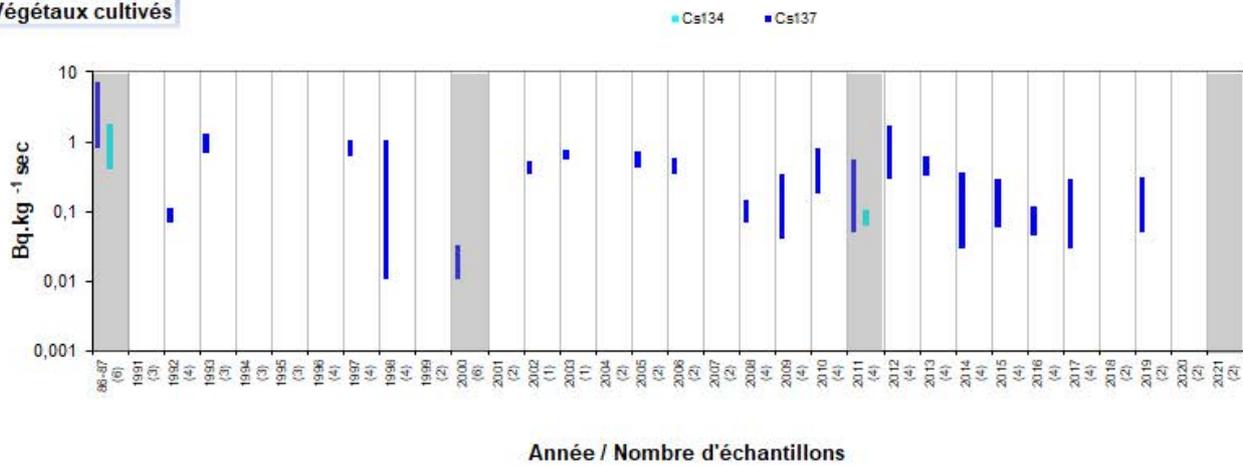
Les niveaux d'activité du  $^{137}\text{Cs}$  mesurés en 2021 ne sont pas comparables avec les activités mesurées lors de l'état de référence de 1986/1987, étant donné la concomitance de ce point zéro avec l'accident de Tchernobyl (Figure 5-3, page 46). De 1991 à 1996, la présence de  $^{134}\text{Cs}$  dans les mousses terrestres provenait des retombées de l'accident de Tchernobyl. En 2011, la détection de  $^{134}\text{Cs}$  et de  $^{131}\text{I}$  était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [4]. Ces deux radionucléides ne sont plus observés depuis 2012 dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech.

Le constat de 2021 est en accord avec les activités observées inférieures aux seuils de décision depuis 1991, à l'exception de  $^{241}\text{Am}$  mesuré dans deux des quatre mousses terrestres prélevées en 1996, à des niveaux d'activité proches du seuil de décision, rendant leur exploitation délicate. Ces détections pourraient provenir des retombées des essais aériens nucléaires, attribuable aux rejets du C.N.P.E. de Golfech.

**Sols**



**Végétaux cultivés**



**Mousses terrestres**

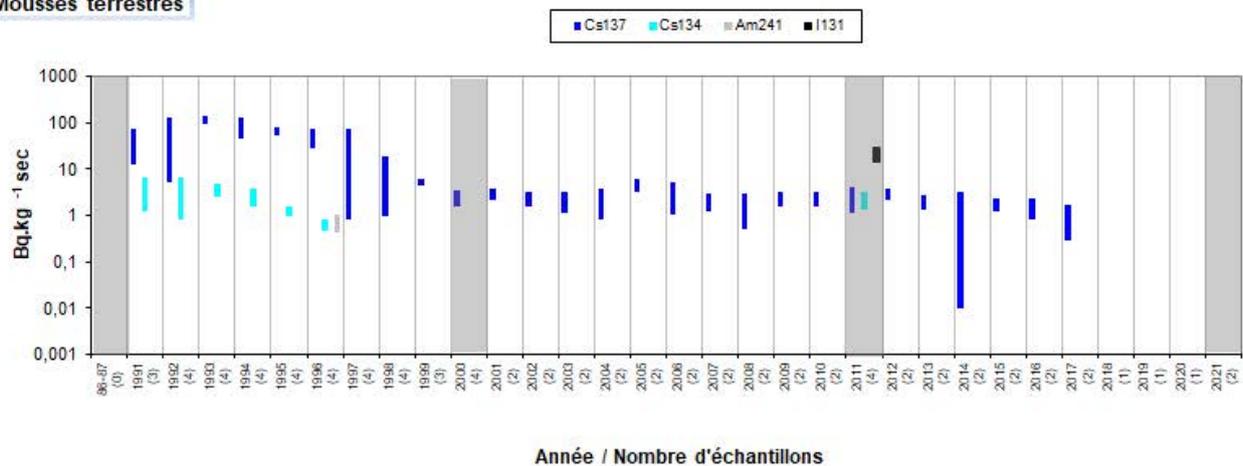


Figure 5-3. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans le milieu terrestre lors des études menées depuis l'état de référence, de 1986/1987, au suivi radioécologique de 2021.

\* : valeur minimale minorée de son incertitude à la valeur maximale majorée de son incertitude

### 5.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

#### 5.2.2.2.1. Tritium

Les résultats du tritium libre sont présentés dans le Tableau 5-13 (page 72). En 2021, les résultats des mesures en  $^3\text{H}$  libre sont proches de  $1 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour les choux et inférieurs au seuil de décision pour le lait (ZSV) et l'herbe (ZSV).

Ces résultats sont conformes avec le niveau ambiant hors influence industrielle ( $<2,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [3,5]. Ils sont cohérents avec les données des études de suivi radioécologique de ces dernières années (Figure 5-4, page 44).

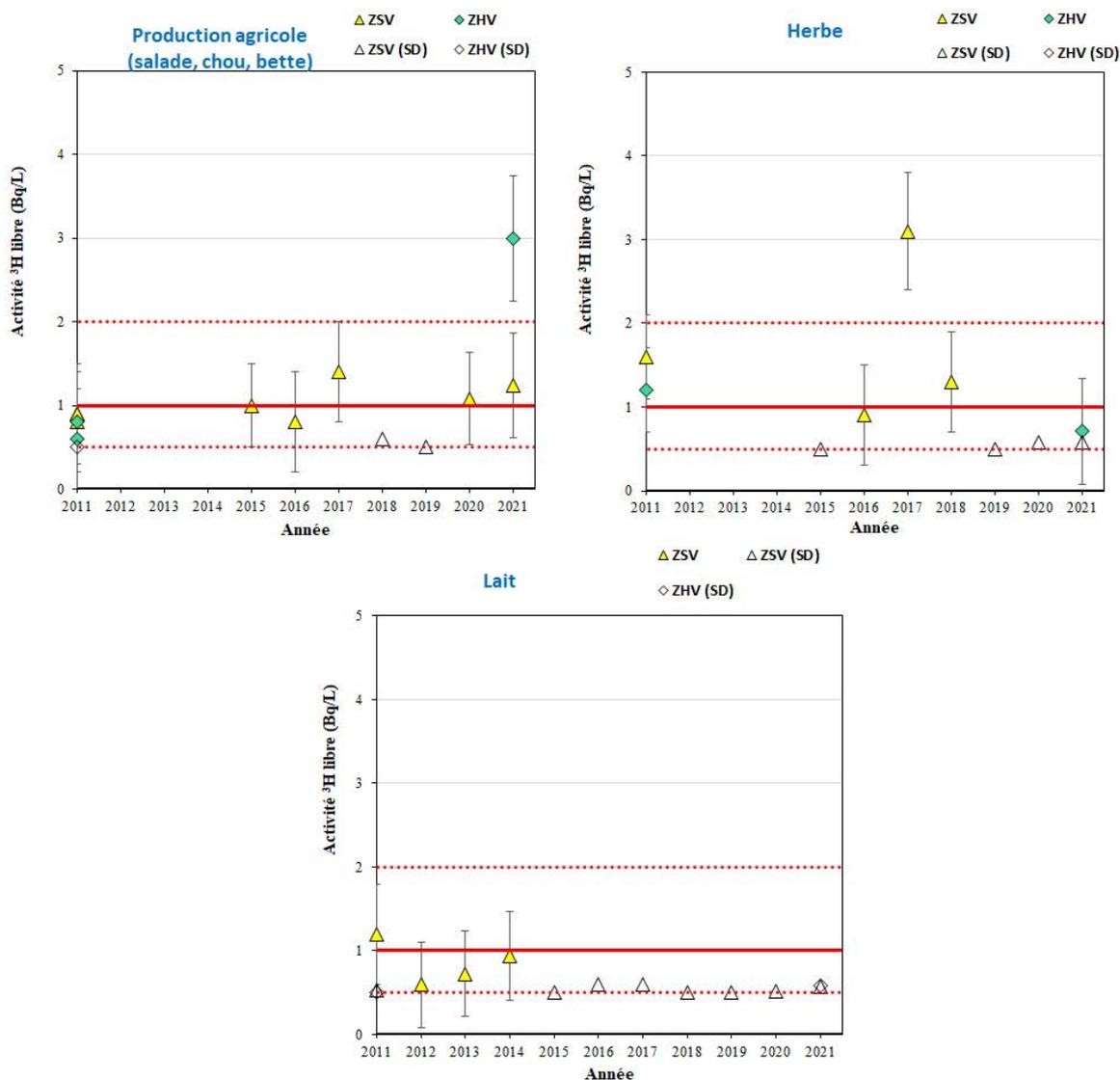


Figure 5-4. Activités en tritium libre ( $\text{Bq.L}^{-1}$ ) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021.

Les lignes en pointillées représentent la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle [3,5].

Les résultats du tritium organiquement lié (TOL) sont présentés dans le Tableau 5-14 (page 72). En 2021, les mesures du TOL (ZSV) sont inférieures aux seuils de décision. Ces résultats sont conformes avec le niveau ambiant hors influence industrielle ( $< 2,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [3,5]. Ils sont cohérents avec les données des études de suivi radioécologique de ces dernières années (Figure 5-5, page 48).

Un léger marquage lié aux rejets d'effluents atmosphériques tritiés du C.N.P.E. de Golfech a été mis en évidence dans des salades et dans l'herbe de prairie en 2011 et dans des bettes en 2019.

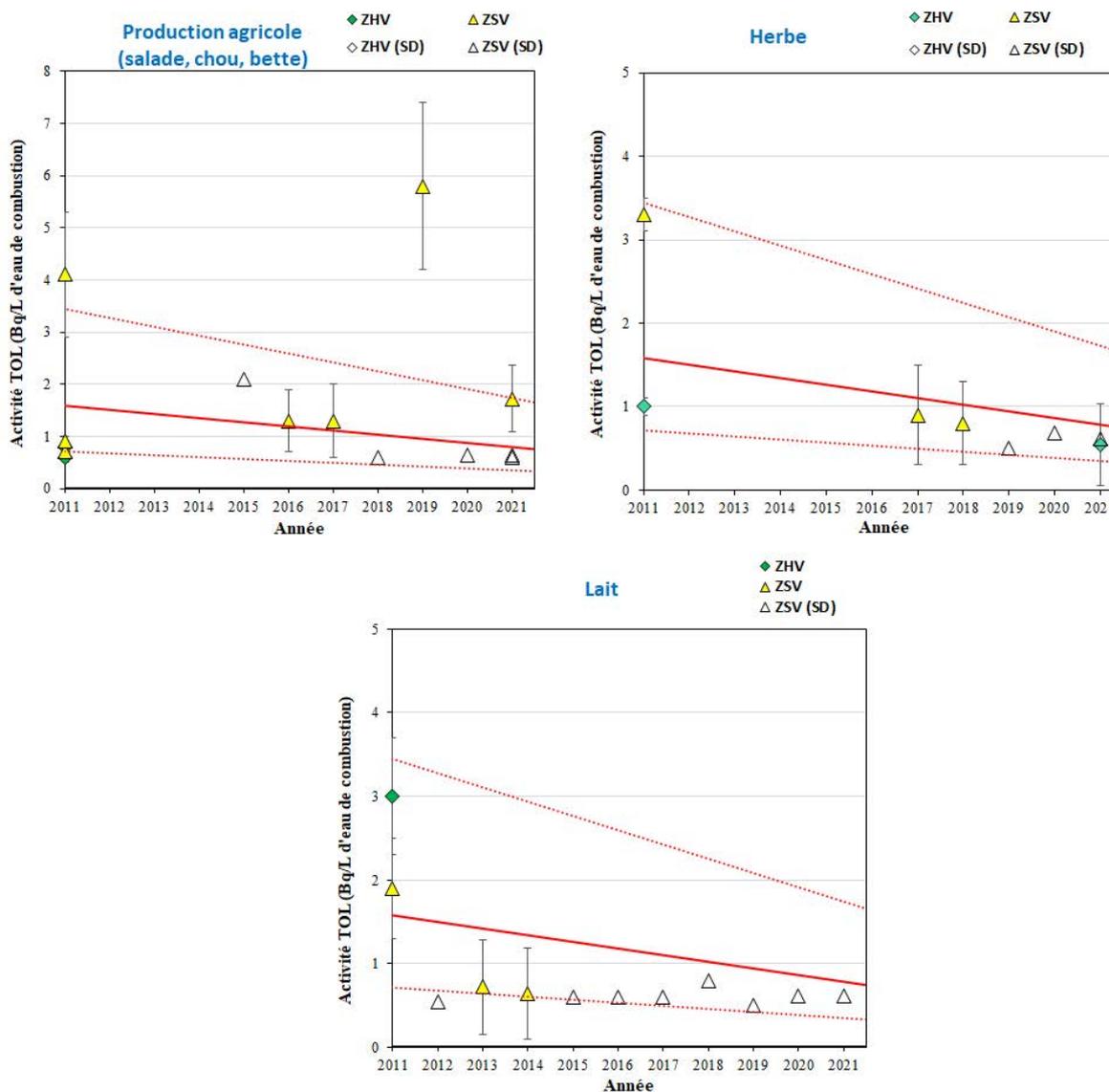


Figure 5-5. Activités en tritium organiquement lié ( $\text{Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021.

Les ligne en pointillées représentent la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ( $< 2 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [3,5].

### 5.2.2.2. Carbone 14

Les résultats du carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) sont présentés dans le Tableau 5-15 (page 73). En 2021, le résultat d'analyse du  $^{14}\text{C}$  dans les choux, les herbes et le lait prélevé sous les vents dominants montre une activité de l'ordre du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ( $223 \pm 7$  Bq.kg $^{-1}$  de carbone en 2021) [3]. Ces observations ne montrent pas d'influence significative des rejets atmosphériques de  $^{14}\text{C}$  du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu terrestre.

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures à l'exception de la contribution des rejets de l'installation mise en évidence dans les prunes en 2011 ( $296 \pm 13$  Bq/kg C) et dans les herbes en 2013 ( $246 \pm 10$  Bq/kgC). Ce marquage ponctuel a également été observé sur le prélèvement trimestriel d'herbe de janvier 2019 ( $260 \pm 9$  Bq/kgC) (Figure 5-6, page 40).

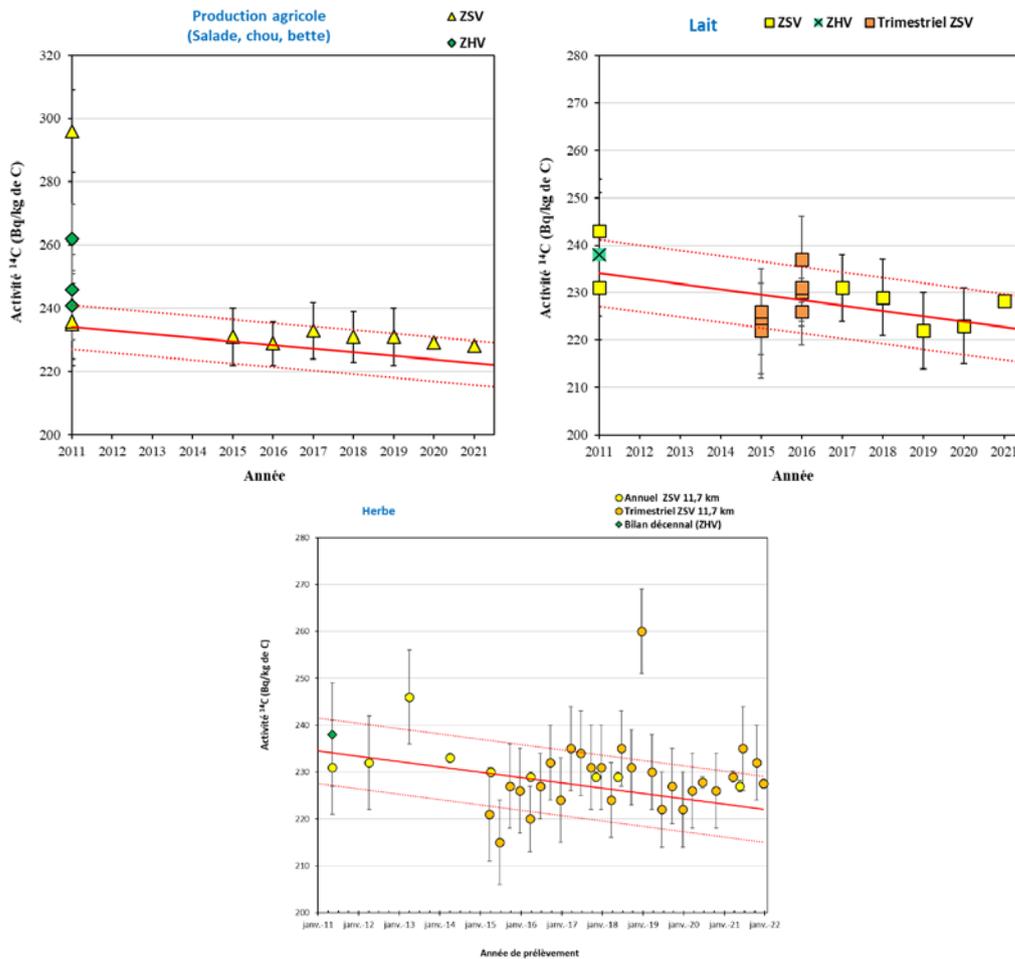


Figure 5-6. Activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021 (Station Merles pour les suivis annuels et trimestriels, et prélèvements à Labaquère (2,3 km du CNPE) depuis le 01/04/2020 pour les échantillons trimestriels).

Les lignes en pointillés représentent l'évolution du bruit de fond hors influence industrielle ( $223 \pm 7$  Bq/kg C en 2021) [3]. Les valeurs ont été mesurées par le Centre de Datation par le RadioCarbone (CDRC) et le LABRADOR.

### 5.2.2.2.3 Fer 55

En 2021, le résultat de mesure du  $^{55}\text{Fe}$  réalisée sur le sol de maïs prélevé dans la zone sous influence dans le cadre du suivi quinquennal montre une activité inférieure au seuil de décision. Aucune influence des

rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. n'est mise en évidence pour ce radionucléides (Tableau 5-17, page 7384)84

## 5.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique

### 5.3.1 *Stratégie d'échantillonnage*

Dans le cadre du suivi annuel de 2021, le Tableau 5-2 (page 52) regroupe l'identification détaillée des échantillons (lieu, nature, date de prélèvement...) ainsi que les rapports masse fraîche/masse sèche et masse sèche/masse cendres. La Figure 5-7 (page 52) présente la localisation des stations de prélèvement ainsi que la nature des échantillons collectés en 2021.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Les prélèvements ont lieu en amont, en aval proche de l'ouvrage de rejet et en aval lointain, de préférence dans la zone de dilution complète. Afin de garantir leur comparaison, les échantillons prélevés en amont et en aval sont, dans la mesure du possible, de même nature. Dans la continuité des études antérieures, les points de prélèvements se situent préférentiellement sur la rive droite de la Garonne.

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

Deux prélèvements d'eaux sont réalisés dans le cadre du suivi annuel 2021. Dans la continuité des années antérieures, l'eau de boisson provient du réseau d'eau potable de Sauveterre-Saint-Denis. Cette eau provient de l'unité de distribution de Sivoizac. Elle est issue d'un pompage dans la Garonne, donc sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E., qui est complété, si nécessaire, par un forage situé à Brax à une profondeur de 450 mètres. Le volume prélevé au niveau de ce forage profond est très restreint. En effet, il ne sert que de secours en cas de pollution de la Garonne empêchant les prélèvements en eau de surface. En 2021, le plan d'échantillonnage intègre une eau d'irrigation prélevée à l'aval du C.N.P.E, dont le prélèvement a été réalisé sur la commune d'Estubes sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. Deux eaux de rivière ont également été prélevées, l'une en amont et l'autre en aval du C.N.P.E. dans le cadre du suivi quinquennal 2021.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

Station	Situation par rapport à la centrale	Aval		Aval lointain		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude	Latitude	Longitude							
Malause Rive droite	11,5 km amont	44,08444	0,98583			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	Spectrométrie $\gamma$ Granulométrie, TMO Tritium organiquement lié Carbone 14 Nickel 63 Fe55 Archivage (sec)	1,90	-
Laspeyres Rive droite	6,8 km aval	44,14306	0,77694			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	Spectrométrie $\gamma$ Granulométrie, TMO Tritium organiquement lié Carbone 14 Nickel 63 Fe55 Archivage (sec)	1,91	-
											1,94	-
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	15,2 km aval lointain	44,15806	0,66361			Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/07/21	Spectrométrie $\gamma$ Granulométrie, TMO	1,90	-
Malause Rive droite	11,5 km amont	44,08444	0,98583			Planétogame immergée <i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	Spectrométrie $\gamma$ sec Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié Archivage (sec)	10,37	3,85
											9,25	
Laspeyres Rive droite	6,8 km aval	44,14306	0,77694			Planétogame immergée <i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	Spectrométrie $\gamma$ sec Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié Archivage (sec)	12,77	3,19
											9,95	
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	15,2 km aval lointain	44,15806	0,66361			Planétogame immergée <i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	26/07/21	Spectrométrie $\gamma$	8,70	3,56
Castelmayan Rive gauche	18,8 km amont	44,04417	1,06333			Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	Spectrométrie $\gamma$ en frais (tode 131) Nickel 63 Fe55 I127	7,26	4,00
											5,60	3,00
St-Sixte Rive gauche	6,5 km aval	44,14250	0,78528			Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Mousse <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	Spectrométrie $\gamma$ en frais (tode 131) Nickel 63 Fe55 I127	5,60	3,00
Castelmayan Rives gauche et droite	18,8 km amont	44,04889	1,06333			Poisson <i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	18/10/21	Spectrométrie $\gamma$ Carbone 14 Tritium organiquement lié Archivage (sec)	3,78	13,61
											3,91	15,28
St-Sixte Rives gauche et droite	6,5 km aval	44,14250	0,78528			Poisson <i>Cyprinus carpio</i>	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/10/21	Spectrométrie $\gamma$ Carbone 14 Tritium organiquement lié Archivage (sec)	3,91	15,28
Sauveterre - St-Denis	12,8 km aval	44,15500	0,70556			Eau	Eau de boisson	Entier	28/10/21	Tritium libre	-	-
Estubès	15,4 km aval	44,14167	0,75278			Eau	Eau d'irrigation	Entier	28/10/21	Tritium libre	-	-
Castelmayan Rives gauche et droite	12,8 km ONO	44,04417	1,06333			Eau	Eau de rivière	Entier	28/10/21	Carbone 14	-	-
											-	-
St-Sixte Rives gauche et droite	6,5 km aval	44,14250	0,78528			Eau	Eau de rivière	Entier	27/10/21	Carbone 14	-	-

Tableau 5-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

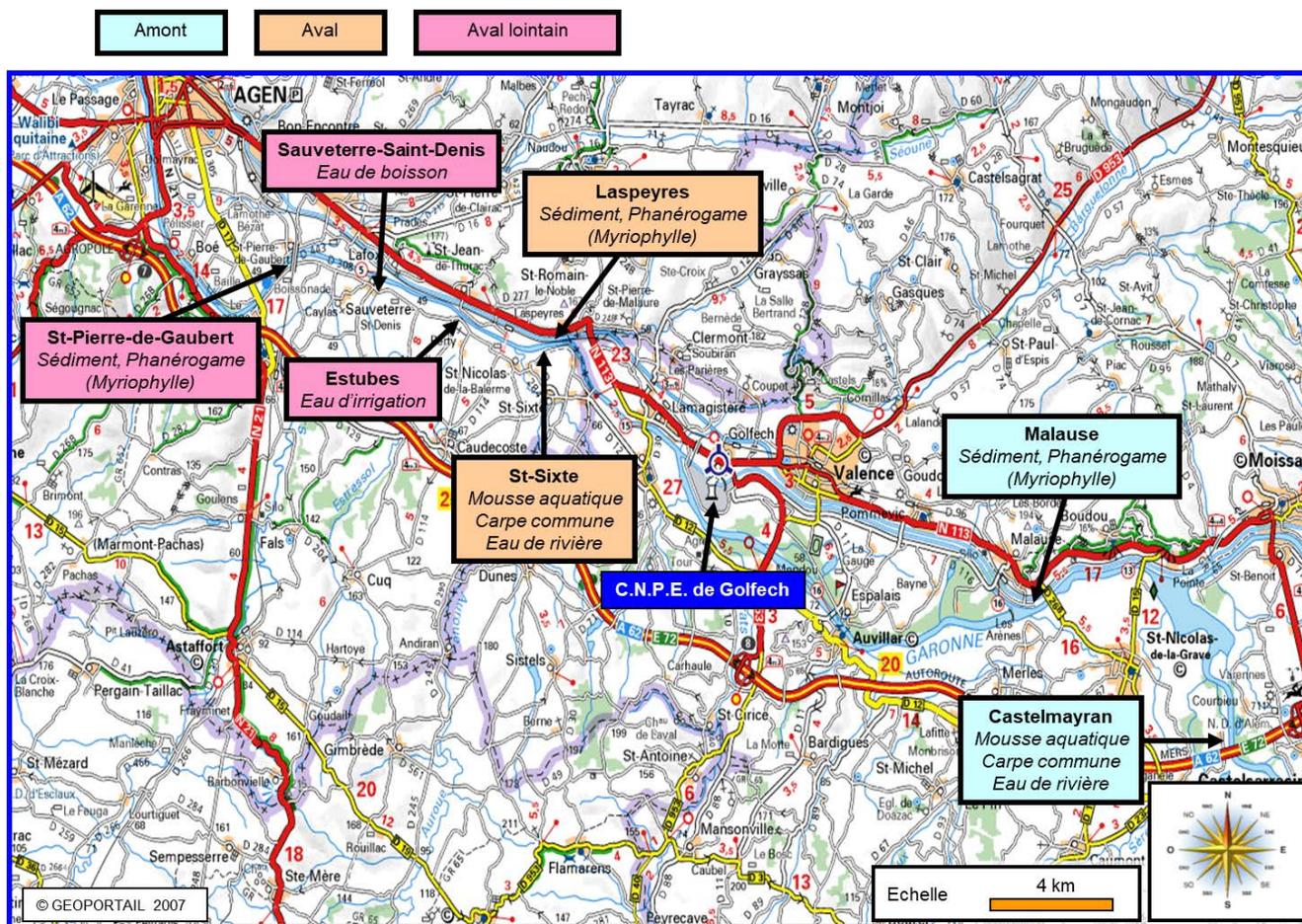


Figure 5-7. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2021 du C.N.P.E. de Golfech.

## 5.3.2 Résultats et interprétation

### 5.3.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

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

Les activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle sont présentés dans le Tableau 5-23, page 79. De même que dans le milieu terrestre, le niveau de radioactivité naturelle observé en 2021 dans le milieu aquatique par spectrométrie gamma est du même ordre de grandeur que celui constaté depuis l'état radioécologique de référence. Il est majoritairement dû au  $^{40}\text{K}$ , et, dans une moindre mesure, aux éléments issus des chaînes naturelles de  $^{238}\text{U}$  et de  $^{232}\text{Th}$ . Les activités sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

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

Enfin, le  $^7\text{Be}$  est détecté dans les trois sédiments, tous les végétaux aquatiques (phanérogames et mousses).

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

Les activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle sont présentés dans le Tableau 5-24, page 80. En 2021, la radioactivité d'origine artificielle des émetteurs gamma est caractérisée par la présence de traces de de  $^{137}\text{Cs}$ , de  $^{58}\text{Co}$  et de  $^{131}\text{I}$ .

Le  $^{137}\text{Cs}$  est détecté dans tous les échantillons (sédiments, mousses aquatiques et myriophylles) à l'exception des poissons. Dans les sédiments et les myriophylles, les activités du  $^{137}\text{Cs}$  sont du même ordre de grandeur en amont et en aval du C.N.P.E. Ces niveaux d'activités sont cohérents avec les valeurs attendues hors apport industriel local. Ils montrent que les activités en  $^{137}\text{Cs}$  mesurées en 2021 résultent principalement des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

La présence de  $^{131}\text{I}$  est mesurée à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. dans les mousses aquatiques avec une activité de l'ordre de  $13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  à l'amont et une activité de l'ordre de  $5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  à l'aval proche et de l'ordre de  $3 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  à l'aval lointain. Ce constat d'une activité plus ou moins marquée en amont a également été observé lors des études antérieures. Cet écart entre l'amont et l'aval atteste d'un apport en  $^{131}\text{I}$  en amont du C.N.P.E. de Golfech. Les études réalisées par l'IRSN ont permis d'établir que cet apport était imputable à des rejets liés à des activités de médecine nucléaire conduites en amont de l'installation notamment au niveau de l'agglomération toulousaine.

Lors de l'état de référence, le  $^{134}\text{Cs}$  détecté dans l'eau douce, les sédiments, les végétaux aquatiques (phanérogames et mousses aquatiques) et les poissons résultait des retombées de l'accident de Tchernobyl (Figure 5-8, page 54, à Figure 5-11, page 57). Depuis 1992, les niveaux d'activité en  $^{134}\text{Cs}$ , mesurés systématiquement dans les végétaux et de façon sporadique dans les sédiments et les poissons, sont du même ordre de grandeur. En 1991, 1999 et 2018, la détection de  $^{134}\text{Cs}$  était liée au fonctionnement de l'installation. En 2011, la détection de  $^{134}\text{Cs}$  à l'amont du C.N.P.E. était liée aux retombées de l'accident de Fukushima.

La détection de certains radionucléides artificiels lors de l'état de référence, tels  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  et  $^{106}\text{Ru-Rh}$ , était attribuable aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Lors des précédentes études radioécologiques, la présence des radiocobalts, le  $^{58}\text{Co}$  et le  $^{60}\text{Co}$ , accompagnée ponctuellement d' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , de  $^{54}\text{Mn}$  et de  $^{57}\text{Co}$ , en particulier dans les phanérogames immergées et les mousses aquatiques montraient l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu aquatique environnant.

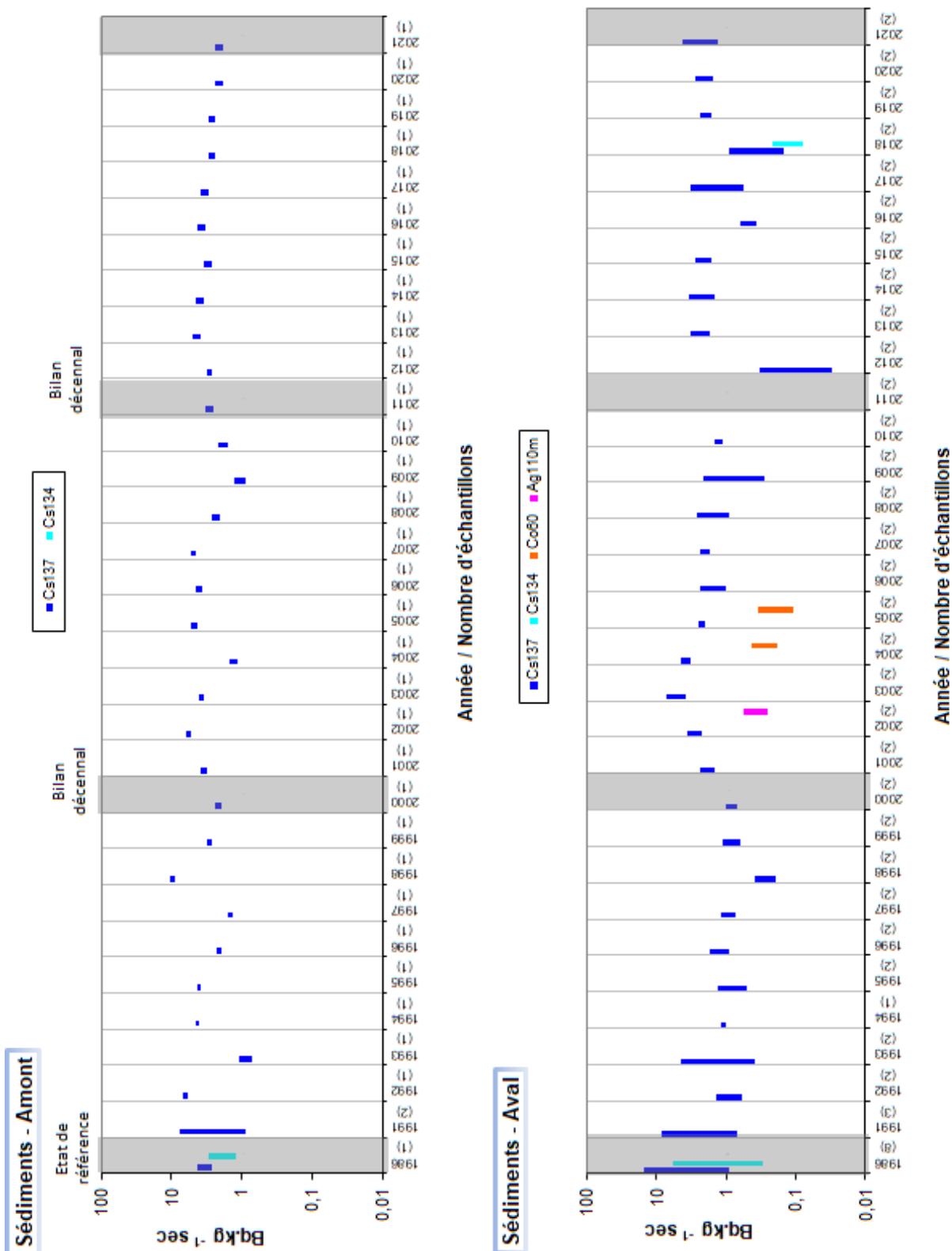


Figure 5-8. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les sédiments lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021.

\* : valeur minimale minorée de son incertitude à la valeur maximale majorée de son incertitude

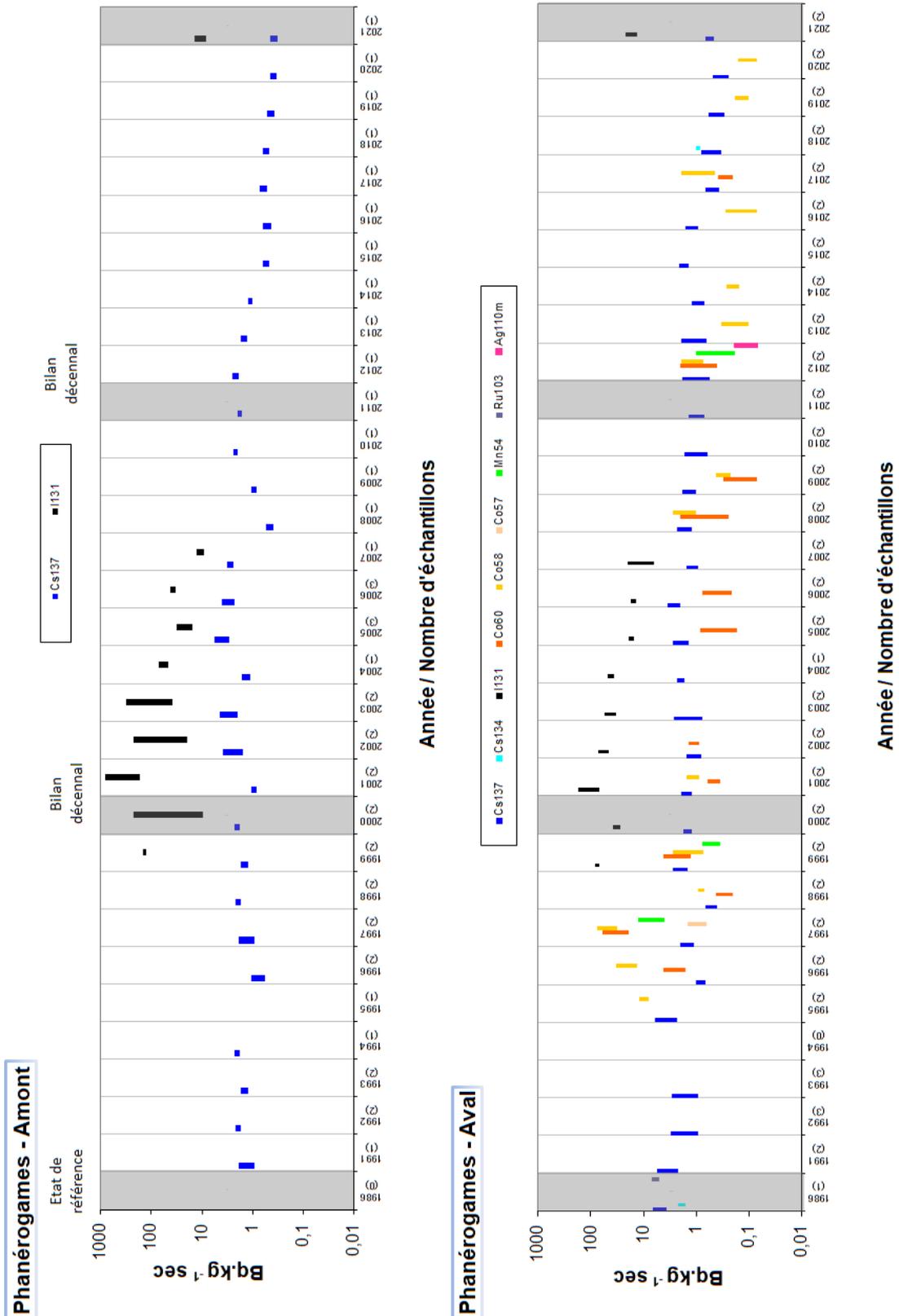


Figure 5-9. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les phanérogames (toutes fractions confondues) lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021.

\* : valeur minimale minorée de son incertitude à la valeur maximale majorée de son incertitude



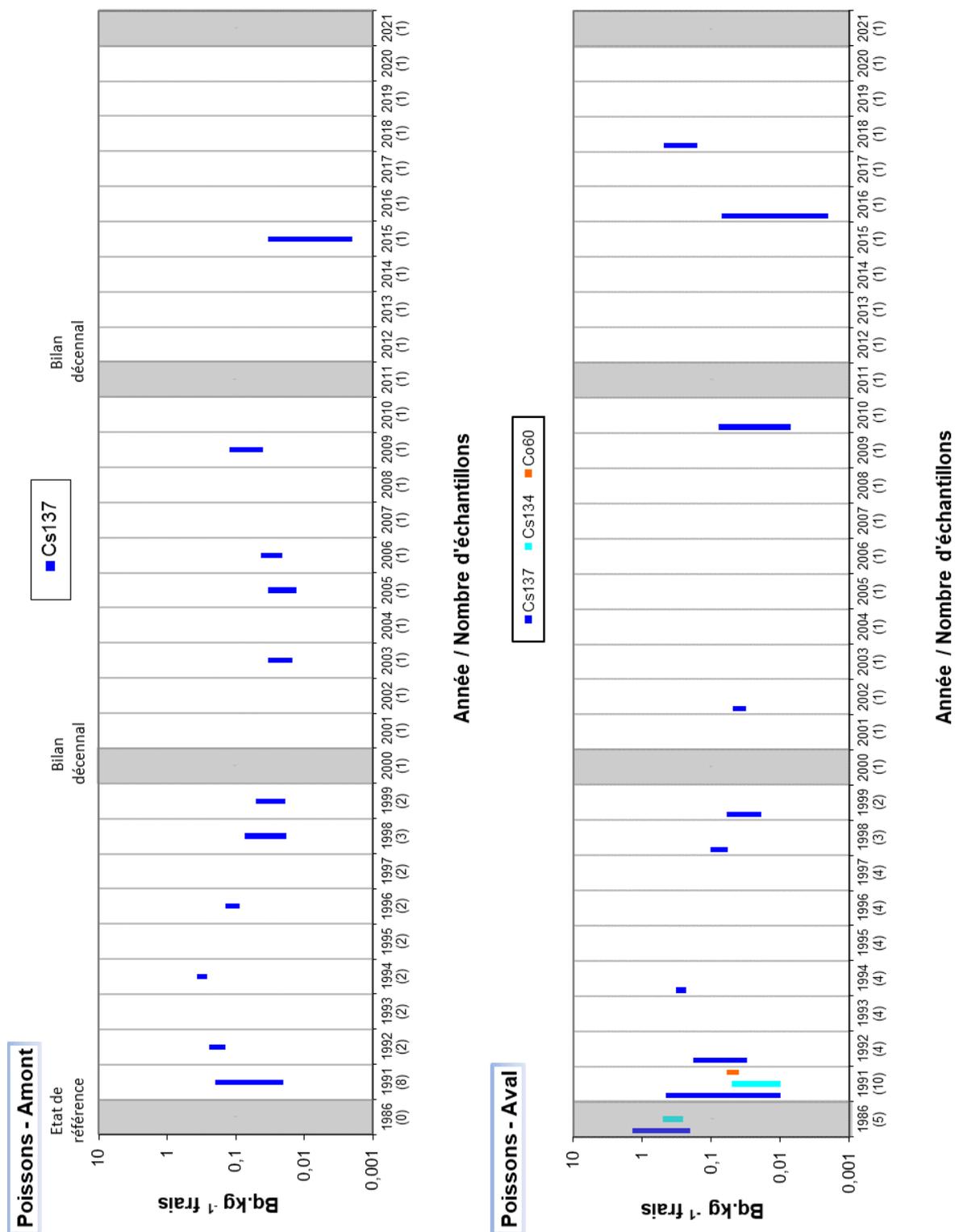


Figure 5-11. Gammes de variation (\*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie  $\gamma$  dans les poissons lors des études menées depuis l'état de référence de 1986 au suivi radioécologique de 2021.

\* : valeur minimale minorée de son incertitude à la valeur maximale majorée de son incertitude

### 5.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

#### 5.3.2.2.1. Tritium

Les résultats des mesures en  $^3\text{H}$  libre sont présentés dans le Tableau 5-26 (page 81). En 2021, les activités du  $^3\text{H}$  libre mesurées dans les phanérogames (myriophylles) et les eaux de boisson et d'irrigation sont proches de 1-2 Bq/L, sauf dans les phanérogames en aval du C.N.P.E. sur le site de Laspeyres qui présente une activité inférieure au seuil de décision ( $< 0,62 \text{ Bq/L}$ ). Ces résultats sont conformes avec le niveau ambiant hors influence industrielle ( $< 2 \text{ Bq.L}^{-1}$ ) [3,5] et ne montrent pas d'influence des rejets de tritium du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu aquatique.

Depuis 2011, l'activité du  $^3\text{H}$  libre dans l'eau de boisson prélevée à Sauveterre-Saint-Denis fluctue entre le seuil de décision et une quarantaine de  $\text{Bq.L}^{-1}$  (Figure 5-12, page 40) en fonction de la concomitance du prélèvement avec une période de rejet ou non [5]. Ces détections récentes sont liées au changement d'approvisionnement en eau. En effet, depuis 2011, cette eau est issue d'un pompage direct dans la Garonne qui est complété, si nécessaire, par un pompage d'eau souterraine via un forage situé à Brax. Ces niveaux d'activités sont cohérents avec ceux autorisés dans la Garonne lors des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de  $10000 \text{ Bq.L}^{-1}$ . La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de  $100 \text{ Bq.L}^{-1}$ , au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

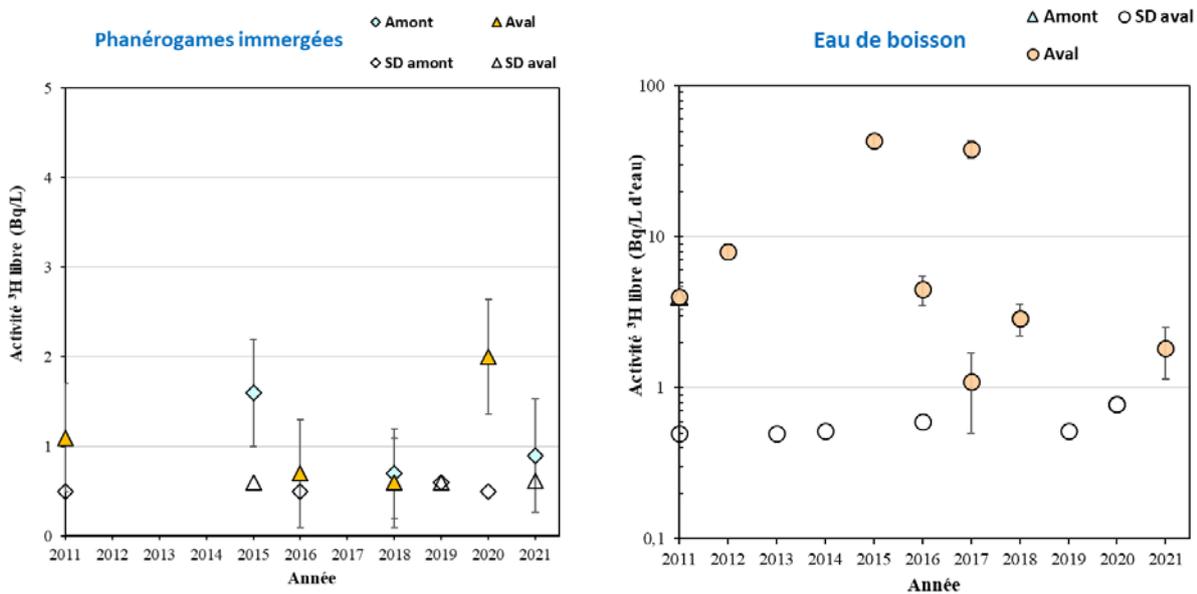


Figure 5-12. Activités en tritium libre détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021.

Enfin, les résultats des mesures en  $^3\text{H}$  organiquement lié (TOL) sont présentés dans le Tableau 5-27 (page 82). En 2021, les niveaux d'activité du TOL mesurés dans les prélèvements à l'amont immédiat du C.N.P.E. s'élèvent à  $1,85 \pm 0,70 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion dans les phanérogames et  $2,24 \pm 0,81 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion dans les poissons, tandis qu'ils s'élèvent à  $7,8 \pm 1,4 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion dans les phanérogames et  $2,72 \pm 0,94 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion dans les poissons en aval immédiat du C.N.P.E.

Ces valeurs d'activité du  $^3\text{H}$  organiquement lié en amont et en aval du C.N.P.E. sont cohérentes avec les résultats obtenus lors des études radioécologiques des années précédentes (Figure 5-13, page 59). L'activité du  $^3\text{H}$  organiquement lié mesurée dans les myriophylles prélevés en aval du C.N.P.E. montre l'influence des rejets de tritium du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu aquatique environnant.

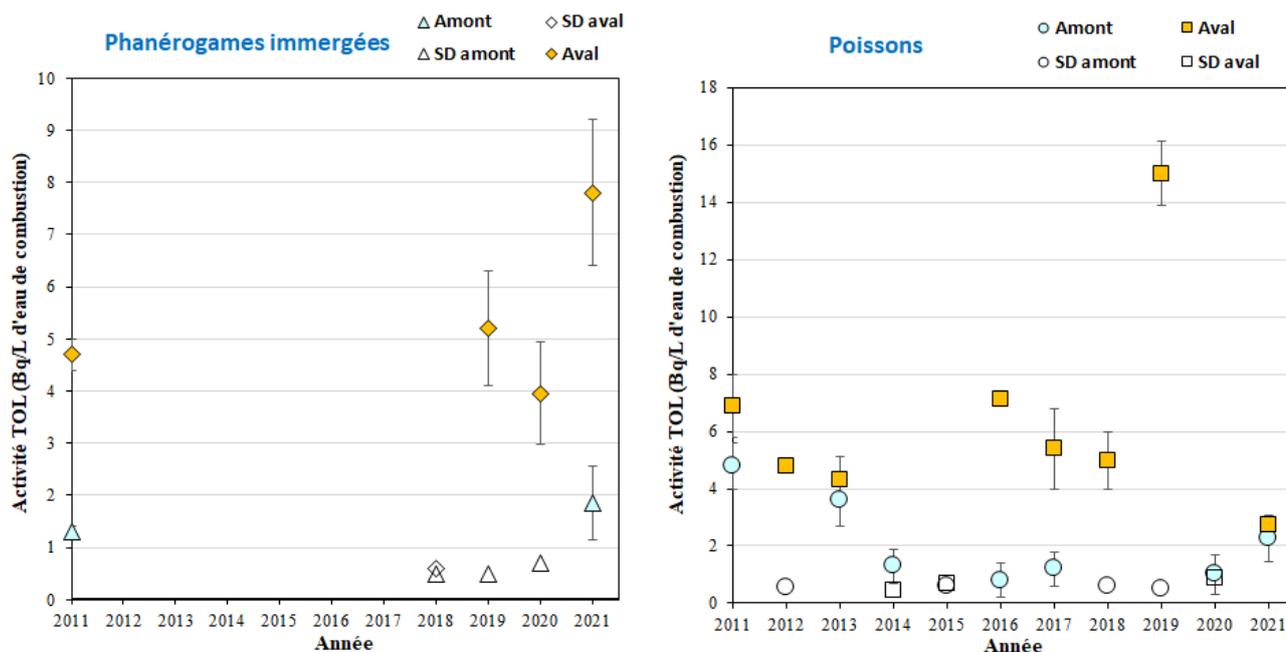


Figure 5-13. Activités en tritium organiquement lié (TOL) détectés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021.

#### 5.3.2.2.2. Carbone 14

En 2021, les analyses de  $^{14}\text{C}$  dans les myriophylles et les poissons montrent, d'une part, une activité mesurée à l'amont proche de l'activité ambiante hors influence industrielle de l'ordre de  $200\text{-}220 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone [3] et, d'autre part, une augmentation de l'activité à l'aval ( $294,0 \pm 1,3$  et  $890 \pm 21 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de C respectivement pour les myriophylles et les poissons, Tableau 5-28, page 83).

Ce constat est cohérent avec les résultats obtenus lors des études radioécologiques antérieures qui montraient l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech sur le milieu aquatique environnant pour ce radionucléide (Figure 5-14, page 60).

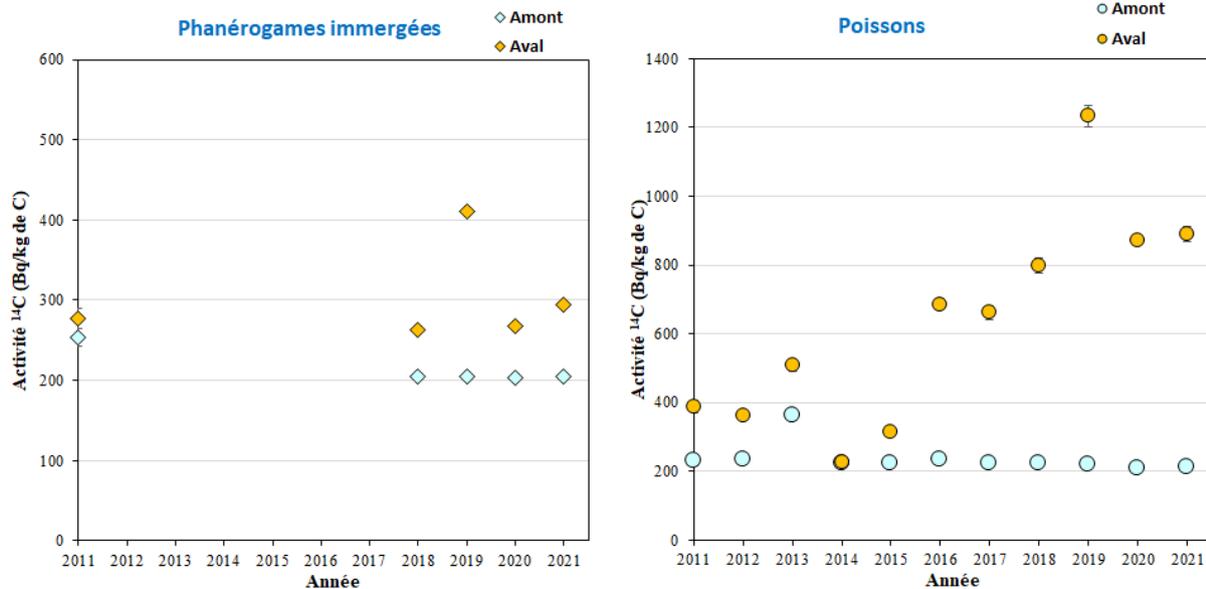


Figure 5-14. Activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans l'environnement aquatique du C.N.P.E de Golfech de 2011 à 2021.

### 5.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2021, les résultats des analyses de  $^{55}\text{Fe}$  et de  $^{63}\text{Ni}$  réalisées dans les mousses aquatiques montrent des activités inférieures aux seuils de décision. Aucune influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. n'est mise en évidence pour ces radionucléides (Tableau 5-29, page 84, et Tableau 5-30, page 84).

## 5.4 Conclusion

Le suivi radioécologique établi en 2021 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui relevé avant la mise en exploitation du C.N.P.E.

En 2021, la radioactivité artificielle détectée dans **le milieu terrestre** est due uniquement à la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$ . Il provient principalement des retombées des anciens essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Les activités en tritium (libre et organiquement lié) sont conformes à celles attendues dans l'environnement en dehors de tout apport industriel local. Les analyses de  $^{14}\text{C}$  réalisées en 2021 dans les échantillons prélevés sous les vents dominants (herbes, choux et lait) montrent des activités équivalentes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

Dans **le milieu aquatique**, le  $^{137}\text{Cs}$  est présent en 2021 dans tous les compartiments du milieu aquatique aussi bien en amont qu'en aval de l'installation à l'exception des poissons. Les activités mesurées sont du même ordre de grandeur à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. La présence de ces traces de  $^{137}\text{Cs}$  provient donc principalement des retombées atmosphériques liées aux anciens essais militaires aériens et à l'accident de Tchernobyl. Les niveaux d'activité du tritium libre sont cohérents avec le niveau ambiant hors influence industrielle locale. Les résultats des analyses de  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les myriophylles et de  $^{14}\text{C}$  dans les myriophylles et les poissons traduisent en revanche une augmentation de l'activité à l'aval de l'installation liée à l'influence des rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech pour ces radionucléides. Enfin, une contribution en iode 131 est mise en évidence en 2021 en amont et en aval du C.N.P.E. de Golfech. Ce radionucléide provient des activités de médecine nucléaire conduites au niveau de l'agglomération toulousaine.



Tableau 5-3. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de sols issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	mai/sept./oct. 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	nov. 2017	mai 2018	juin 2019	sept. 2020	juin et oct. 2021
<b>Distance par rapport au site</b>	8,1 à 15,5 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	2,3 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>											
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	2,9-4,5 (6/6)	3,5 (1/1)	3,1 (1/1)	2,3 (1/1)	3,1 (1/1)	2,8 (1/1)	2,4 (1/1)	2,0 (1/1)	2,56 (1/1)	1,90 (1/1)	2,36 (1/1)
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>											
$^{14}\text{C}$	233-244 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.							
$^3\text{H}$ libre	0,8-2,0 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.							
$^3\text{H}$ organiquement lié	1,7-5,2 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.							

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

Tableau 5-4. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  dans les échantillons des mousses terrestres issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (Bq.kg<sup>-1</sup>sec).

Année de prélèvement	mars/avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	mai 2017	mai 2018	juin 2019	sept. 2020	juin 2021
<b>Distance par rapport au site</b>	6,5 à 9,5 km	8,4 et 9,5 km	8,4 et 9,5 km	8,4 et 9,5 km	8,4 et 9,5 km	8,4 et 9,5 km	8,4 et 9,5 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	8,4 et 9,5 km
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>											
<sup>134</sup> Cs	2,3-3,1 (2/6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>137</sup> Cs	0,79-3,5 (5/6)	2,9 (1/2)	2 (1/2)	0,44-2,3 (2/2)	1,8 (1/2)	1,6 (1/2)	1,0 (1/2)	-	-	-	-
<sup>58</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>60</sup> Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>110m</sup> Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>54</sup> Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<sup>131</sup> I	15-26 (3/6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5-5. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de légumes issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}\text{ sec}$  ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	sept. 2011	juil. 2012	sept. 2013	oct. 2014	oct. 2015	sept./déc. 2016	oct. 2017	oct. 2018	juin 2019	oct. 2020	oct. 2021
<b>Distance par rapport au site</b>	6,2 et 19,5 km	6,2 et 19,5 km	6,2 et 19,5 km	2,8 et 19,5 km	2,8 et 19,5 km	2,8 et 19,5 km	2,8 et 19,5 km	2,8 km	2,8 km	2,8 km	2,8 km
<b>Nature</b>	salade	salade	salade	salade	salade	salade/chou	chou	bette	bette	chou	chou
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>											
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	0,21-0,44 (2/2)	0,54-1,5 (2/2)	0,48 (1/2)	0,16-0,23 (2/2)	0,18 (1/2)	-	0,21 (1/2)	-	0,17 (1/1)	-	-
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>											
$^{14}\text{C}$	235-241 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	231 (1/1)	229 (1/1)	233 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	229,2 (1/1)	228,2 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	0,8-0,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	1,0 (1/1)	0,8 (1/1)	1,4 (1/1)	-	-	1,08 (1/1)	1,24 (1/1)
$^3\text{H}$ organiquement lié	4,1 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,3 (1/1)	1,3 (1/1)	-	5,8 (1/1)	-	-

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

Tableau 5-6. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons d'herbe issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  : Bq.kg<sup>-1</sup> sec ;  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone ;  $^3\text{H}$  : Bq.L<sup>-1</sup>).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	juin/nov. 2017	mai 2018	juin 2019	sept. 2020	juin 2021
Distance par rapport au site	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	2,3 et 11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>											
$^{134}\text{Cs}$	0,085 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	0,17-0,22 (2/2)	-	-	-	-	0,083 (1/2)	0,051 (2/2)	-	0,090 (1/1)	-	-
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110m}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>											
$^{14}\text{C}$	231-238 (2/2)	232 (1/1)	246 (1/1)	233 (1/1)	230 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	227,2 (1/1)	n.a.	227,0 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	1,2-1,6 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,9 (1/1)	3,1 (1/1)	1,3 (1/1)	-	-	-
$^3\text{H}$ organiquement lié	1,0-3,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9 (1/1)	0,8 (1/1)	-	-	-

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

Tableau 5-7. Activités du <sup>14</sup>C, du <sup>3</sup>H libre et du <sup>3</sup>H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (herbe) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2015 à 2021 (<sup>14</sup>C : Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone ; <sup>3</sup>H : Bq.L<sup>-1</sup>).

Année de prélèvement	avril 2015		juil. 2015		oct. 2015		janv. 2016		avril 2016		juil. 2016		oct. 2016		janv. 2017		avril 2017		juil. 2017		oct. 2017		janv. 2018		avril 2018		juil. 2018		oct. 2018		janv. 2019		avril 2019		juil. 2019		oct. 2019		janv. 2020		avril 2020		juillet 2020		nov. 2020		avril 2021		juillet 2021		octobre 2021		janvier 2022			
Distance par rapport au site	11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km		11,7 km																													
Emetteurs β																																																								
<sup>14</sup> C	221 (1/1)	215 (1/1)	227 (1/1)	226 (1/1)	220 (1/1)	227 (1/1)	232 (1/1)	224 (1/1)	235 (1/1)	234 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)	224 (1/1)	235 (1/1)	231 (1/1)	260 (1/1)	230 (1/1)	222 (1/1)	227 (1/1)	222 (1/1)	226 (1/1)	227,8 (1/1)	226 (1/1)	229,0 (1/1)	235 (1/1)	232 (1/1)	227,5 (1/1)																													
<sup>3</sup> H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,21 (1/1)	n.a.	n.a.																																																	
<sup>3</sup> H organiquement	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.																														

n.a. : non analysé

Tableau 5-8. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les laits issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	mai 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	juin 2017	mai 2018	juin 2019	sept. 2020	mai-juin 2021
<b>Distance par rapport au site</b>	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 et 15,5 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km	11,7 km
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>											
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	0,0078-0,013 (2/3)	0,017 (1/2)	-	-	0,0060 (1/2)	-	0,0082 (1/2)	0,0076 (1/1)	-	-	-
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>											
$^{14}\text{C}$	231-243 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	233 (1/1)	229 (1/1)	222 (1/1)	223 (1/1)	228,2 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	1,2 (1/3)	0,59 (1/1)	0,72 (1/1)	0,94 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-
$^3\text{H}$ organiquement lié	1,9-3,0 (2/2)	-	0,72 (1/1)	0,64 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 5-9 : Activités du  $^{14}\text{C}$  dans les échantillons trimestriels de lait issu de l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech de février 2015 à janvier 2017 ( $^{14}\text{C}$  : Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone).

<b>Année de prélèvement</b>	avr.-15	juil.-15	oct.-15	janv.-16	avr.-16	juil.-16	oct.-16	janv.-17
<b>Distance par rapport au site</b>	11,7 km							
$^{14}\text{C}$	224 (1/1)	222 (1/1)	226 (1/1)	237 (1/1)	226 (1/1)	230 (1/1)	231 (1/1)	231 (1/1)

Tableau 5-10. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs $\gamma$ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg <sup>-1</sup> sec (sols, végétaux), Bq.L <sup>-1</sup> (lait)					
							<sup>40</sup> K	Famille du <sup>232</sup> Th	Famille de <sup>238</sup> U			<sup>7</sup> Be
								<sup>228</sup> Ac	<sup>234</sup> Th	<sup>234m</sup> Pa	<sup>210</sup> Pb	
Donzac	Production agricole	Chou	Feuilles	27/10/21	26/11/21	Cendres	860 ± 120	2,27 ± 0,45	< 0,82	n.a.	2,6 ± 1,5	21,8 ± 2,6
Merles	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	01/06/21	08/06/21	Sec	462 ± 66	47,9 ± 6,2	n.a.	48 ± 19	n.a.	3,0 ± 1,5
Merles	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	01/06/21	18/06/21	Cendres	590 ± 84	0,75 ± 0,19	< 0,50	n.a.	7,9 ± 1,4	123 ± 14
Merles	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	17/06/21	Cendres	42,3 ± 6,1	< 0,024	< 0,059	n.a.	< 0,090	< 0,045

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

Tableau 5-11. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique annuel de 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs $\gamma$ d'origine artificielle						
							Activité Bq.kg <sup>-1</sup> sec (sols, végétaux), Bq.L <sup>-1</sup> (lait)						
							<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>58</sup> Co	<sup>60</sup> Co	<sup>110m</sup> Ag	<sup>54</sup> Mn	<sup>131</sup> I
Monplaisir	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	31/05/21	02/06/21	Frais	< 0,72	< 0,64	< 0,54	< 0,63	< 0,71	< 0,60	< 0,71
Donzac	Production agricole	Chou	Feuilles	27/10/21	26/11/21	Cendres	< 0,071	< 0,072	< 0,092	< 0,094	< 0,091	< 0,076	n.a.
Merles	Sol non cultivé	Sol de pâturage <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	01/06/21	08/06/21	Sec	< 0,16	<b>2,36 ± 0,29</b>	< 0,14	< 0,14	< 0,18	< 0,17	n.a.
Merles	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	01/06/21	18/06/21	Cendres	< 0,034	< 0,034	< 0,040	< 0,045	< 0,041	< 0,036	n.a.
Merles	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	17/06/21	Cendres	< 0,0057	< 0,0056	< 0,0066	< 0,0073	< 0,0068	< 0,0058	n.a.

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

Sous les vents							127I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg <sup>-1</sup> frais
Monplaisir	Mousse terrestre	Mousse <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	Entier	31/05/21	16/02/22	Séchée	< 39

Tableau 5-12. Teneur en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Sous les vents							<sup>3</sup> H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup>	Bq.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) Bq.L <sup>-1</sup> de lait
Donzac	Production agricole	Chou	Feuilles	27/10/21	28/11/21	Eau de lyophilisation	1,24 ± 0,62	1,10 ± 0,55
Merles	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	01/06/21	30/06/21	Eau de lyophilisation	< 0,58	< 0,41
Merles	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	01/07/21	Eau de lyophilisation	< 0,57	< 0,49

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

Tableau 5-13. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Sous les vents							<sup>3</sup> H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion	Bq.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) Bq.L <sup>-1</sup> (lait)	Bq.kg <sup>-1</sup> MO
Donzac	Production agricole	Chou	Feuilles	27/10/21	19/12/21	Lyophilisée	< 0,60	< 0,034	< 0,34
Merles	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de prairie	Parties aériennes	01/06/21	23/06/21	Lyophilisée	< 0,61	< 0,099	< 0,37
Merles	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	18/06/21	Lyophilisée	< 0,61	< 0,052	< 0,47

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

Tableau 5-14. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>14</sup> C		C tot	<sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C	PMC
							Bq.kg <sup>-1</sup> de C	Bq.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) Bq.L <sup>-1</sup> (lait)	g.kg <sup>-1</sup> frais (végétaux) g.L <sup>-1</sup> de lait	‰	%
Donzac	Production agricole	Chou	Feuilles	27/10/21	03/11/22	Lyophilisée	228,2 ± 1,0	10,67 ± 0,05	47	-29,38	102
Merles	Lait	Lait de vache	Entier	31/05/21	21/10/21	Lyophilisée	228,2 ± 1,2	14,54 ± 0,08	64	-29,44	102

Tableau 5-15. Activité du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Merles	Sol de prairie Horizon 0-5 cm	01/06/21	15/06/21	<b>Granulométrie 5 fractions</b>	
				Argile	19,5
				Limons fins	31,7
				Limons grossiers	29,5
				Sables fins	12,5
				Sables grossiers	6,8
	<b>Teneur en matières organiques</b>	5,5			

Tableau 5-16. Granulométrie et teneur en matières organiques de l'échantillon de sol prélevé dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. Les analyses ont été faites suivant la méthode de diffraction laser.

Sous les vents    Hors vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>55</sup> Fe
							Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Bardigues	Sol de culture	Sol de maïs Horizon 0 - 20 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	28/10/21	21/04/22	Cendres	< 14

Tableau 5-17. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Tableau 5-18. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^{14}\text{C}$  dans les eaux issues de l'environnement du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.L}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	mars/oct./nov. 2011		avril 2012		avril 2013		avril 2014		avril 2015		avril/déc. 2016		juin/oct. 2017		mai/déc. 2018		juin/juil. 2019		oct. 2020		oct. 2021	
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																						
$^{134}\text{Cs}$	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{137}\text{Cs}$	-	0,0013 (1/6)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{58}\text{Co}$	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{60}\text{Co}$	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{54}\text{Mn}$	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																						
$^3\text{H}$ libre	0,8-4,0 (1/2)	0,6-8,7 (6/10)	na	8,0 (1/1)	na	-	na	-	na	43 (1/1)	na	4,5 (1/2)	na	1,1-38 (2/2)	na	2,9 (1/2)	na	-	na	-	na	1,12-1,83 (2/2)
$^{14}\text{C}$	203-208 (2/2)	158-231 (5/5)	na	na	na	-	na	-	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	-	na	na

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

Tableau 5-19. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$  et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de sédiments issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  organiquement lié :  $\text{Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion).

Année de prélèvement	sept. 2011		sept. 2012		sept. 2013		oct./nov. 2014		oct. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		mai 2019		sept./oct. 2020		juil 2021		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																							
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15 (1/2)	-	-	-	-	-	-	
$^{137}\text{Cs}$	2,9 (1/1)	-	2,9 (1/1)	0,18 (1/2)	4,4 (1/1)	2,0-2,9 (2/2)	3,9 (1/1)	1,7-3,1 (2/2)	3,1 (1/1)	1,9-2,5 (2/2)	3,8 (1/1)	0,47- 0,53 (2/2)	3,4 (1/1)	0,68- 2,9 (2/2)	2,7 (1/1)	0,23- 0,80 (2/2)	2,69 (1/1)	1,78- 2,06 (2/2)	2,15 (1/1)	1,79- 2,53 (2/2)	2,11 (1/1)	1,53- 3,83 (2/2)	
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																							
$^{14}\text{C}$	217 (1/1)	290 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	215,2 (1/1)	334,2 (1/1)
$^3\text{H}$ organiquement lié	0,31 (1/1)	0,22 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,08 (1/1)	4,71 (1/1)

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

$^3\text{H}$  organiquement lié mesuré par recroissance de l'hélium 3 ( $^3\text{He}$ ) en 2011, exprimé en  $\text{Bq.kg sec}^{-1}$

Tableau 5-20. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de mousses aquatiques issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	sept. 2011		sept. 2012		sept. 2013		oct. 2014		sept. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		mai 2019		sept./oct. 2020		juil 2021		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																							
$^{134}\text{Cs}$	0,2 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{137}\text{Cs}$	2,5 (1/1)	2,0-2,9 (2/2)	1,9 (1/1)	1,2 (1/1)	1,9 (1/1)	1,6 (1/1)	1,7 (1/1)	0,8 (1/1)	1,6 (1/1)	0,9 (1/1)	2,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,8 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,697	1,01-1,07 (2/2)	
$^{58}\text{Co}$	-	0,36 (1/2)	-	0,18 (1/1)	-	-	-	0,32 (1/1)	-	-	-	0,17 (1/1)	-	1,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,12 (1/2)
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	0,15 (1/1)	-	-	-	0,19 (1/1)	-	-	-	-	-	0,34 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{54}\text{Mn}$	-	0,22 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,017 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{131}\text{I}$	130 (1/1)	4,2 (1/1)	99 (1/1)	2,6 (1/1)	17 (1/1)	6,3 (1/1)	37 (1/1)	3,9 (1/1)	23 (1/1)	9,0 (1/1)	40 (1/1)	4,6 (1/1)	38 (1/1)	4,1 (1/1)	23 (1/1)	-	32,9 (1/1)	6,7 (1/1)	1,48 (1/1)	-	12,8 (1/1)	2,9-5,2 (2/2)	
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																							
$^{14}\text{C}$	230 (1/1)	445 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ libre	0,8 (1/1)	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ organiquement lié	0,94 (1/1)	8,5 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 5-21. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de phanérogames aquatiques issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  :  $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  ;  $^{14}\text{C}$  :  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone ;  $^3\text{H}$  :  $\text{Bq.L}^{-1}$ ).

Année de prélèvement	sept. 2011		sept. 2012		sept. 2013		oct. 2014		sept./oct. 2015		sept. 2016		oct. 2017		oct. 2018		juil. 2019		sept./oct. 2020		juil 2021		
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																							
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,94 (1/1)	-	-	-	-	-	-	
$^{137}\text{Cs}$	1,8 (1/1)	0,81-1,3 (2/2)	2,2 (1/1)	0,64-1,6 (2/2)	1,5 (1/1)	0,73-1,7 (2/2)	1,1 (1/1)	0,79-1,1 (2/2)	0,55 (1/1)	1,6-1,9 (2/2)	0,53 (1/1)	1,0-1,4 (2/2)	0,62 (1/1)	0,42- 0,59 (2/2)	0,55 (1/1)	0,39- 0,68 (2/2)	0,455 (1/1)	0,250- 0,512 (2/2)	0,394 (1/1)	0,294- 0,415 (2/2)	0,388 (1/1)	0,546- 0,582 (2/2)	
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	0,86-1,4 (2/2)	-	0,22 (1/2)	-	0,21 (1/2)	-	-	-	0,13- 0,22 (2/2)	-	0,56-1,7 (2/2)	-	-	-	0,142 (1/2)	-	0,114 (1/2)	-	-	
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	0,49-1,7 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	0,13 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	0,36- 0,90 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$^{131}\text{I}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,7 (1/1)	17,4 (1/1)	
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																							
$^{14}\text{C}$	253 (1/1)	277 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	205 (1/1)	263 (1/1)	204,8 (1/1)	410,7 (1/1)	203,4 (1/1)	267,4 (1/1)	205,0 (1/1)	294,0 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	-	1,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	-	-	0,7 (1/1)	n.a.	n.a.	0,7 (1/1)	0,6 (1/1)	-	-	-	2,00 (1/1)	0,9 (1/1)	-	
$^3\text{H}$ organiquement lié	1,3 (1/1)	4,7 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	5,2 (1/1)	-	3,96 (1/1)	1,85 (1/1)	7,8 (1/1)	

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

Tableau 5-22. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$ , du  $^{14}\text{C}$ , du  $^3\text{H}$  libre et du  $^3\text{H}$  organiquement lié dans les échantillons de poissons issus de l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech de 2011 à 2021 (spectrométrie  $\gamma$  : Bq.kg<sup>-1</sup> frais ;  $^{14}\text{C}$  : Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone ;  $^3\text{H}$  : Bq.L<sup>-1</sup>).

Année de prélèvement	juin 2011		juil. et déc. 2012		oct. 2013		juil./août 2014		juil. 2015		juil./août 2016		juil./août 2017		nov. 2018		oct. 2019		oct. 2020		oct. 2021	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
<b>Emetteurs <math>\gamma</math> d'origine artificielle</b>																						
$^{134}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{137}\text{Cs}$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,018 (1/1)	-	-	0,036 (1/1)	-	-	-	0,03 (1/1)	-	-	-	-	-	-
$^{58}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{60}\text{Co}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{54}\text{Mn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Emetteurs <math>\beta</math></b>																						
$^{14}\text{C}$	229 (1/1)	388 (1/1)	232 (1/1)	362 (1/1)	362 (1/1)	507 (1/1)	221 (1/1)	227 (1/1)	224 (1/1)	313 (1/1)	235 (1/1)	686 (1/1)	224 (1/1)	661 (1/1)	221 (1/1)	799 (1/1)	219 (1/1)	1233 (1/1)	209,0 (1/1)	870,0 (1/1)	211 (1/1)	890 (1/1)
$^3\text{H}$ libre	1,0 (1/1)	11-50 (2/2)	0,74 (1/1)	-	0,68 (1/1)	0,82 (1/1)	0,81 (1/1)	-	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)	-	17 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^3\text{H}$ organiquement lié	4,8 (1/1)	6,9 (1/1)	-	4,8 (1/1)	3,6 (1/1)	4,3 (1/1)	1,3 (1/1)	-	0,8 (1/1)	-	0,8 (1/1)	7,1 (1/1)	1,2 (1/1)	5,4 (1/1)	-	5,0 (1/1)	-	15 (1/1)	1,0 (1/1)	-	2,24 (1/1)	2,72 (1/1)

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

Tableau 5-23. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Amont			Aval			Aval lointain			Emetteurs $\gamma$ d'origine naturelle				
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg <sup>-1</sup> sec (sédiments, végétaux), Bq.kg <sup>-1</sup> frais (poissons)						
							<sup>40</sup> K	Famille du <sup>232</sup> Th	Famille de <sup>238</sup> U			<sup>7</sup> Be	
									<sup>228</sup> Ac	<sup>234</sup> Th	<sup>234m</sup> Pa		<sup>210</sup> Pb
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	19/01/22	Sec	529 ± 76	45,6 ± 5,9	n.a.	32 ± 18	n.a.	13,2 ± 5,7	
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	17/08/21	Sec	583 ± 83	44,5 ± 5,8	n.a.	33 ± 17	n.a.	104 ± 12	
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/07/21	27/09/21	Lyophilisé	541 ± 78	41,8 ± 5,4	n.a.	35 ± 19	n.a.	58,3 ± 7,5	
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	26/08/21	Cendres	643 ± 92	19,3 ± 2,5	10,3 ± 1,8	n.a.	15,2 ± 3,0	38,9 ± 4,6	
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	03/09/21	Cendres	700 ± 100	12,2 ± 1,6	11,6 ± 2,5	n.a.	17,4 ± 3,3	40,8 ± 4,8	
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	26/07/21	10/09/21	Cendres	569 ± 81	13,2 ± 1,7	11,4 ± 1,8	n.a.	15,2 ± 2,9	44,4 ± 5,2	
Castelmayran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	24/09/21	Cendres	290 ± 41	57,1 ± 7,4	30,8 ± 4,5	n.a.	50,3 ± 7,3	157 ± 18	
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	20/08/21	Cendres	324 ± 46	37,6 ± 4,9	28,4 ± 4,2	n.a.	46,2 ± 7,0	240 ± 27	
Castelmayran Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	18/10/21	09/02/22	Cendres	119 ± 17	< 0,099	< 0,22	n.a.	< 0,32	< 0,76	
St-Sixte Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/10/21	07/02/22	Cendres	105 ± 15	< 0,098	< 0,20	n.a.	< 0,29	< 0,70	

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

Tableau 5-24. Activités des radionucléides émetteurs  $\gamma$  d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

			Emetteurs $\gamma$ d'origine artificielle										
			Activité Bq.kg <sup>-1</sup> sec (sédiments, végétaux), Bq.kg <sup>-1</sup> frais (poissons)										
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>58</sup> Co	<sup>60</sup> Co	<sup>110m</sup> Ag	<sup>54</sup> Mn	<sup>131</sup> I
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	19/01/22	Sec	< 0,19	<b>2,11 ± 0,27</b>	< 0,72	< 0,16	< 0,31	< 0,25	n.a.
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	17/08/21	Sec	< 0,17	<b>1,53 ± 0,19</b>	< 0,16	< 0,14	< 0,19	< 0,17	n.a.
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	26/07/21	27/09/21	Lyophilisé	< 0,20	<b>3,83 ± 0,45</b>	< 0,27	< 0,17	< 0,25	< 0,19	n.a.
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	26/08/21	Cendres	< 0,092	<b>0,388 ± 0,069</b>	< 0,11	< 0,10	< 0,11	< 0,096	n.a.
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	29/07/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<b>10,7 ± 3,0</b>
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	03/09/21	Cendres	< 0,084	<b>0,546 ± 0,081</b>	< 0,11	< 0,094	< 0,11	< 0,098	n.a.
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	30/07/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<b>17,4 ± 4,1</b>
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	26/07/21	10/09/21	Cendres	< 0,084	<b>0,582 ± 0,076</b>	< 0,11	< 0,087	< 0,10	< 0,082	n.a.
Castelmeyran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	24/09/21	Cendres	< 0,10	<b>0,697 ± 0,087</b>	< 0,13	< 0,075	< 0,12	< 0,10	n.a.
Castelmeyran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	28/07/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<b>12,8 ± 2,2</b>
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	20/08/21	Cendres	< 0,099	<b>1,07 ± 0,13</b>	<b>0,120 ± 0,033</b>	< 0,083	< 0,11	< 0,096	n.a.
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	30/07/21	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<b>5,2 ± 1,2</b>
Castelmeyran Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	18/10/21	09/02/22	Cendres	< 0,029	< 0,026	< 0,069	< 0,034	< 0,044	< 0,031	n.a.
St-Sixte Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/10/21	07/02/22	Cendres	< 0,027	< 0,024	< 0,066	< 0,031	< 0,040	< 0,029	n.a.

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

Amont		Aval		Aval lointain				<sup>127</sup> I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg <sup>-1</sup> frais	
Castelmeyran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	16/02/22	Lyophilisée	< 6,9	
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	16/02/22	Lyophilisée	< 8,9	
Barrage du passage Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	16/02/22	Lyophilisée	< 10	
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	16/02/22	Lyophilisée	< 4,8	
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	16/02/22	Lyophilisée	< 3,9	

Tableau 5-25. Teneurs en iode stable des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Amont		Aval						<sup>3</sup> H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup>	Bq.kg <sup>-1</sup> frais ou Bq/L pour les eaux	
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	20/09/21	Eau de lyophilisation	0,90 ± 0,63	0,80 ± 0,56	
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	28/09/21	Eau de lyophilisation	< 0,62	< 0,55	
Sauveterre -St-Denis	Eau	Eau de boisson	Entier	28/10/21	12/11/21	Entier	1,83 ± 0,69	-	
Caudecoste (Estubes)	Eau	Eau d'irrigation	Entier	28/10/21	12/11/21	Entier	1,12 ± 0,64	-	

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

Tableau 5-26. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

Amont		Aval								<sup>3</sup> H organiquement lié		
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L <sup>-1</sup> d'eau de combustion	Bq.kg <sup>-1</sup> frais	Bq.kg <sup>-1</sup> MO			
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	18/10/21	Lyophilisée	1,85 ± 0,70	0,091 ± 0,037	1,06 ± 0,43			
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	13/10/21	Lyophilisée	7,8 ± 1,4	0,083 ± 0,030	4,59 ± 1,06			
Castelmayran Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	18/10/21	11/03/22	Lyophilisée	2,24 ± 0,81	0,41 ± 0,15	1,66 ± 0,63			
St-Sixte Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/10/21	13/03/22	Lyophilisée	2,72 ± 0,94	0,48 ± 0,17	2,0 ± 0,71			
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	02/03/22	Sec	1,08 ± 0,65	0,35 ± 0,30	0,67 ± 0,57			
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	28/07/21	10/03/22	Lyophilisée	4,71 ± 0,96	0,139 ± 0,093	3,2 ± 2,1			

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

Tableau 5-27. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

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

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	<sup>14</sup> C		C tot g.kg <sup>-1</sup> frais	<sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C ‰	PMC %
							Bq.kg <sup>-1</sup> de C	Bq.kg <sup>-1</sup> frais			
Malause Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	29/03/22	Lyophilisée	205,0 ± 0,8	7,101 ± 0,028	35	-20,85	90
Laspeyres Rive droite	Phanérogame immergée	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i>	Entier	28/07/21	28/04/22	Lyophilisée	294,0 ± 1,3	10,78 ± 0,05	37	-23,22	130
Castelmeyran Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	18/10/21	18/05/22	Lyophilisée	211 ± 7	32,68 ± 1,08	155	-24,07	93
St-Sixte Rives gauche et droite	Poisson	Carpe commune <i>Cyprinus carpio</i>	Muscle	19/10/21	20/05/22	Lyophilisée	890 ± 21	129,13 ± 3,05	145	-26,03	395
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	03/11/22	Sèche	215,2 ± 0,8	4,191 ± 0,016	19	-22,15	95
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	28/04/22	Sèche	334,2 ± 1,3	7,75 ± 0,03	23	-19,92	146
Castelmeyran Rives gauche et droite	Eau	Eau de rivière	Entier	28/07/21	Dec 22	Liquide	205,8 ± 1,0	0,005 ± 0,000	0,022	-20,85	90
St-Sixte Rives gauche et droite	Eau	Eau de rivière	Entier	27/10/21	Dec 22	Liquide	211,2 ± 0,8	0,00 ± 0,00	0,022	-18,58	92

Tableau 5-28. Activités du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

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

							<sup>63</sup> Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Castelmayran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	08/03/22	Cendres	< 0,97
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	08/03/22	Cendres	< 1,3
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	08/09/22	Cendres	< 0,69
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	08/09/22	Cendres	< 1,6

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

Tableau 5-29. Activités du nickel 63 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

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

							<sup>55</sup> Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg <sup>-1</sup> sec
Castelmayran Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	27/07/21	19/04/22	Cendres	< 27,8
St-Sixte Rive gauche	Mousse aquatique	Mousse aquatique <i>Fontinalis antipyretica</i>	Entier	29/07/21	01/03/22	Cendres	< 3,8
Malause Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	19/04/22	Cendres	< 7,5
Laspeyres Rive droite	Sédiment	Sédiment	Entier	28/07/21	27/02/22	Cendres	< 15

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

Tableau 5-30. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021.

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

Station	Nature	Date de prélèvement	Date de mesure	Analyses	%
Malause Rive droite	Sédiment	28/07/21	17/12/21	<b>Granulométrie 5 fractions</b>	
				Argile	3,6
				Limons fins	32,7
				Limons grossiers	33,3
				Sables fins	22,6
				Sables grossiers	7,8
<b>Teneur en matières organiques</b>	6,7				
Laspeyres Rive droite	Sédiment	28/07/21	17/12/21	<b>Granulométrie 5 fractions</b>	
				Argile	3,4
				Limons fins	30,5
				Limons grossiers	23,0
				Sables fins	25,1
				Sables grossiers	18,1
<b>Teneur en matières organiques</b>	5,9				
St-Pierre-de-Gaubert Rive droite	Sédiment	26/07/21	17/12/21	<b>Granulométrie 5 fractions</b>	
				Argile	9,8
				Limons fins	59,1
				Limons grossiers	21,4
				Sables fins	6,8
				Sables grossiers	3,0
<b>Teneur en matières organiques</b>	6,7				

Tableau 5-31. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. de Golfech lors du suivi radioécologique de 2021. Les analyses ont été faites suivant la méthode de diffraction laser.

## Bibliographie

- [1] Electricité de France. Site internet : <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-golfech>.
- [2] EDF. Dossier de presse. La centrale nucléaire de Golfech, une production d'électricité au cœur de la région Midi-Pyrénées. <http://energies.edf.com/golfech>. Janvier 2012.
- [3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2020, 408 p., 2021.
- [4] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEI/2011-01. Février 2012.
- [5] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [6] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>.



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

- Année 2021 -

Bassin de la Garonne

**Golfech**  
**Blayais**



## 7 Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Garonne

Le suivi radioécologique des C.N.P.E. français a pour but de quantifier et de distinguer la radioactivité liée aux rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides de ces installations nucléaires de la radioactivité naturelle locale et de celle liée aux apports exogènes (essais aériens nucléaires, accidents de Tchernobyl et de Fukushima, rejets de centres hospitaliers...). Ces études consistent donc à suivre l'incidence spatiale et temporelle du fonctionnement normal des C.N.P.E. en déterminant des variations de radioactivité en termes de qualité (radionucléides détectés) et de quantité (niveaux d'activité) dans l'environnement des installations considérées.

Dans ce but, il s'agit de choisir des stations de prélèvement et des matrices permettant de détecter et de distinguer ces différentes contributions. En l'occurrence, dans le milieu terrestre, les prélèvements s'orientent principalement vers des bryophytes (mousses), des productions agricoles (asperges/choux), des sols, des herbes de prairie et du lait. Dans le milieu aquatique, les échantillons prélevés sont des sédiments, des végétaux aquatiques, des poissons, de l'eau de boisson et de l'eau d'irrigation. Les campagnes de prélèvements se sont déroulées d'avril à novembre 2021.

Dans toutes les matrices prélevées, hormis les eaux de boisson et d'irrigation, les analyses portent sur la mesure des radionucléides quantifiables par spectrométrie gamma ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{131}\text{I}$ ...) et, depuis 2000, la détermination du tritium libre dans le lait et les eaux. Depuis 2009, le programme d'analyses du suivi radioécologique annuel intègre des mesures de tritium organiquement lié (lait sous les vents dominants et poissons) et de carbone 14 (herbe de pâturage sous les vents dominants et poissons). Depuis 2015, des analyses réglementaires de tritium (libre et organiquement lié) et de carbone 14, publiées dans la décision ASN n°2013-DC-0360 modifiée par la décision ASN n°2016-DC-0569 (« Décision environnement »), ont été intégrées au suivi radioécologique annuel. Cette évolution se traduit, suivant le C.N.P.E. considéré, par la réalisation dans le milieu terrestre de mesures de  $^{14}\text{C}$  dans les salades/asperges/choux (ZHV et/ou ZSV), les herbes (ZHV) et les laits (ZHV), de mesures de l'activité du tritium libre dans les salades/asperges/choux et les herbes de pâturage récoltées sous les vents dominants ainsi que les laits (ZHV) et de mesures de tritium organiquement lié dans les salades/asperges/choux prélevées sous les vents dominants. Dans le milieu aquatique, le tritium libre est également mesuré dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval.

Les paragraphes suivant décrivent les résultats de mesure de la radioactivité artificielle, du tritium et du carbone 14 obtenus en 2021 dans les milieux terrestre et aquatique de l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

### 7.1 Radioécologie du milieu terrestre en 2021

La Figure 7-1 (page 154) présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés en 2021 dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Les activités sont exprimées en  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{sec}$  pour les sols et les végétaux (mousses, asperges, herbes...) et en  $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$  pour les laits. Les données sont représentées en fonction des stations de prélèvements, hors des vents dominants ou sous les vents dominants.

En 2021, la radioactivité d'origine artificielle dans le milieu terrestre est due à la présence de  $^{137}\text{Cs}$  dans les sols non cultivés prélevés sous les vents dominants dans l'environnement proche des deux C.N.P.E. et dans la mousse terrestre sous les vents dominants pour le C.N.P.E. de Blayais. Il est donc observé dans 3 des 11 échantillons prélevés (27%). Les niveaux d'activité sont comparables à ceux observés lors des études antérieures. Ces observations indiquent que la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$  en 2021 provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

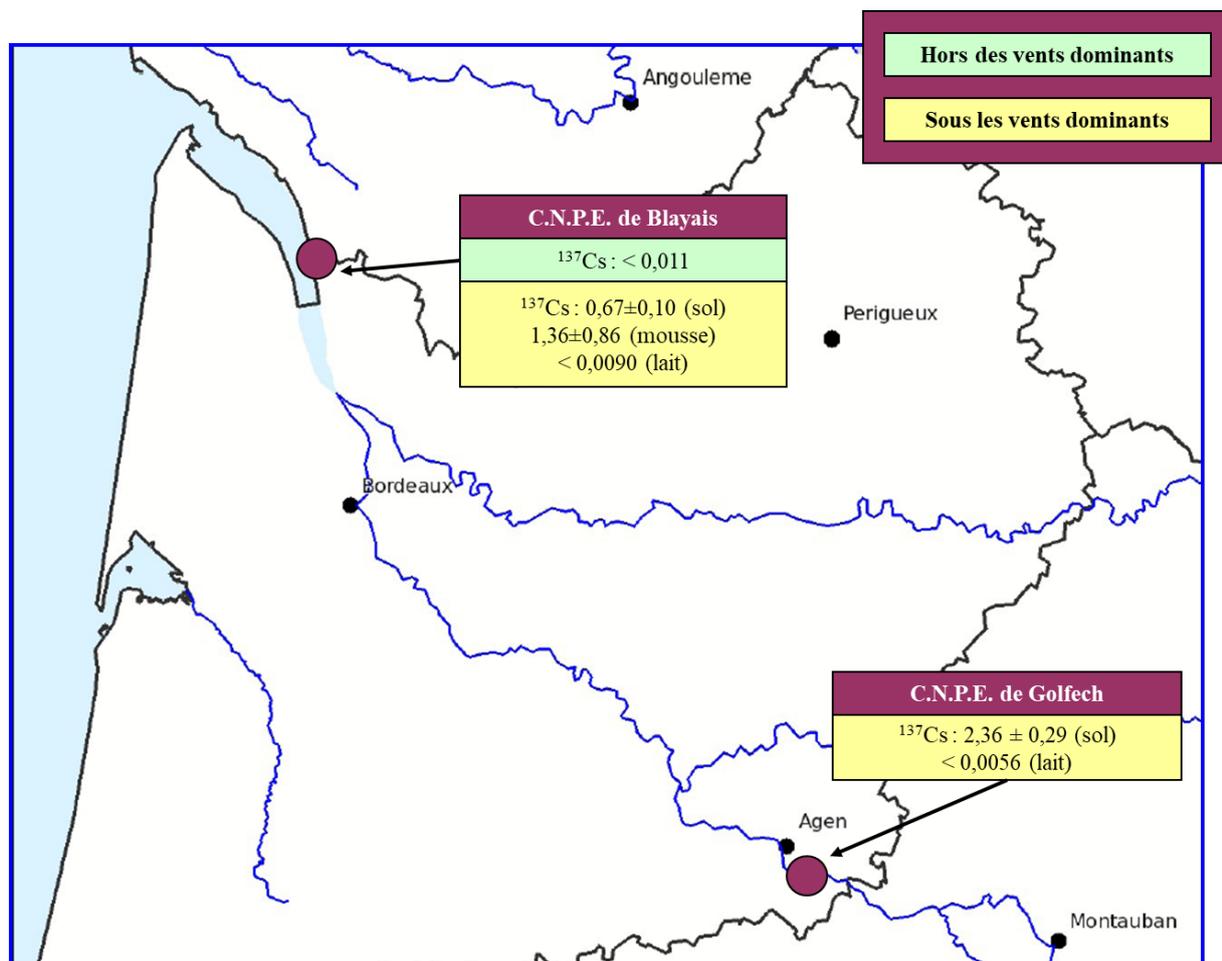


Figure 7-1. Synthèse des activités des radionucléides artificiels des échantillons prélevés en 2021 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

En 2021, les mesures de tritium (libre et organiquement lié) effectuées sont inférieures aux seuils de décision ou inférieures au bruit de fond ambiant hors influence industriel ( $< 2 \text{ Bq.L}^{-1}$ ). Ces activités sont conformes aux valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local [1,2].

La Figure 7-2 (page 155) présente les activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées de 2011 à 2021 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne dans les herbes de pâturage prélevées au niveau des stations situées sous les vents dominants. Les activités sont exprimées en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone.

De 2011 à 2021, les activités de  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les herbes de pâturage sont ponctuellement supérieures de quelques becquerels par kg de carbone au bruit de fond ambiant hors influence industrielle qui a diminué progressivement sur la période, de  $234 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone en 2011 à une valeur de  $223 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$  de carbone en 2021 [1] (Bandeau vert sur la Figure 7-2). Les résultats obtenus lors des bilans décennaux des C.N.P.E. du Blayais de 2002 et 2013, et du C.N.P.E. de Golfech de 2000 et 2011 étaient cohérents avec ce constat.

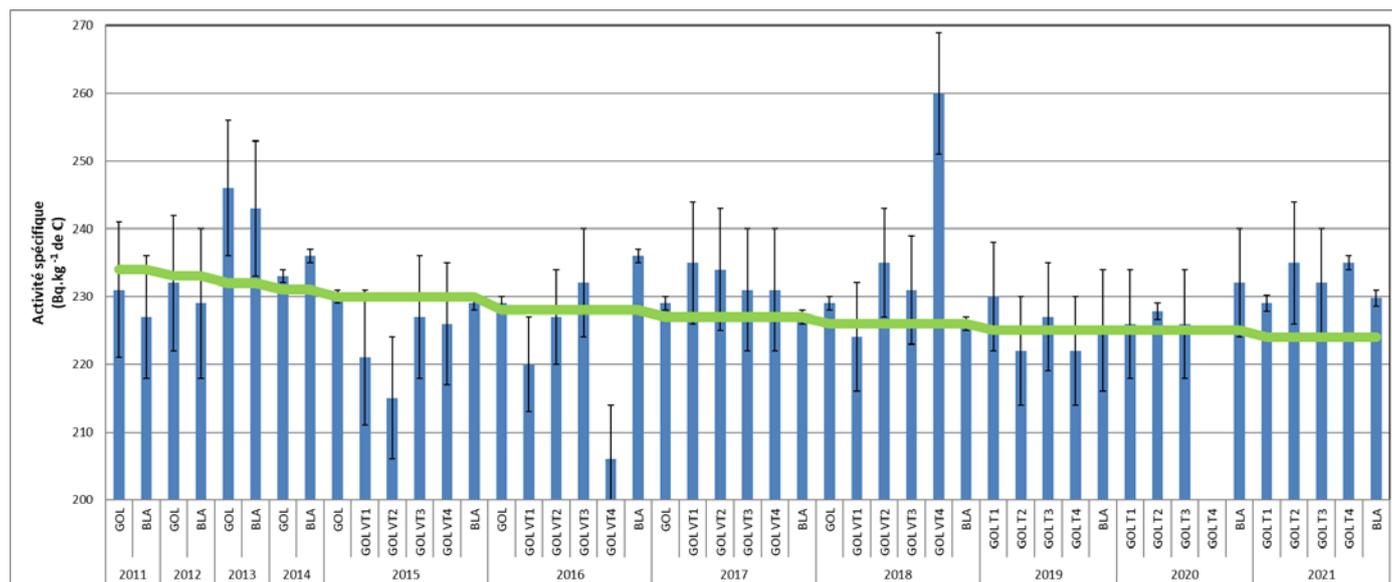


Figure 7-2. Activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les herbes de pâturage prélevées dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Le bandeau vert représente le bruit de fond ambiant hors influence industrielle [1].

NB : Les données de  $^{14}\text{C}$  à Golfech de 2019 à 2020 sont les valeurs trimestrielles, celles de 2021 sont des valeurs trimestrielles et annuelles. Depuis 2018, les données de  $^{14}\text{C}$  à Blayais sont données hors vent.

## 7.2 Radioécologie du milieu aquatique en 2021

La Figure 7-3 (page 156), la Figure 7-4 (page 157) et la Figure 7-5 (page 158) présentent respectivement les activités des radionucléides artificiels, du  $^3\text{H}$  (libre et/ou organiquement lié) et/ou du  $^{14}\text{C}$  mesurées dans les sédiments, dans les végétaux aquatiques et dans la faune aquatique (poissons) prélevées en 2021 sur les stations étudiées, proches des C.N.P.E. de Golfech et Blayais. Les activités mesurées par spectrométrie gamma sont exprimées en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec (sédiments, végétaux) et  $\text{Bq.kg}^{-1}$  frais (poissons), le  $^3\text{H}$  libre en  $\text{Bq.L}^{-1}$  d'eau de lyophilisation, le  $^3\text{H}$  organiquement lié en  $\text{Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion et le  $^{14}\text{C}$  en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone. Elles sont représentées en fonction des stations de prélèvements : estuaire fluvial, estuaire amont et estuaire aval pour le C.N.P.E. du Blayais et amont, aval et aval lointain pour le C.N.P.E. de Golfech.

En 2021, le milieu aquatique présente des activités en  $^{137}\text{Cs}$  dans l'environnement des C.N.P.E. de Golfech et Blayais, ainsi que des activités en  $^{58}\text{Co}$  et en  $^{131}\text{I}$  uniquement à l'aval du C.N.P.E de Golfech.

Le  $^{137}\text{Cs}$  est détecté dans les échantillons de sédiments (7/7) et de végétaux aquatiques (10/10) analysés en 2021 dans l'environnement proche des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Les activités mesurées en  $^{137}\text{Cs}$  ne permettent pas d'établir de corrélation avec la présence des C.N.P.E. de Golfech et du Blayais. Comme dans le milieu terrestre, la présence de traces de  $^{137}\text{Cs}$  dans les sédiments et les végétaux aquatiques est liée en 2021 principalement aux retombées des anciens essais nucléaires militaires aériens et à celles de l'accident de Tchernobyl de 1986.

Il a été établi que l' $^{131}\text{I}$  détecté en amont et en aval de Golfech est lié à des activités de médecine nucléaire pratiquées notamment au niveau de l'agglomération toulousaine.

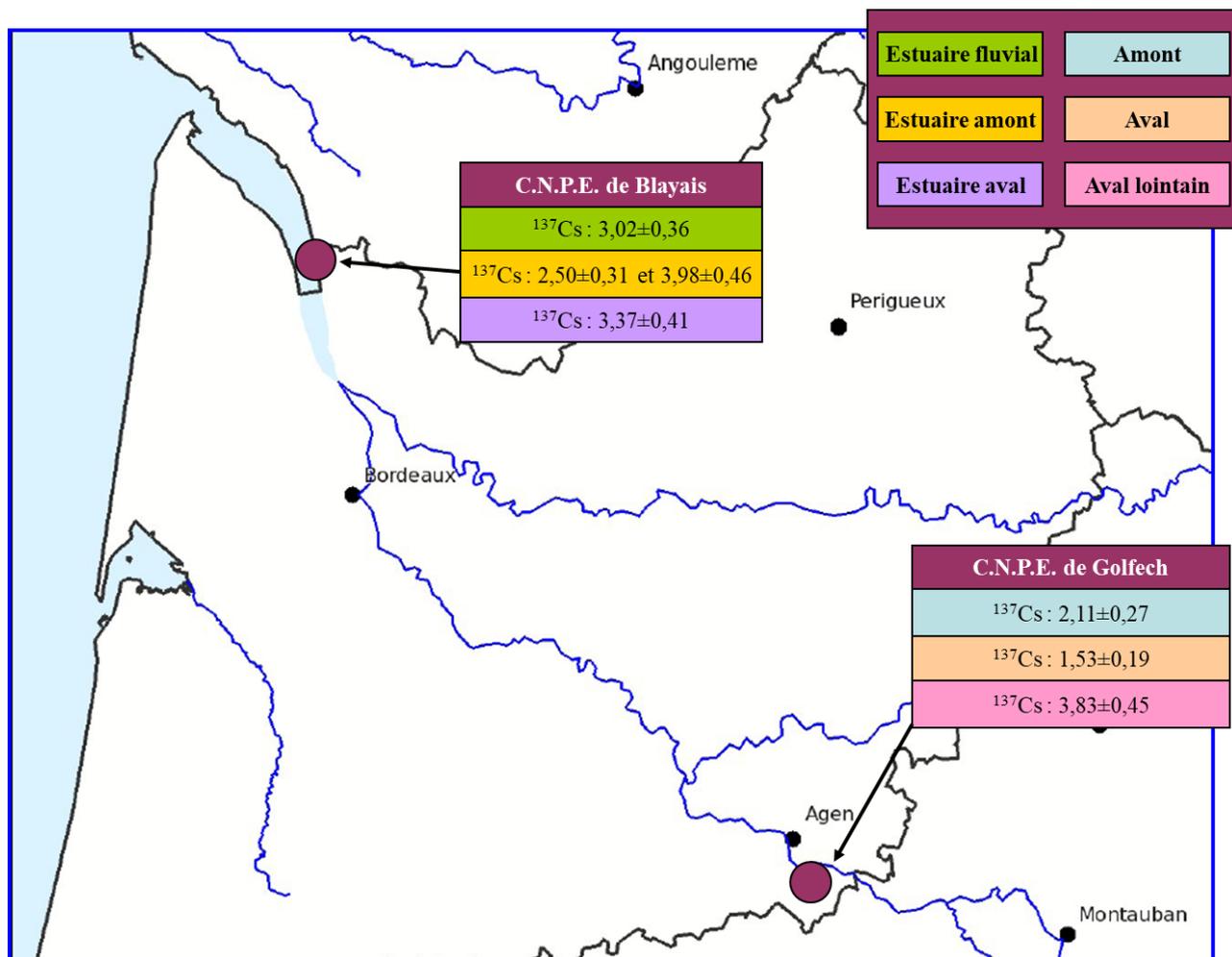


Figure 7-3. Synthèse des activités des radionucléides artificiels dans les sédiments prélevés en 2021 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

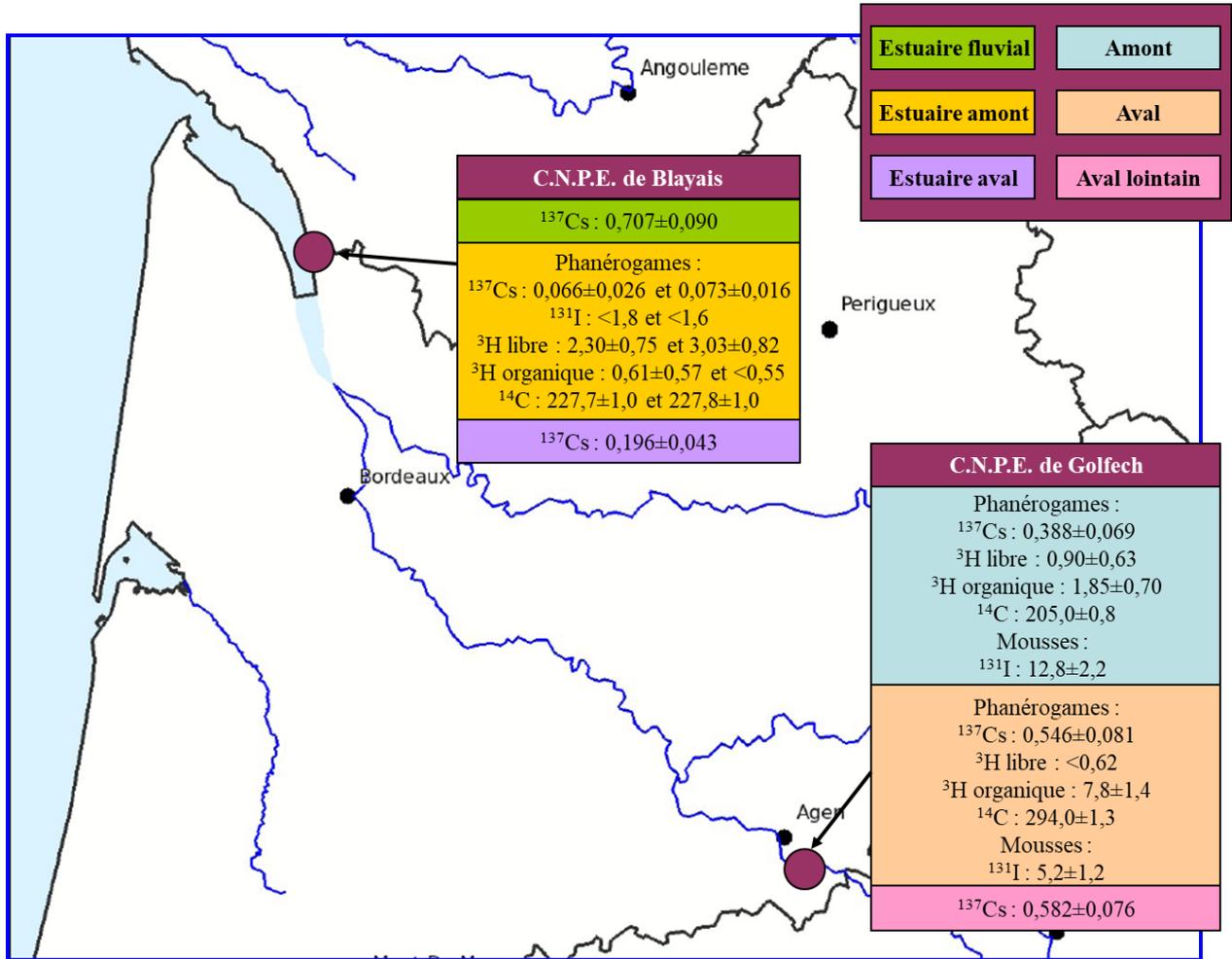


Figure 7-4. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du  $^{14}\text{C}$  et du  $^3\text{H}$  détectés dans les végétaux aquatiques prélevés en 2021 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

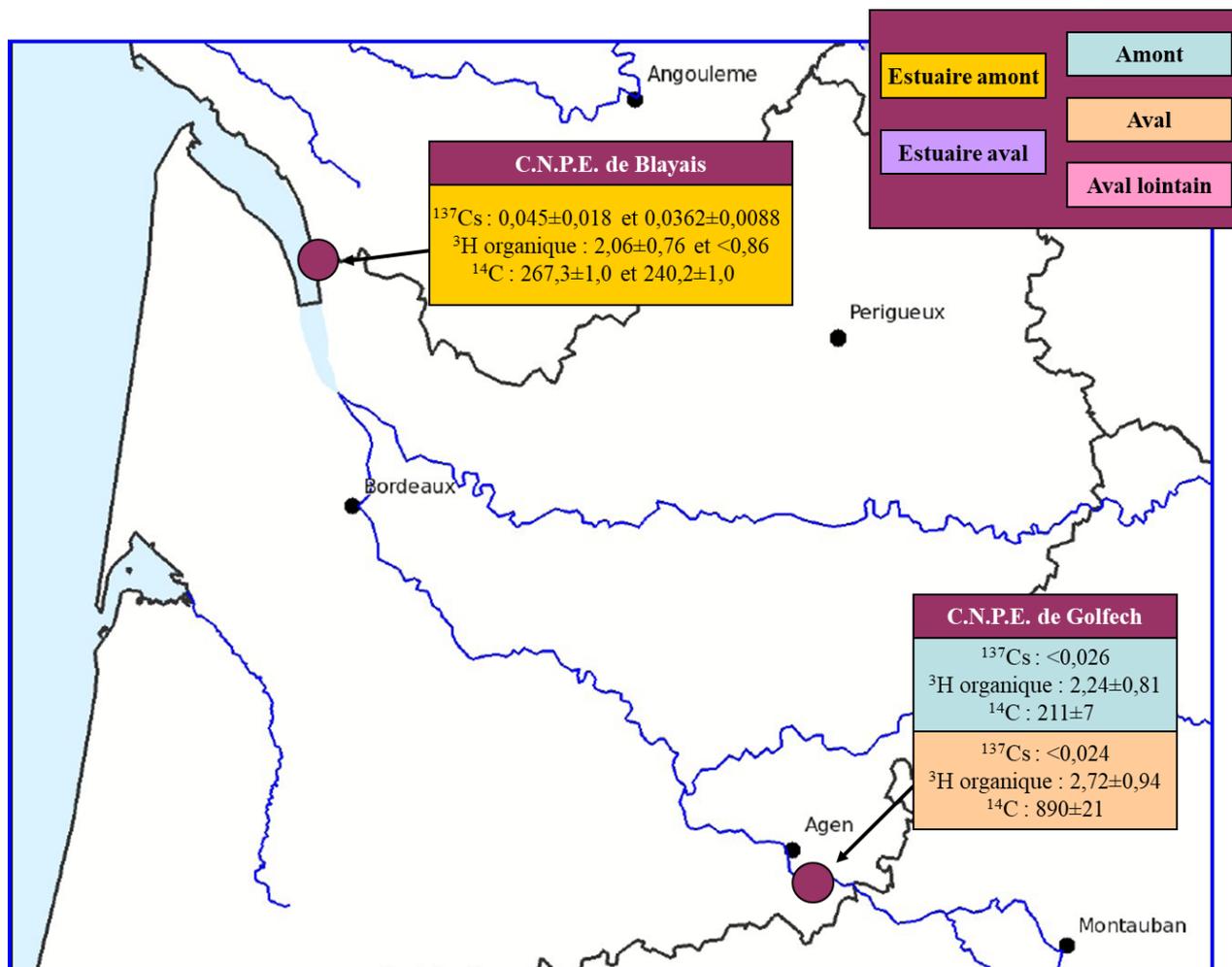


Figure 7-5. Synthèse des activités des radionucléides artificiels (en Bq.kg<sup>-1</sup> frais), du tritium organiquement lié (en Bq.L<sup>-1</sup> d'eau de combustion) et du carbone 14 (en Bq.kg<sup>-1</sup> de carbone) détectés dans les poissons prélevés en 2021 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

En 2021, le  $^{137}\text{Cs}$  est détecté dans 2 des 4 échantillons de la faune aquatique uniquement dans l'estuaire amont sous influence potentielle des rejets liquides du C.N.P.E. du Blayais. Aucun autre radionucléide d'origine artificielle n'est détecté dans ces échantillons. La présence de ces traces de  $^{137}\text{Cs}$  est liée principalement aux retombées des anciens essais nucléaires militaires aériens et à celles de l'accident de Tchernobyl.

Le  $^3\text{H}$  libre a été mesuré dans les poissons à l'occasion des bilans décennaux de Golfech en 2000 et 2011, et Blayais en 2002 et 2013, ainsi que lors de suivis annuels de 2007 à 2017. Il n'est plus mesuré depuis 2018 pour les 2 C.N.P.E. Des analyses de  $^3\text{H}$  organiquement lié sont intégrées au suivi radioécologique annuel depuis 2009. La Figure 7-6 (page 160) et la Figure 7-7 (page 161) présentent respectivement les activités du tritium libre et/ou du tritium organiquement lié mesurées dans les chairs de poissons pêchés dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

Le tritium possède une double origine à la fois naturelle et artificielle. A l'aval du C.N.P.E. de Golfech et dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais, les analyses de  $^3\text{H}$  libre dans le milieu aquatique révèlent depuis 2010 des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle à l'exception des activités proches de  $11\text{-}50 \text{ Bq.L}^{-1}$  mesurées dans les poissons pêchés à l'aval lointain du C.N.P.E. de Golfech en 2011 et 2016 (Figure 7-6, page 160) ainsi que dans les crevettes (ou autres mollusque et crustacés) en 2011 et 2017 pêchés dans l'estuaire amont sous l'influence potentielle des rejets du C.N.P.E. de Blayais. La détection de  $^3\text{H}$  libre dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets d'effluents des C.N.P.E. et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du  $^3\text{H}$  au sein de ces milieux récepteurs [2]. Dans le cas du C.N.P.E. du Blayais, le positionnement des deux stations de prélèvement dans l'estuaire amont dans la zone de brassage des eaux par la marée explique les valeurs équivalentes mesurées dans les deux échantillons.

Les mesures de tritium libre effectuées en 2021 dans les eaux prélevées à proximité de Blayais sont inférieures aux seuils de décision, tandis que celles prélevées près de Golfech présentent une activité proche de  $1\text{-}2 \text{ Bq.L}^{-1}$ . Ces activités sont conformes aux valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local [1]. En 2015 et 2017, les activités détectées dans l'eau de boisson prélevée à Sauveterre-Saint-Denis, pompée directement dans la Garonne, était probablement liée à la simultanéité du prélèvement avec les rejets d'effluents réalisés par le C.N.P.E. de Golfech. Pour rappel, la valeur-guide dans l'eau potable recommandée par l'OMS est de  $10000 \text{ Bq.L}^{-1}$ . La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de  $100 \text{ Bq.L}^{-1}$ , au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

Les analyses de  $^3\text{H}$  organiquement lié sont réalisées depuis 2009 sur les poissons pêchés dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne (Figure 7-7, page 161). Sur la période 2011-2021, les activités du  $^3\text{H}$  organiquement lié détectées à l'aval du C.N.P.E. de Golfech et dans l'estuaire amont de la Gironde à proximité du C.N.P.E. du Blayais varient de  $1$  à  $15 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion. Les résultats obtenus en 2021 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat. En 2021, les activités du  $^3\text{H}$  (libre et organiquement lié) demeurent dans la variabilité environnementale. Cependant, une activité TOL, supérieure au bruit de fond hors influence, a régulièrement été mesurée dans les poissons pêchés à l'aval du C.N.P.E. de Golfech en 2010, 2011, 2016, 2017, 2018 et 2019.

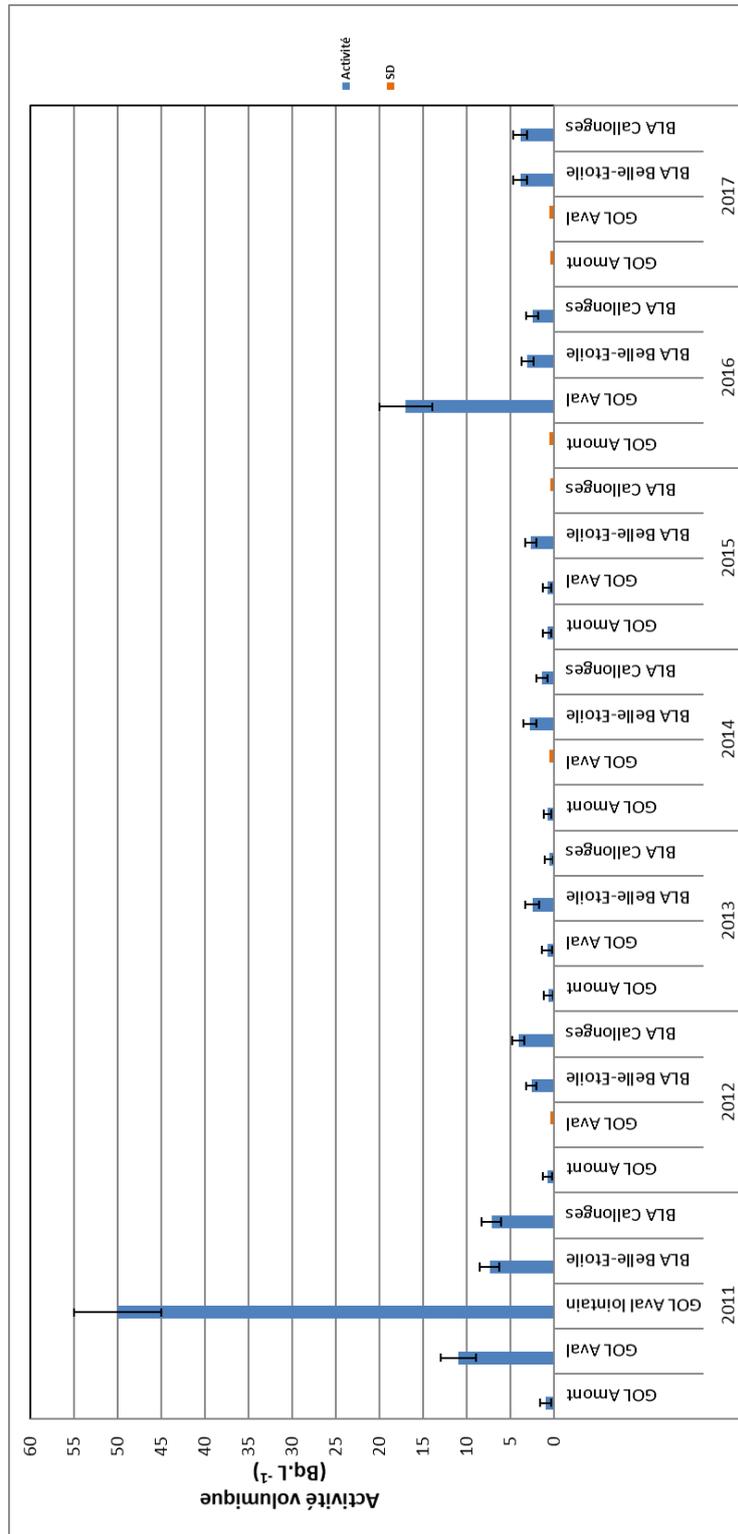


Figure 7-6. Activités volumiques du <sup>3</sup>H libre mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

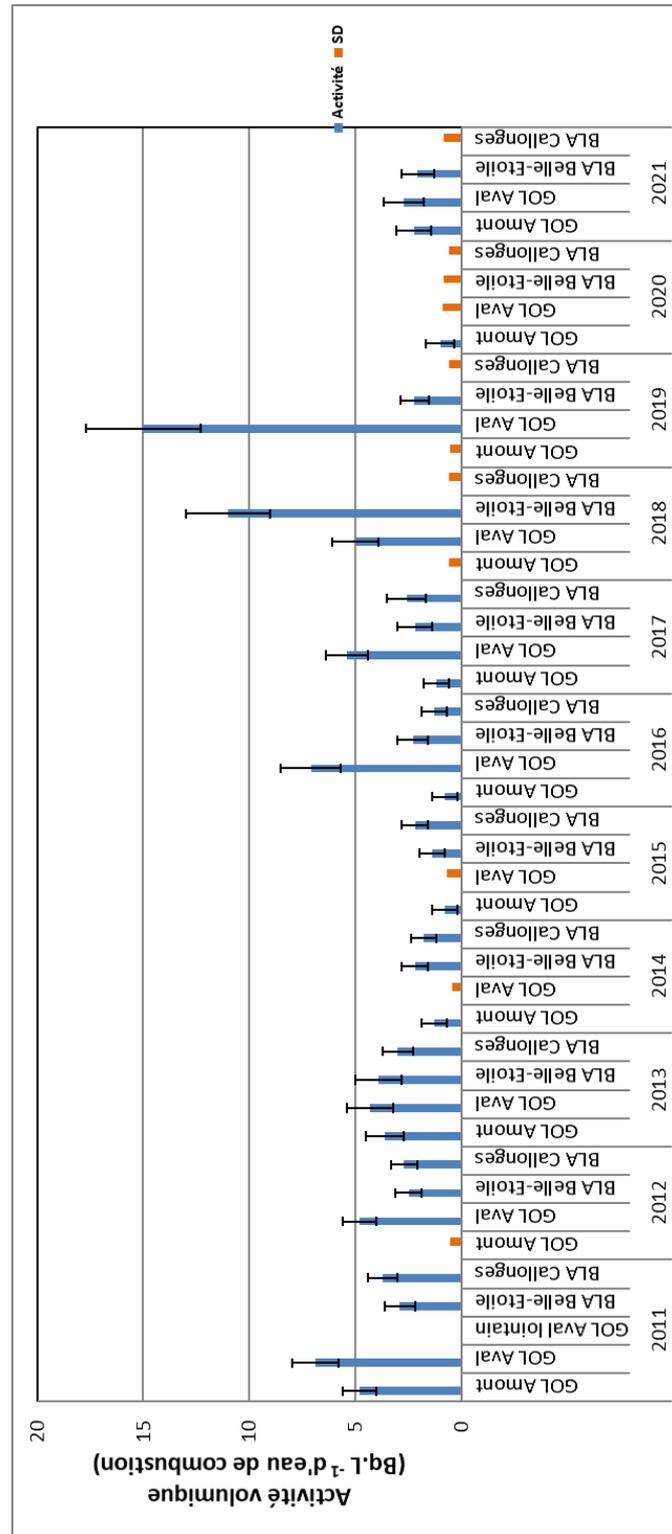


Figure 7-7. Activités volumiques du <sup>3</sup>H organiquement lié mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

Depuis 2007 pour le C.N.P.E. de Blayais et 2009 pour le C.N.P.E. de Golfech, les activités spécifiques en  $^{14}\text{C}$  sont mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des deux C.N.P.E. implantés dans le bassin de la Garonne (Figure 7-8, page 163). Le  $^{14}\text{C}$  possède une double origine à la fois naturelle et artificielle. En tête du bassin de la Garonne, à l'amont du C.N.P.E. de Golfech, les analyses révèlent des activités cohérentes aux incertitudes de mesures près avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle, de l'ordre de 200-220  $\text{Bq.kg}^{-1}$  de carbone [1] (Figure 7-8, page 163), à l'exception de l'activité plus élevée mesurée en 2013. Il est probable que les poissons aient passé une partie de leur vie à l'aval du C.N.P.E. Les activités mesurées à l'aval du C.N.P.E. de Golfech entre 2011 et 2021 sont systématiquement supérieures à l'exception de 2014. Les résultats d'analyse en  $^{14}\text{C}$  sur les prélèvements aquatiques effectués en 2021 confirment ce constat. Les analyses de  $^{14}\text{C}$  montrent depuis 2010 des activités supérieures à l'activité ambiante hors influence industrielle dans les deux lots de poissons analysés annuellement prélevés dans l'estuaire amont sous influence potentielle des rejets liquides du C.N.P.E. de Blayais. Le positionnement des deux stations de prélèvement dans l'estuaire amont dans la zone de brassage des eaux par la marée explique les valeurs équivalentes mesurées chaque année dans les deux échantillons. L'ensemble de ces résultats est cohérent avec les constats des études radioécologiques décennales. Ils témoignent de l'influence des rejets d'effluents liquides en  $^{14}\text{C}$  des C.N.P.E. du bassin de la Garonne sur le milieu aquatique environnant.

Enfin, les analyses de  $^{63}\text{Ni}$  et de  $^{55}\text{Fe}$  dans les sédiments et/ou les végétaux aquatiques effectuées en 2021 montrent des activités inférieures aux seuils de décision.

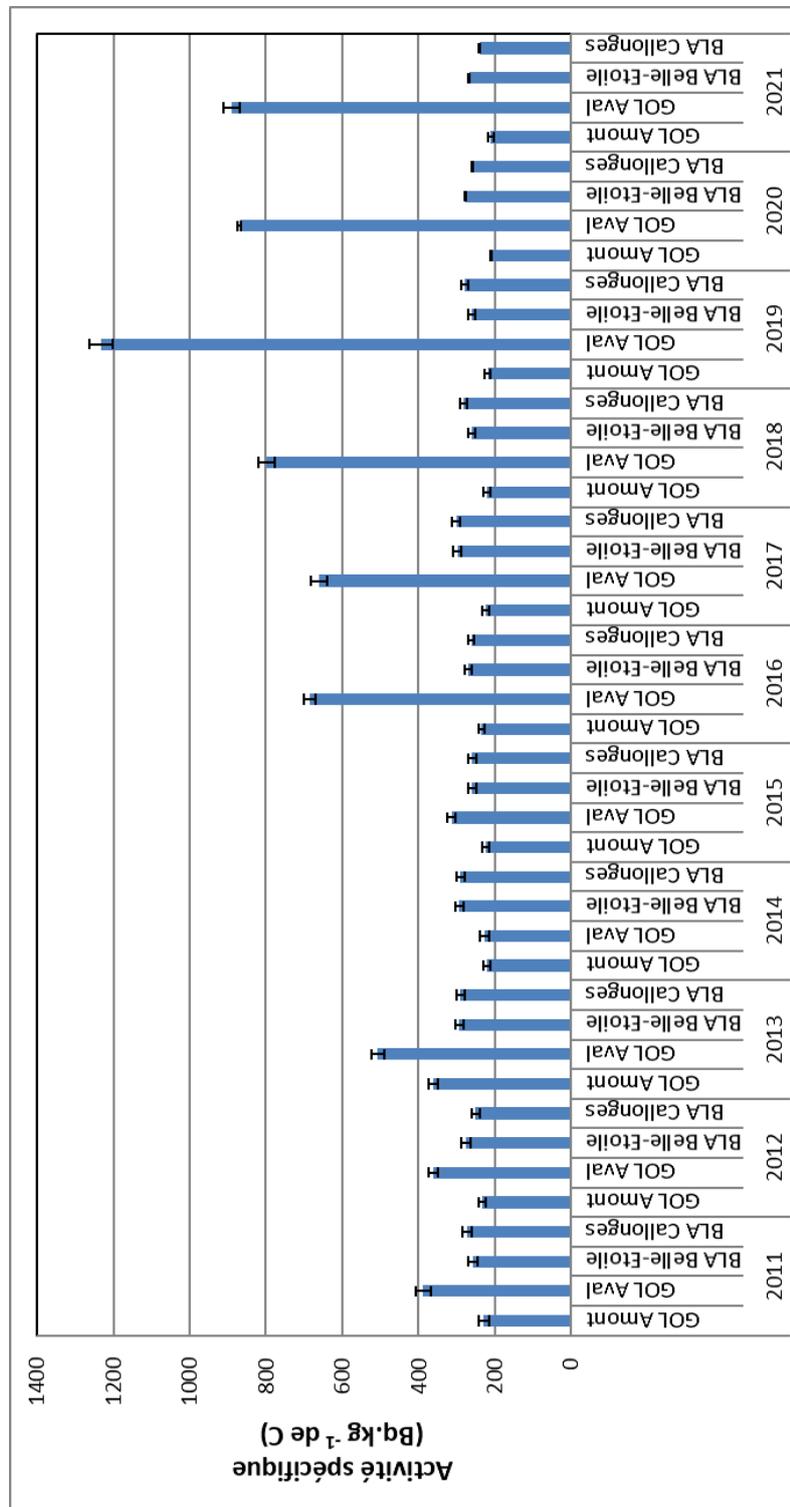


Figure 7-8. Activités spécifiques en <sup>14</sup>C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.



## **Bibliographie**

- [1] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport de mission 2020, 408 p., 2021.
- [2] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.



## 8. Annexes

### 8.1. Choix des stations de prélèvements

D'une manière générale, dans l'écosystème terrestre, l'étude porte sur une zone comprise dans un rayon de 1 à 30 km autour de l'installation. Dans cette zone, le choix des stations est effectué à partir de la rose des vents locale pour le C.N.P.E. de Golfech et en fonction de la distance au site pour le C.N.P.E. du Blayais, la rose des vents y étant quasi-isotrope. Les secteurs sous les vents dominants définissent les zones de prélèvement potentiellement influencées (ZSV) par les effluents atmosphériques du C.N.P.E. et les secteurs non exposés aux vents dominants constituent les zones de référence non influencées (ZHV).

Dans l'écosystème aquatique, une démarche similaire conduit à définir les zones de prélèvements en fonction de la dispersion des effluents liquides qui dépend de plusieurs paramètres dont les conditions de débit (cru, étiage), la distance à l'ouvrage de rejet, les arrivées d'affluents, les échanges éventuels avec la nappe phréatique ou encore la qualité physico-chimique de l'eau. Pour le C.N.P.E. de Golfech, trois zones de prélèvements sont ainsi définies : l'amont de l'installation, l'aval proche de l'ouvrage de rejet et l'aval lointain de l'installation. La localisation précise des stations de prélèvements situées à l'aval de l'installation est déterminée préférentiellement par rapport à la zone de mélange complet des effluents qui se situe à l'endroit où l'effluent est réparti uniformément dans la section du cours d'eau. En revanche, le positionnement en estuaire du C.N.P.E. du Blayais ne permet pas, contrairement aux installations situées en milieu fluvial, de définir de notion d'amont ou d'aval vis-à-vis des rejets d'effluents du C.N.P.E. En effet, ils sont réalisés dans la zone de brassage des eaux par la marée. Dans ce contexte, les zones de prélèvements sont définies sur la base des unités morphologiques de l'estuaire de la Gironde. Une description de ces zones est présentée dans le chapitre consacré au C.N.P.E. du Blayais.

### 8.2. Choix des matrices prélevées

Dans le cadre du suivi radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique des C.N.P.E. français, le choix des indicateurs physiques et/ou biologiques doit permettre d'évaluer l'impact des rejets d'effluents sur l'environnement et sur la population. En l'occurrence, l'échantillonnage concerne les milieux d'accumulation (sols et sédiments), des bio-indicateurs (mousses, lichens, champignons, organismes filtreurs...) ainsi que des produits alimentaires et l'eau potable.

Pour les bioindicateurs, animal ou végétal, le choix se porte sur des échantillons disponibles dans la zone géographique considérée et en quantité suffisante au cours du temps. Il s'agit d'indicateurs constitués d'une espèce végétale, fongique ou animale ou d'un groupe d'espèces ou groupement végétal dont la présence (ou l'état) renseigne sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement (physico-chimiques, microclimatiques, biologiques et fonctionnelle) ou sur l'incidence de certaines pratiques.

Les niveaux de radioactivité du milieu terrestre sont généralement caractérisés à l'aide de bryophytes (mousses), de lichens, de champignons et de végétaux herbacés (pâtures, prairies...). En particulier, les mousses sont souvent utilisées comme indicateurs des dépôts de particules atmosphériques. Ces bioindicateurs n'ont ni appareil conducteur développé ni racine et l'apport atmosphérique est donc la source principale en eau, nutriments et contaminants. Des prélèvements de productions agricoles (salades, asperges...), d'herbe de pâture et de lait permettent d'évaluer les transferts de radionucléides à la chaîne alimentaire. Les salades figurent parmi les matrices les plus sensibles aux dépôts atmosphériques. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés également par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif ainsi que ceux incorporés par voie racinaire. Dans le cas où les animaux sont nourris pour partie avec ces fourrages locaux, le lait est un indicateur qui possède une représentativité spatiale étendue (surface sur laquelle les fourrages ont été produits). Les prélèvements de sols (sols de productions agricoles, sols de prairie...) fournissent des indications sur les milieux d'accumulation, l'historique des apports anciens et des données pour l'analyse des phénomènes de transfert des sols aux plantes. Enfin, les natures ou espèces d'échantillons prélevés sur les zones hors vents (ZHV) et sous les vents dominants (ZSV) par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques sont, dans la mesure du possible, identiques.

Dans le milieu aquatique, le choix des bioindicateurs s'oriente également sur les bryophytes ( $^{131}\text{I}$ , radioisotopes du césium, du cobalt,  $^3\text{H}$ ), sur des phanérogames semi-aquatiques de type scirpe, roseau, baldingère ou carex, et sur des phanérogames immergées comme les myriophylles, les cératophylles (cobalt, césium) et les renoncules. De même que les bryophytes terrestres, les bryophytes aquatiques présentent une grande surface d'échange avec le milieu ambiant. Dans les phanérogames, les analyses sont représentatives des niveaux d'activité dans l'eau au cours des semaines précédant le prélèvement. Des prélèvements d'eaux (eaux potables, eaux d'irrigation et eaux de rivière) sont également effectués. De façon identique aux sols dans le milieu terrestre, les prélèvements de sédiments sont représentatifs des milieux d'accumulation. Ils intègrent les dernières phases de dépôt du milieu aquatique et ils sont représentatifs des derniers mois. Les poissons sont également retenus comme des bioindicateurs des niveaux de radioactivité du milieu aquatique (radioisotopes du césium, du strontium,  $^{14}\text{C}$ ). Il est préférable de choisir des espèces sédentaires afin de distinguer, si possible, l'amont de l'aval de l'installation, de tenir compte de leur régime alimentaire (herbivore, carnivore...) et de s'orienter, éventuellement, sur le prélèvement de certaines espèces de poissons consommées localement. Les analyses témoignent des radionucléides assimilés par ces organismes au cours de leur vie. De façon identique aux prélèvements réalisés dans le milieu terrestre, les espèces des échantillons prélevés en amont et en aval sont, si possible, identiques.

### 8.3. Choix des analyses

Le choix des analyses à effectuer est guidé par les radionucléides recherchés, qui relèvent à la fois des éléments radioactifs naturellement présents dans l'environnement et des radionucléides artificiels rejetés par les C.N.P.E. d'EDF ou issus d'autres activités industrielles ou médicales.

Dans le cadre des suivis radioécologiques annuels, les analyses portent sur la mesure des radionucléides quantifiables par spectrométrie gamma ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{228}\text{Ac}$ ,  $^{234}\text{Th}/^{234\text{m}}\text{Pa}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$  pour les naturels et  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  et  $^{131}\text{I}$  pour les artificiels) et la détermination du tritium et du  $^{14}\text{C}$  sur certains compartiments de l'environnement. Les périodes physiques de ces radionucléides sont fournies dans le Tableau 8-1 (page 1699). Parmi les émetteurs gamma, l' $^{131}\text{I}$  est spécifiquement recherché dans les milieux terrestre et aquatique depuis 1997 ; il s'agit d'un élément volatil de courte période (8,02 jours) qui nécessite donc des modalités de mesures propres. Le tritium est quantifié depuis 2000 dans le lait et l'eau de boisson, certains végétaux aquatiques jusqu'en 2007 puis les poissons depuis 2009.

Depuis 2009, le programme d'analyses du suivi radioécologique annuel a été élargi aux mesures de tritium organiquement lié et de carbone 14. Cette évolution se traduit par la réalisation dans le milieu terrestre d'une mesure de  $^{14}\text{C}$  sur l'herbe récoltée sous les vents dominants et d'une mesure de l'activité du tritium organique sur le lait collecté dans l'exploitation agricole située sous les vents dominants. Dans le milieu aquatique, ces deux types de mesure portent sur les poissons pêchés à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. Les mesures de tritium organiquement lié sont ciblées sur les échantillons sur lesquels sont déjà menées des analyses de tritium libre. Depuis 2015, des analyses réglementaires de tritium (libre et organiquement lié) et de carbone 14, publiées dans la décision ASN n°2013-DC-0360 (« Décision environnement »), ont été intégrées au suivi radioécologique annuel.

L'ensemble des analyses est réalisé à bas seuil afin d'atteindre des limites de détection de l'ordre de  $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sec en spectrométrie gamma, de  $1 \text{ Bq.L}^{-1}$  pour les analyses de tritium libre et de  $1 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion dans le cas de la mesure du tritium organiquement lié. Dans le cas des analyses de carbone 14, la méthode basée sur la synthèse de benzène permet d'obtenir des incertitudes inférieures à 10%.

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

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

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

Radionucléide	Élément	Type de rayonnement mesuré	Période radioactive
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	Protactinium	$\gamma$	1,159 min
$^{228}\text{Ac}$	Actinium	$\gamma$	6,15 h
$^{131}\text{I}$	Iode	$\gamma$	8,0233 j
$^{234}\text{Th}$	Thorium	$\gamma$	24,10 j
$^7\text{Be}$	Beryllium	$\gamma$	53,22 j
$^{58}\text{Co}$	Cobalt	$\gamma$	70,85 j
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	Argent	$\gamma$	249,78 j
$^{54}\text{Mn}$	Manganèse	$\gamma$	312,19 j
$^{134}\text{Cs}$	Césium	$\gamma$	2,0644 a
$^{60}\text{Co}$	Cobalt	$\gamma$	5,2711 a
$^3\text{H}$	Tritium	$\beta$	12,312 a
$^{210}\text{Pb}$	Plomb	$\gamma$	22,23 a
$^{137}\text{Cs}$	Césium	$\gamma$	30,05 a
$^{14}\text{C}$	Carbone	$\beta$	5700 a
$^{40}\text{K}$	Potassium	$\gamma$	1,2504.10 <sup>9</sup> a

Tableau 8-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels.

## 8.4. Conservation des échantillons et échantillothèque

Immédiatement après la fin du prélèvement, les échantillons conditionnés sont placés dans des glacières avec des blocs préalablement réfrigérés en quantité suffisante pour permettre une conservation au frais pendant toute la durée du transport vers le laboratoire. L'acheminement des échantillons au laboratoire est effectué au maximum sous 24 heures après la fin du prélèvement.

A leur arrivée au laboratoire, les échantillons sont réceptionnés et contrôlés. Selon le plan d'analyses dont ils doivent faire l'objet, les échantillons sont traités immédiatement, en particulier dans le cas des mesures en frais, ou stockés en attendant leur traitement pour analyse. Les sols et les sédiments sont mis à sécher à une température maximale de 40°C ou conservés à une température inférieure ou égale à 4°C. Les végétaux sont soit conservés au réfrigérateur pour des durées n'excédant pas 48 heures, soit congelés après nettoyage. Les céréales sont conservées à température ambiante dans un endroit propre et sec. Les poissons sont soit directement conditionnés pour la lyophilisation soit congelés.

Ces conditions de conservation des échantillons sont définies dans les normes NF M 60 780-3 pour les bioindicateurs, NF ISO 18589-2 pour les sols, et ISO 5667-3 pour les eaux.

A l'issue des mesures, les échantillons archivés au laboratoire et les géométries de comptage sont conservés dans un local propre et sec jusqu'à la remise des rapports complets définitifs du suivi annuel considéré, soit en juin de l'année N+1. Les fractions d'échantillons traités non utilisées dans le processus analytique sont conditionnées soit dans des flacons hermétiquement clos soit dans des sacs plastiques soudés et conservés dans un local propre et sec. Les échantillons d'eau sont conservés au frais. Les bioindicateurs sont conservés soit au congélateur (matière fraîche) soit dans un local propre et sec après traitement (séchage et flacottage hermétique).

EDF a souhaité constituer une banque d'échantillons destinée à recueillir pour 10 ans les prélèvements issus des différentes études radioécologiques conduites dans l'environnement des C.N.P.E. du territoire français. Cette banque est gérée par l'IRSN. L'objectif est de pouvoir, si nécessaire, effectuer dans le temps des analyses supplémentaires. La qualité de l'échantillon, la quantité à archiver et le conditionnement sont choisis de manière à pouvoir caractériser ultérieurement le plus grand nombre de radionucléides. Les échantillons sont principalement archivés sous forme lyophilisée afin d'assurer une conservation optimale, hormis les poissons qui sont conservés en cendres.

Les échantillons concernés sont :

- dans le milieu terrestre, les prélèvements de sols et d'herbes de pâturage/prairie réalisés dans les zones hors et sous les vents dominants,
- dans le milieu aquatique, les prélèvements amont et aval de sédiments, de végétaux aquatiques, en priorité les immergés, et des poissons (géométries comptées en spectrométrie gamma).

## 8.5. Méthodes de prélèvements sur le terrain

Chaque station de prélèvement fait l'objet d'une identification détaillée regroupant les éléments nécessaires à la réalisation du prélèvement (nature, espèce, fraction, localisation, coordonnées GPS...). Chaque échantillon est accompagné d'une fiche de prélèvement qui regroupe toutes les informations pour assurer la traçabilité du prélèvement. Tous les échantillons sont conditionnés dans des sacs plastiques référencés, hermétiquement fermés et immédiatement placés en glacière réfrigérée.

### 8.5.1. Milieu terrestre

#### 8.5.1.1. Sol cultivé et sol non cultivé

Les sols sont collectés à la tarière à main de diamètre 10 cm. Pour les sols de productions agricoles (qui font l'objet de labour), l'échantillon est constitué de l'horizon 0-20 cm de sol et pour les sols non cultivés seuls les 5 premiers cm sont échantillonnés (hors mat de prairie).

La quantité requise est de 5 à 6 kg par prélèvement. Les prélèvements élémentaires constitutifs de chaque lot sont réalisés de façon à couvrir de manière aléatoire la parcelle concernée.



Photo 1. Prélèvement de sol cultivé (sol de maïs)

### 8.5.1.2. Mousse terrestre, production agricole et pâture/herbe/luzerne

La quantité de végétal ou de fraction de végétal à prélever est déterminée en fonction des rapports « masse fraîche/masse sèche » et « masse sèche/masse cendres » de l'échantillon et des quantités nécessaires à la réalisation des mesures.

Mousse terrestre : Les mousses sont prélevées à la main et font l'objet d'un tri immédiat lors du prélèvement (espèce non recherchée, bois mort, feuilles, terre...) afin de constituer un lot homogène de produit frais.



Photo 2. *Eurhynchium striatum*



Photo 3. *Rhytidiadelphus triquetrus*

Production agricole : Les prélèvements sont effectués auprès du producteur. Les quantités sont variables suivant la matrice, environ 8 à 10 kg de salades ou encore 4 à 5 kg de céréales.



Photo 4. Prélèvement de légumes (salades)

Herbe : Le prélèvement d'environ 10 kg est effectué aux ciseaux ou à la serpe. Seule la partie potentiellement consommée par le bétail est prélevée.

### 8.5.1.3. Lait

Le lait est récupéré auprès des agriculteurs locaux. La quantité requise est de 10 litres frais. Le lait est conditionné dans des flacons inertes.

## 8.5.2. Milieu aquatique

### 8.5.2.1. Eau

Pour les eaux de consommation, une purge de l'installation (robinet) de quelques minutes est réalisée avant le prélèvement conformément à la norme ISO 5667. Les prélèvements d'eaux d'irrigation sont réalisés suivant le type de station avec une canne de prélèvement, un préleveur d'eau horizontal à messageur ou encore directement au niveau du système d'irrigation. Pour les eaux, la quantité prélevée est de 250 mL conditionnés dans un flacon inerte rincé préalablement 3 fois avec la même eau que celle du prélèvement.

### 8.5.2.2. Sédiment

Les sédiments sont prélevés à la pelle ou à l'aide d'une benne de prélèvement, de type « Benne Van Veen ». La quantité ciblée est de 8 à 10 kg de sédiment. L'échantillon est ensuite conditionné en doubles sacs plastiques.

### 8.5.2.3. Flore aquatique

De la même manière que les végétaux terrestres, la quantité de végétal ou de fraction de végétal à prélever est déterminée en fonction du rapport « masse fraîche/masse de cendres » de l'échantillon et de la quantité nécessaire pour faire la mesure.

Les natures de végétaux aquatiques définies dans le plan d'échantillonnage sont : des phanérogames semi-aquatiques (scirpe, roseau...), des phanérogames immergées (myriophylle, cératophylle...), des mousses aquatiques et des algues. Les parties immergées sont préférentiellement ciblées et les prélèvements sont effectués aux ciseaux, à la serpe ou à la main. Les végétaux sont soigneusement triés, rincés dans l'eau du fleuve ou dans l'eau de mer, puis égouttés lors du prélèvement. La quantité requise est d'environ 10 kg.

### 8.5.2.4. Poisson, crustacé et mollusque

Poisson du milieu fluvial : Les prélèvements, effectués au filet, sont réalisés en collaboration avec l'université de Toulouse. L'objectif est de constituer un lot homogène, d'environ 10 kg, identique en amont et en aval de l'installation. Un tri immédiat de l'espèce ciblée est effectué et pour chaque espèce pêchée, les individus sont regroupés en lots de caractéristiques biométriques homogènes. A l'issue du prélèvement les poissons sont pesés, puis éviscérés sur place. Les autres espèces capturées sont remises à l'eau sur le lieu de capture à l'exception des espèces susceptibles d'occasionner des déséquilibres biologiques (perche soleil...).

Poisson du milieu estuarien : Les pêches de mullets sont effectuées par un pêcheur professionnel. La quantité ciblée est de 10 kg selon la disponibilité. Les poissons sont pesés puis éviscérés.



Photo 5. Pêche dans la Gironde

## 8.6. Préparation et conditionnement des échantillons

La préparation et le conditionnement des échantillons dépendent des analyses à effectuer. Toutes les informations nécessaires au calcul des rapports « masse fraîche/masse sèche » et « masse sèche/masse de cendres » sont enregistrées au cours des différentes étapes de traitement. Dans l'attente des mesures, les géométries de comptage sont conservées au dessiccateur afin de prévenir toute reprise en eau. Ces différentes opérations sont conduites dans le respect des normes mentionnées précédemment.

Dans le cas des sols et des sédiments, une fraction d'échantillon frais est conditionnée, référencée et envoyée à INOVALYS pour mesure de la teneur en matières organiques et de la granulométrie par sédimentation (méthode de la pipette).

Dans le cas des analyses de carbone 14, une fraction d'échantillon (30 g) est conditionnée, référencée et envoyée à LABRADOR ou au CDRC pour la mesure de carbone 14 par la technique de synthèse de benzène (salades, herbes, poissons). En parallèle, une fraction d'échantillon (10 g) est conditionnée, référencée et envoyée à la plateforme PLATIN pour la mesure de la teneur en carbone (Ctot) et du rapport isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .

### 8.6.1. Milieu terrestre

#### 8.6.1.1. Sol cultivé et sol non cultivé

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

#### 8.6.1.2. Mousse terrestre, production agricole et pâture/herbe/luzerne

Dans le cas de la recherche de radionucléides de période radioactive courte (8,02 jours pour l'isotope 131 de l'iode), les mesures sont effectuées dès réception des échantillons à l'état frais. Les échantillons sont nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers...) puis conditionnés dans la géométrie de comptage adaptée au volume d'échantillon disponible. A l'issue de la mesure, l'échantillon est séché afin de déterminer la teneur en eau et de ramener l'activité en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  frais à une activité exprimée en  $\text{Bq.kg}^{-1}$  sec.

Pour les autres mesures par spectrométrie gamma, les échantillons sont nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers...). Ils sont ensuite soit séchés à l'étuve (102°C) jusqu'à l'obtention d'une masse constante, soit lyophilisés.

La lyophilisation est utilisée en prévision des mesures de tritium libre, de tritium organiquement lié et de  $^{14}\text{C}$  ainsi que pour la constitution de la banque d'échantillons. Après cette phase de séchage (étuve ou lyophilisation), une fraction de l'échantillon est placée dans des béciers en verre puis calcinée.

L'échantillon est calciné selon les cycles suivants :

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

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

### **8.6.1.3. Lait**

Une lyophilisation est effectuée afin de récupérer l'eau ( $^3\text{H}$  libre). Une fraction de l'échantillon lyophilisé est calcinée suivant le protocole cité précédemment pour la mesure en spectrométrie gamma, le reste est conservé au dessiccateur.



*Photo 6. Lyophilisateur*

## **8.6.2. Milieu aquatique**

### **8.6.2.1. Eau**

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

### **8.6.2.2. Sédiment**

Le traitement des sédiments est identique à celui des sols.

### **8.6.2.3. Flore aquatique**

Dans le cas de la recherche de radionucléides de période radioactive courte ( $^{131}\text{I}$ ), le protocole de préparation et de mesurage est identique à celui appliqué dans le cas des végétaux terrestres.

Pour les autres mesures, les échantillons sont égouttés puis nettoyés des corps étrangers (terres, résidus divers...). Ils sont ensuite soit séchés à l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante (102°C pour au moins 48 heures) soit lyophilisés. Une fraction de l'échantillon sec est calcinée et le reste du produit est conservé au dessiccateur.

#### 8.6.2.4. Poisson

Les poissons éviscérés font l'objet d'une dissection complète (retrait des têtes, arêtes, nageoires, peau...) permettant de constituer un échantillon à partir de la masse musculaire.

Ces échantillons sont lyophilisés et l'eau issue de la lyophilisation est conservée en vue de la mesure du tritium libre. Une fraction de l'échantillon lyophilisé est conservée au dessiccateur, le reste de l'échantillon est ensuite calciné.

### 8.7. Techniques d'analyses

#### 8.7.1. *Emetteurs gamma (solides)*

La détermination des émetteurs gamma est effectuée selon la norme NF ISO 18589-3. Cette norme est applicable aux sols et par extension aux mesures effectuées sur les échantillons solides (bioindicateurs).

La spectrométrie gamma permet de mesurer l'émission de photons gamma dans le domaine de 20 keV à 2 MeV, avec une résolution en énergie suffisante pour permettre l'observation de structures particulières dans le spectre en énergie. Les transitions nucléaires entre les niveaux d'énergie d'un noyau excité donnent naissance à des raies spectrales à des énergies de quelques dizaines de keV à quelques MeV qui permettent d'identifier le noyau émetteur. La taille des pics obtenus pour chaque raie caractéristique d'un élément est corrélée à l'activité du radionucléide présent dans l'échantillon mesuré. Cette technique nécessite un étalonnage en énergie (permettant d'identifier les radionucléides) et un étalonnage en efficacité permettant de quantifier l'activité présente de chaque élément. Par ailleurs, pour les radionucléides de faible énergie, des phénomènes d'auto atténuation sont induits par la densité de la matrice de l'échantillon, ceci peut donc conduire à un écart de l'activité réellement présente, aussi, des corrections d'atténuation sont effectuées en fonction de la densité apparente de l'échantillon.

Cette technique permet d'identifier et de quantifier à la fois des radionucléides d'origine naturelle tels que le  $^{40}\text{K}$ , l' $^{228}\text{Ac}$  de la chaîne naturelle du  $^{232}\text{Th}$ , le  $^{234}\text{Th}$ , le  $^{234\text{m}}\text{Pa}$ , le  $^{210}\text{Pb}$  de la chaîne naturelle de l' $^{238}\text{U}$  et d'origine artificielle, notamment le  $^{134}\text{Cs}$ , le  $^{137}\text{Cs}$ , le  $^{57}\text{Co}$ , le  $^{58}\text{Co}$ , le  $^{60}\text{Co}$ , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , le  $^{54}\text{Mn}$  et l' $^{131}\text{I}$ .



Photo 7. Chaîne de spectrométrie gamma

Les échantillons sont mesurés dans une géométrie donnée sur un détecteur germanium hyper pur à bas bruit de fond. Les temps de comptage sont adaptés en fonction de l'efficacité des géométries utilisées et des prises d'essai afin d'obtenir une limite de détection de l'ordre de  $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$  en  $^{58}\text{Co}$  et  $^{137}\text{Cs}$  sur les végétaux.

### 8.7.2. *Tritium libre (eau de boisson, eau issue de la lyophilisation)*

La mesure est effectuée selon la norme NF EN ISO 9698. Le principe de la mesure consiste à mélanger une prise d'essai avec un liquide scintillant et à procéder à la mesure en scintillation liquide. Les électrons émis par le tritium réagissent avec le liquide scintillant et donnent naissance à des photons détectés à l'aide de détecteurs appropriés. En fonction du nombre d'événements enregistrés, du mouvement propre et de l'efficacité de détection, l'activité de la prise d'essai peut être déterminée.

En cas de présence d'émetteurs bêta indésirables, une distillation est effectuée. Le temps de comptage est de 2400 min afin d'atteindre une limite de détection de  $1 \text{ Bq.L}^{-1}$ .



Photo 8. Appareil à scintillation liquide

### 8.7.3. *Tritium lié (« pyroxydiser »)*

Dans un premier temps, l'analyse du Tritium Organiquement Lié (TOL) nécessite de le séparer du tritium libre. En l'occurrence, la lyophilisation permet d'extraire l'eau des matrices biologiques (végétales ou animales) sans détériorer l'échantillon. Ensuite, l'échantillon sec issu de la lyophilisation est broyé et conditionné pour une combustion dans un four tubulaire. Il subit d'abord une dégradation par pyrolyse sous flux d'argon puis par combustion sous flux d'un mélange d'argon et d'oxygène.



Photo 9. Pyroxydiser

Les gaz sont ensuite oxydés sous flux d'oxygène à haute température pour éliminer les molécules organiques résiduelles. Les gaz s'échappent par une extrémité du four et passent dans un piège froid qui recueille la vapeur d'eau. La valeur du taux d'hydrogène de l'échantillon permet d'adapter la prise d'essai et de calculer le rendement de la transformation en eau.

Enfin, comme dans le cas du tritium libre, le principe de la mesure consiste à mélanger une prise d'essai avec un liquide scintillant et à procéder à la mesure en scintillation liquide. La meilleure limite de détection ( $\approx 1 \text{ Bq.L}^{-1}$  d'eau de combustion) est obtenue pour un temps de comptage de 2400 min et un volume d'eau de 10 ml.

#### 8.7.4. Carbone 14 (synthèse de benzène)

La mesure du  $^{14}\text{C}$  est basée sur la synthèse de benzène formé à partir du carbone présent dans l'échantillon. Quatre étapes principales mènent à la formation de benzène. Le carbone est d'abord extrait de l'échantillon dans une bombe à combustion sous forme de gaz carbonique. Ce  $\text{CO}_2$  est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, produit de l'acétylène. Une catalyse permet enfin de polymériser l'acétylène en benzène.



Photo 10. Synthèse de benzène

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

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

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

### 8.7.5. *Granulométrie et teneur en matières organiques des sols et sédiments*

Ces analyses sont confiées à INOVALYS à Nantes. Les mesures de granulométrie sont réalisées selon la norme NF X 31-107, basée sur la vitesse de sédimentation (méthode de la pipette) ou selon la norme ISO 13320, basée sur la diffraction laser. La teneur en matières organiques est calculée à partir du pourcentage de carbone organique total obtenu par combustion sèche (NF X 31-409).

### 8.7.6. *Identification des espèces*

L'identification des espèces de bryophytes et de phanérogames est réalisée par nos soins et elle s'appuie, si nécessaire, sur le laboratoire Ecologie et Santé des Ecosystèmes de l'UMR INRA-Agrocampus Ouest. Les espèces de poissons sont identifiées au moment des pêches avec les équipes en charge des opérations.

## 8.8. Expression des résultats

A l'issue des mesures, 4 paramètres sont calculés :

- l'activité mesurée
- l'incertitude associée à cette activité, et à défaut de l'obtention de ces deux valeurs,
- le seuil de décision : « Limite à partir de laquelle, au risque  $\alpha$  près, une grandeur observée est considérée comme vraie. Cette limite correspond au risque dit de première espèce, c'est-à-dire au risque  $\alpha$  d'affirmer la présence de la grandeur vraie recherchée alors qu'elle n'est pas présente. Il est généralement conseillé de prendre  $\alpha = 2,5 \%$ . »
- la limite de détection : « Valeur de la grandeur à mesurer qui a une probabilité donnée  $(1 - \beta)$  d'être détectée, c'est-à-dire de donner un résultat corrigé supérieur au seuil de décision. Le risque  $\beta$  correspond à affirmer l'absence de la grandeur vraie recherchée, alors qu'elle est présente. Il est généralement conseillé de prendre  $\beta = 2,5 \%$ . »

En 2009, l'ASN a demandé de transmettre les résultats de mesure inférieurs au seuil de décision sous la forme « <SD », en cohérence à la création du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'Environnement (<http://www.mesure-radioactivite.fr>, Décision n°2008-DC-0099). En conséquence, depuis 2009, dès lors que l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision, le résultat publié est « < seuil de décision ». Lorsque l'activité mesurée est supérieure au seuil de décision, le résultat publié est l'activité mesurée accompagnée de son incertitude. En revanche, les données antérieures à 2009 sont présentées en fonction de la limite de détection (LD).

Lors de toute mesure physique d'une grandeur, il existe toujours un écart entre la valeur vraie et le résultat de la mesure. Cet écart est plus ou moins important selon la méthode de mesure retenue, la qualité des instruments et les opérateurs. Aussi, une incertitude élargie est associée à chaque résultat de mesure de radioactivité permettant de définir un intervalle de confiance de 95%.

L'incertitude associée à chaque mesure publiée correspond à la somme quadratique des incertitudes propres à chacun des paramètres élémentaires pouvant influencer le résultat. Le facteur d'élargissement est pris à  $k=2$ . Le Tableau 8-2 (page 1799) présente pour chaque technique de mesure les différents paramètres d'incertitude pris en compte issus soit de l'application des normes de référence soit de l'expérience capitalisée par le laboratoire.

Mesure	Normes associées	Paramètres d'incertitude	Commentaire
Mesure du tritium	NF EN ISO 9698 NF ISO 13168	Comptage, Temps, Efficacité de détection, Volume	L'incertitude liée au temps de comptage est habituellement négligée
Mesure des émetteurs gamma	NF ISO 18589-3	Comptage, Temps, Masse, Facteur de correction d'auto atténuation, Emission du radionucléide à la raie étudiée, Facteur de correction de décroissance, Efficacité associée à la raie et à la géométrie de mesure	
Mesure du carbone 14	NF M 60 812-2	Comptage, Temps, Masse, Efficacité de détection	

Tableau 8-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.

## 8.9. Liste des laboratoires d'analyse

Les partenaires associés dans le cadre de la réalisation des mesures liées au suivi radioécologique de 2020 sont les suivants : le Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées (SUBATECH) pour les mesures de spectrométrie gamma et de tritium (libre et organiquement lié), le Laboratoire Radiologique Environnement et Expertises (LABRADOR) et le Centre de Datation par le Radiocarbone (CDRC) pour les analyses de carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) par synthèse de benzène, le Plateau d'Isotopie de Normandie (PLATIN) pour la détermination des teneurs en carbone total et du rapport isotopique  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , le groupement d'intérêt public INOVALYS pour les mesures de granulométrie et de teneurs en matières organiques des sols et des sédiments et EUROFINs pour les mesures d'hydrogène, d'iode et de calcium.

### 8.9.1. SUBATECH

Le laboratoire SUBATECH est une Unité Mixte de Recherche (UMR6457) qui regroupe des agents du CNRS (par son Institut National de Physique Nucléaire et Physique des Particules – IN2P3), de l'Université de Nantes et de l'Ecole des Mines de Nantes (détail sur le site de SUBATECH [www-subatech.in2p3.fr](http://www-subatech.in2p3.fr)).

Les axes de recherche du laboratoire relèvent, d'une part, de la physique nucléaire fondamentale et, d'autre part, de la radiochimie. Les thématiques des recherches conduites à SUBATECH sont réalisées dans le cadre de programmes pluriannuels et quasiment toujours menées au sein de collaborations internationales.

Les activités de recherche du groupe de radiochimie sont dédiées aux questions fondamentales et appliquées en lien avec le comportement des substances radioactives dans l'environnement, dans le cycle électronucléaire et pour les applications médicales.

La recherche en radiochimie est centrée sur les études relatives aux processus chimiques mis en jeu lors du stockage des déchets issus du cycle électronucléaire. De nouvelles activités ont été développées dans le cadre de la construction d'un cyclotron à Nantes portant sur un volet « radio-médical », où le laboratoire intervient en appui auprès du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Nantes en partenariat avec l'Institut de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), sur la production de noyaux émetteurs alpha ou bêta pour la médecine nucléaire et la recherche médicale en immunothérapie.

Le second volet des activités conduites en radiochimie à SUBATECH concerne les mesures de radioactivité à bas seuil réalisées par le groupe SMART (Service de Mesure et d'Analyse de Radioactivité et des éléments Traces), dont l'objectif est de répondre aux demandes de la société civile pour effectuer toute analyse de radioactivité dans l'environnement. Ce service regroupe une quinzaine de collaborateurs. Il dispose d'équipements de haute technologie permettant de réaliser tous types de mesures à bas niveau sur un grand nombre de matrices.

Le groupe SMART de SUBATECH a mis en place une démarche d'Assurance Qualité conformément aux exigences de la norme ISO 17025. Cette organisation qualité est accréditée par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC, n° d'accréditation 1-0910) depuis le 1<sup>er</sup> décembre 1998 au titre du programme 135 sur plusieurs catégories de techniques et de matrices (détail sur le site du COFRAC [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)). Par ailleurs, SUBATECH dispose de plusieurs agréments délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour la réalisation de mesures de radioactivité de l'environnement (détail sur le site de l'ASN [www.asn.fr](http://www.asn.fr)).

### **8.9.2. LABRADOR**

Le Service LABRADOR est le service technique de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL - UMR5822 : CNRS/IN2P3 et Université Claude Bernard de Lyon) dédié à la métrologie de la radioactivité. Créé en 2003, il est aujourd'hui reconnu grâce à son accréditation COFRAC (n° d'accréditation 1-1577) et aux nombreux agréments ministériels. Il offre un panel de prestations à divers partenaires publics et privés.

Le laboratoire LABRADOR regroupe 2 ingénieurs et 1 technicien (détail sur le site de l'IPNL : [www.ipnl.in2p3.fr](http://www.ipnl.in2p3.fr)).

### **8.9.3. CENTRE DE DATATION PAR LE RADIOCARBONE**

Le CDRC est actuellement le seul laboratoire qui effectue des mesures de routine en radiocarbone pour la Communauté Scientifique Française. Spécialisé dans la datation des sites archéologiques, il contribue également aux recherches sur le quaternaire récent et fait parfois des expertises à caractère industriel.

Il est implanté au sein de l'Université Claude Bernard basée à Villeurbanne (69) et emploie 6 personnes (détail sur le site de l'Université Claude Bernard Lyon 1 : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>).

### **8.9.4. PLATIN**

Cette plateforme de l'UMR INRA EVA 950 et de la Structure Fédérative 4206 ICORE (Interactions Cellules Organismes Environnement) est fonctionnelle depuis 1993 et réunit des équipements de spectrométrie de masse. Au sein de l'Université de Caen Basse-Normandie, ce plateau technique réalise des activités de prestations de service et d'études (détail sur le site d'ICORE : <http://icore.unicaen.fr/plateformes/platin>).

### **8.9.5. INOVALYS**

INOVALYS est un regroupement de cinq laboratoires départementaux : Loire-Atlantique (44), Maine-et-Loire (49), Sarthe (72), Indre-et-Loire (37) et Morbihan (56). Les domaines de mesure d'INOVALYS portent sur l'environnement, l'agroalimentaire et la santé. L'ensemble des activités est conduit sous Assurance Qualité et est accrédité par le COFRAC :

- n° d'accréditation 1-5753 pour INOVALYS Nantes (44)
- n° d'accréditation 1-5752 pour INOVALYS Angers (49)
- n° d'accréditation 1-5755 pour INOVALYS Le Mans (72)
- n° d'accréditation 1-6805 pour INOVALYS Tours (37)
- n° d'accréditation 1-7071 pour INOVALYS Lorient (56)
- n° d'accréditation 1-7070 pour INOVALYS Vannes (56)

INOVALYS regroupe 530 collaborateurs dont les trois quarts sont des ingénieurs, pharmaciens, vétérinaires ou techniciens hautement qualifiés (détail sur le site d'INOVALYS : [www.inovalys.fr](http://www.inovalys.fr)).

### **8.9.6. EUROFINS**

EUROFINS est un groupe de laboratoires d'analyses spécialisé dans l'agroalimentaire, la pharmacie, l'environnement et la biologie médicale. Fondé en 1987 à Nantes, EUROFINS regroupe 900 laboratoires répartis sur les 5 continents pour un effectif de 58000 personnes (détails sur le site d'EUROFINS <https://www.eurofins.com>).



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 8-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels.....	169
Tableau 8-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.....	179



## 9. Glossaire

### A

---

#### **ACRO**

Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest.

#### **Activation**

Processus par lequel des noyaux atomiques sont rendus radioactifs sous l'action d'un flux de neutrons ou d'autres particules.

#### **Activité**

Nombre de désintégrations spontanées de noyaux atomiques par unité de temps. L'unité d'activité est le becquerel (Bq).

#### **Activité spécifique**

Activité d'un radionucléide exprimée en Bq/kg de l'élément chimique correspondant. Dans ce rapport, elle est utilisée pour le carbone-14 pour lequel des résultats de mesures sont exprimés en Bq/kg de carbone.

#### **AIEA**

Agence internationale de l'énergie atomique.

#### **Alpha (symbole $\alpha$ )**

Rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

#### **ANDRA**

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

#### **Argent 110 métastable ( $^{110m}\text{Ag}$ )**

Seul isotope radioactif de l'argent (Ag, numéro atomique 47) détecté dans l'environnement. C'est un produit d'activation de l'isotope stable 109 avec une période radioactive de 249 jours.

#### **ASN**

Autorité de sûreté nucléaire.

#### **Atome**

Constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

#### **Autorisation de rejet**

Elle fixe, pour chaque installation, les limites des rejets d'effluents liquides et/ou gazeux et les conditions de leur surveillance. Elle est accordée par arrêté interministériel, après dépôt d'un dossier soumis aux ministères chargés de l'industrie, de la santé et de l'environnement.

### B

---

#### **Becquerel (Bq)**

Unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour quantifier la radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde.

#### **Bêta (symbole $\beta$ )**

Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffit à l'arrêter.

#### **Bêta global**

Indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs beta.

#### **Bruit de fond radiologique de l'environnement**

Les activités des différents radionucléides présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers...). Ce bruit de fond résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens de radionucléides artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire (essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées de l'accident de Tchernobyl).

---

## C

### **Carbone 14**

Isotope radioactif du carbone. C'est un émetteur de rayonnement  $\beta^-$  de faible énergie avec une période radioactive de 5730 ans. Il a 2 origines : naturelle, source la plus importante (98%) et artificielle, produit par les activités humaines.

### **Césium (Cs, numéro atomique 55)**

Métal rare et toxique dont les caractéristiques chimiques sont comparables à celles du potassium. Les isotopes 134 et 137 sont des produits de fission radioactifs dont la période radioactive est de 2,2 ans pour le premier et de 30,17 ans pour le second.

### **C.N.P.E**

Centre nucléaire de production d'électricité.

### **Cobalt (Co, numéro atomique 27)**

Métal ferromagnétique qui ne réagit ni avec l'eau ni avec l'air à température ambiante. Les principaux isotopes radioactifs sont le 57, 58 et 60. Le  $^{60}\text{Co}$  est un produit d'activation neutronique et présente la période radioactive la plus longue qui est de 5.27 ans.

### **Combustible nucléaire**

Matière fissile constituant la partie active du cœur d'un réacteur. Pour qu'une réaction de fission en chaîne soit possible, l'uranium naturel, mélange comprenant 0,7 % d'uranium-235 – fissile – et 99,3 % d'uranium-238 – non fissile –, a dû être préalablement enrichi à 4 % en uranium-235. Cet uranium est utilisé sous la forme d'oxyde d'uranium, particulièrement stable chimiquement.

### **Cycle du combustible**

Ensemble des opérations industrielles auxquelles est soumis le combustible nucléaire. Ces opérations comprennent notamment l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, la conversion, l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible, le traitement des combustibles usés, le recyclage des matières fissiles récupérées pour fabriquer de nouveaux combustibles et la gestion des déchets radioactifs.

---

## D

### **Déchet**

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou, plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon car il n'a plus d'utilisation précise.

### **Démantèlement**

Regroupe les opérations visant à évacuer les matières et déchets radioactifs, à retirer les matériels présents, à assainir et à démonter les bâtiments d'une installation nucléaire en fin de vie ou à l'arrêt définitif. C'est un projet industriel de très longue durée avec un examen de sûreté à chaque étape afin d'assurer la maîtrise des risques des opérations.

### **Dose efficace**

Permet de connaître l'impact d'un rayonnement donné en prenant en compte le type de tissu ou d'organe touché et le type de rayonnement. Elle est calculée en Sievert/an.

---

## E

### **Eau de combustion**

Eau obtenue en brûlant la matière sèche en présence d'oxygène et en l'absence d'autres sources d'eau pendant la combustion.

### **EDF**

Électricité de France.

### **Effluent**

Tout gaz ou liquide, qu'il soit radioactif ou non, issu des installations.

### **Émissaire**

Exutoire des effluents rejetés par une installation.

### **Exposition**

L'exposition est le fait d'être exposé aux rayonnements ionisants (exposition externe si la source est située à l'extérieur de l'organisme, exposition interne si la source est située à l'intérieur de l'organisme, etc.).

---

## F

### **Fission**

Éclatement du noyau d'un atome sous l'action de neutrons. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un fort dégagement de chaleur. C'est ce dernier qui est utilisé pour créer l'énergie électrique dans une centrale électronucléaire.

---

## G

### **Gamma (symbole $\gamma$ )**

Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

### **Gaz rares**

Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon, le xénon et le radon. Certains isotopes des gaz rares sont des produits de fission et sont donc radioactifs.

---

## I

### **Incertitude de mesure**

Marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique.

### **Iode (I, numéro atomique 53)**

Corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodes radioactifs (129, 131, 132, 133, etc.) ont une durée de vie courte (ex. l'isotope 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode-129 dont la période est de près de 16 millions d'années.

### **IRSN**

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

### **Isotopes**

Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

---

## K

### **K**

Symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/L ou mg/kg (milligramme par litre ou par kilogramme). 1 gramme de potassium naturel a une activité ( $\beta/\gamma$ ) de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif naturel de masse 40 ( $^{40}\text{K}$ ).

---

## L

### **Limite de détection (LD)**

La plus petite valeur de la grandeur à mesurer pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Les données antérieures à 2009 sont présentées en fonction de la limite de détection.

## M

---

### **Manganèse 54 (<sup>54</sup>Mg)**

Isotope radioactif du manganèse 55 dont la chimie de l'élément est liée à celle du fer et du cobalt. C'est un produit d'activation du fer stable des structures des réacteurs nucléaires, émis principalement par voie liquide avec les rejets des installations. Sa période radioactive est de 312.5 jours.

### **Matrice**

Sous-partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin).  
Exemples : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques...

### **MW**

Mégawatt

## N

---

### **Neutron**

Particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome. C'est le neutron qui provoque la réaction de fission des noyaux dont l'énergie est utilisée dans les réacteurs nucléaires.

### **Noyau**

Partie centrale des atomes, de charge positive. Dix mille fois plus petit que l'atome, il en contient pourtant quasiment toute la masse. Le noyau est un assemblage de protons et de neutrons liés par l'interaction forte.

## P

---

### **Période radioactive (ou demi-vie)**

Temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

### **Phanérogame**

Plante aquatique qui a des organes de fructification apparents dans la fleur et se reproduit par des graines.

### **Plutonium (Pu, numéro atomique 94)**

Élément chimique transurien, d'origine artificielle. L'isotope le plus connu est le <sup>239</sup>Pu, émetteur de rayonnement alpha, avec une période radioactive de 24 110 ans.

## R

---

### **Radioactivité**

Propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

### **Radioécologie**

Etude des éléments radioactifs dans l'environnement. Elle a pour rôle de détecter la présence de radionucléides dans l'environnement, de rechercher leurs origines et de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes.

### **Radionucléide**

Isotope radioactif d'un élément.

Exemples : <sup>3</sup>H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; <sup>14</sup>C : carbone-14, isotope radioactif du carbone.

### **Radioprotection**

Ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs au regard de l'exposition aux rayonnements ionisants.

### **Radon (Rn)**

Gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (<sup>219</sup>Rn, <sup>220</sup>Rn, <sup>222</sup>Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (<sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th et <sup>238</sup>U). Le <sup>222</sup>Rn est souvent le plus important à considérer de par sa période radioactive plus longue : 3,8 jours.

### **Rayonnement**

Transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (gamma) ou de particules (alpha, beta, neutrons) émis lors de la désintégration de radionucléides.

### **Rayonnement ionisant**

Rayonnement susceptible d'arracher des électrons à la matière.

---

## S

---

### **Seuil de décision (SD)**

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

### **Sievert (Sv)**

Unité légale d'équivalent de dose ou dose efficace qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée sur un organisme vivant. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable mais obtenue par le calcul. Elle dépend de l'énergie transmise aux tissus, du type de rayonnement et du tissu traversé.

### **Significatif (mesure ou résultat significatif)**

Résultat de mesure supérieur au seuil de décision.

### **Spectrométrie**

Analyse de l'intensité d'un rayonnement émis par une source en fonction de son niveau d'énergie. Cette méthode permet à la fois d'identifier les radionucléides et de quantifier leur « activité ».

### **Strontium (Sr, numéro atomique 38)**

Élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

---

## T

---

### **Thorium (Th, numéro atomique 90)**

Appartient à la série des actinides, avec une période radioactive de plus de  $10^{10}$  ans. Il est présent dans les chaînes de décroissance radioactive de l'uranium naturel. Le principal isotope est le  $^{232}\text{Th}$ , émetteur de rayonnement alpha, qui donne naissance à de nombreux produits de filiation dont  $^{228}\text{Ac}$ , émetteur de rayonnement gamma et beta.

### **Tritium**

Isotope de l'hydrogène le moins abondant. C'est un émetteur de rayonnement  $\beta^-$  de très faible énergie avec une période radioactive de 12,3 ans. Il existe sous différentes formes chimiques : eau tritiée (HTO), tritium gazeux (HT) et tritium organiquement lié (TOL). Il est présent en permanence à l'état naturel dans l'environnement, et provient également des activités humaines.

---

## U

---

### **Uranium (U, numéro atomique 92)**

Élément chimique possédant trois isotopes naturels : l'uranium-234, l'uranium-235 et l'uranium-238. L'uranium-235 est le seul isotope fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie.

