



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

BLAYAIS

2020

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

SOMMAIRE

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité du BLAYAIS en 2020	4
I. Contexte	4
II. Le CNPE du BLAYAIS	4
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du BLAYAIS	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
Partie II - Prélèvements d'eau	9
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	11
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	11
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	12
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	13
Partie III – Restitution et consommation d'eau	15
I. Restitution d'eau	15
II. Consommation d'eau	16
Partie IV - Rejets d'effluents	17
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	18
II. Rejets d'effluents liquides	26
III. Rejets thermiques	43
Partie V - Surveillance de l'environnement	46
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	46
II. Physico-chimie des eaux souterraines	53
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	54
IV. Surveillance écologique et halieutique	56
V. Acoustique environnementale	61

Partie VI - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation 62

Partie VII - Gestion des déchets _____ 66

I. Les déchets radioactifs _____ 66

II. Les déchets non radioactifs _____ 71

ABREVIATIONS _____ 73

ANNEXE 1 : Suivi radioécologique annuel du CNPE du Blayais Année 2019 _____ 74

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

I. Contexte

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

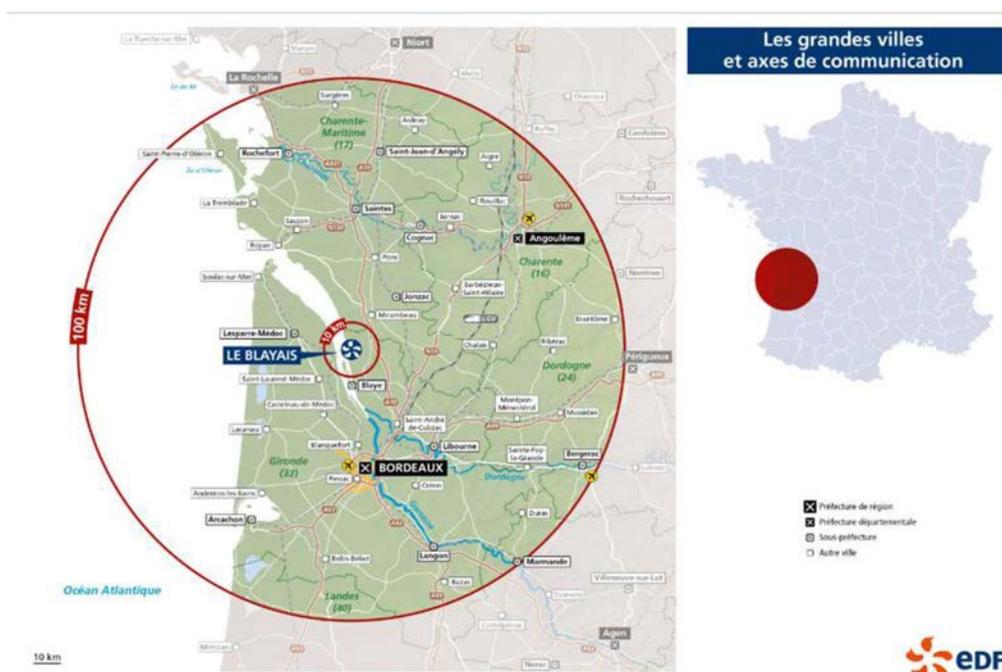
Dans ce cadre, tous les Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) d'EDF disposent d'un système de management de l'environnement certifié « ISO14001 ».

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

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

II. Le CNPE du BLAYAIS

Les installations nucléaires de base du site du Blayais sont situées à mi-chemin entre Bordeaux et Royan, sur la commune de Braud-et-Saint-Louis. Implantées au coeur d'un marais de 6 000 hectares, elles occupent une superficie de 78 hectares, sur la rive droite de la Gironde.



Les premiers travaux de construction ont eu lieu à partir de 1976 sur une zone choisie pour ses caractéristiques géologiques.

Les installations du Blayais regroupent quatre unités de production d'électricité en fonctionnement :

- les deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance d'environ 900 mégawatts électriques refroidies chacune par l'eau de la Gironde – les unités de production 1 et 2 – ont été mises en service respectivement en 1981 et 1982. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 86 ;
- les deux autres unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance d'environ 900 mégawatts électriques refroidies également par les eaux de la Gironde – les unités de production 3 et 4 – ont été mises en service en 1983. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 110.

FICHE D'IDENTITÉ DE LA CENTRALE DU BLAYAIS	
MISE EN SERVICE	De 1981 à 1983, les 4 unités de production d'électricité de la centrale du Blayais ont été successivement connectés au réseau électrique.
PRODUCTION ANNUELLE	En 2020, la centrale a produit 23,37 milliards de kWh (2 Arrêts Automatiques Réacteurs).
UNITÉS DE PRODUCTION	Les installations du Blayais regroupent 4 unités de production d'une puissance de 900 MW chacune.
PUISSANCE	La puissance totale des 4 réacteurs représente 3 600 MW.
EFFECTIF TOTAL	1 298 salariés EDF et 700 salariés permanents d'entreprises prestataires.

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du BLAYAIS

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2020, aucune modification notable au voisinage du CNPE du Blayais n'a été identifiée.

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

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

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

- les valeurs seuils ou valeurs guides issues des textes réglementaires ou des grilles de qualité d'eau, les données écotoxicologiques, en particulier les PNEC (Predicted No Effect Concentration), et les études testant la toxicité et l'écotoxicité des effluents CRT, 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 sera intégrée dans la prochaine mise à jour de l'étude d'impact du Blayais.

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

En 2003, le CNPE du Blayais a été certifié, pour la première fois, ISO 14001. L'obtention de la certification 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 du Blayais 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 du Blayais. 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 du Blayais 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 du Blayais en 2020.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE 9	14/02/2020	<p>Dépassement de la concentration maximale en matières en suspension (MES) avant dilution, lors du rejet de la fosse 9 SEO 001 BA.</p> <p>L'impact sur l'environnement n'est pas significatif puisque l'apport en matières en suspension a été au maximum de 75,6 mg/L (valeur mesurée dans la fosse 9 SEO 001 BA avant sa dilution dans les eaux de refroidissement (coefficient 500)) alors que la concentration dans le milieu récepteur (estuaire de la Gironde) est de 1000 mg/L pour les matières en suspension.</p>	<p>Mise en place de filtres de protection sur les points de collecte du réseau SEO exposés au risque de transfert de matières en suspension</p> <p>Contrôle du décanteur et suivi de celui-ci jusqu'à l'obtention d'un niveau de propreté du réseau SEO compatible avec l'exploitation normale du décanteur.</p> <p>Mise en œuvre, mi 2021, d'un programme d'ITV des zones de potentiel stockage de MES du réseau 9 SEO.</p>
ESE 2	19/06/2020	<p>Ecoulement d'huile, provenant d'un pôle transformateur déposé, ayant atteint le réseau SEO sans atteinte de l'environnement.</p> <p>Aucun impact sur l'environnement puisque l'huile a atteint la fosse 9 SEO 001 BA. Aucun rejet n'était en cours.</p> <p>L'huile présente dans la fosse a été écrémée de façon à respecter une teneur en huile inférieure à 5 ppm.</p>	<p>La tuyauterie défaillante du transformateur a été réparée.</p> <p>Information d'UTO de la défaillance de la tuyauterie afin de limiter la survenue d'un nouvel évènement.</p> <p>Fermeture, mi 2021, de la zone de collecte par la création d'un 4ème seuil.</p>
ESE 9	11/06/2020	<p>Utilisation des analyses du prélèvement gazeux du Bâtiment Réacteur 3 pour le rejet gazeux du Bâtiment Réacteur 4, sans impact sur l'environnement.</p> <p>Aucun impact sur l'environnement l'arrêté de rejets a été respecté.</p>	<p>Mise en œuvre d'un outil de gestion adapté permettant un suivi exhaustif des paramètres en cours d'analyse</p> <p>Révision de la fiche de suivi analytique afin d'associer la référence de l'échantillon analysé au n° de protocole utilisé.</p>
ESE 6	31/12/2020	<p>Cumul annuel d'émissions de fluides frigorigènes supérieur à 100 kg.</p> <p>L'impact sur l'environnement de cet évènement est le rejet de 285,78 kg à l'atmosphère de gaz à effet de serre.</p>	<p>Etude, au travers de la fiabilité, de la possibilité de réduire les fuites en fonctionnement sur les groupes SAP et LHP/LHQ.</p> <p>Fiabilisation du serrage de raccords avant l'installation de nouveaux groupes froids.</p> <p>Fiabilisation de la donnée de chargement en fluide frigo des groupes froids industriels et tertiaires</p>

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE du Blayais a détecté, durant l'année 2020, des indisponibilités sur des matériels liés à la surveillance des rejets liquides et des rejets gazeux. L'indisponibilité des matériels a été limitée au maximum. Ces incidents n'ont pas eu d'impact sur l'environnement.

Concernant les rejets gazeux, le 31/08/2020 le réservoir des effluents gazeux 9 TEG 004 BA a fait l'objet d'un rejet non planifié via la cheminée commune des réacteurs 1 et 2. La surveillance tout au long du rejet a été assurée via les dispositifs de contrôles permanents situés au niveau de la cheminée commune des réacteurs 1 et 2. Le rejet n'a occasionné aucun dépassement des limites réglementaires fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003. Une Analyse Approfondie d'Evènement a été réalisée par le CNPE du Blayais. Aucun impact sur l'environnement n'est associé à ce dysfonctionnement.

Une baisse de débit à la cheminée commune des réacteurs tranche 3 et 4 a été observée le 29 octobre 2020 suite à la perte de la ventilation. Le débit a atteint la valeur 119 000 m³/h. Un débit conforme supérieur à 180 000m/h a été retrouvé en moins d'une minute. Le CNPE du Blayais a réalisé une information immédiate à l'ASN.

Concernant le traitement des eaux usées via la STation d'Épuration (STEP) du CNPE, plusieurs dépassements de concentration en Demande Chimique en Oxygène (DCO), Matières En Suspension (MES) ainsi qu'un non-respect des rendements minimum de la STEP en DCO et MES ont été constatés. Cela n'a occasionné aucun impact sur l'environnement puisque l'effluent est dilué 500 fois avant son rejet vers le milieu récepteur (estuaire de la Gironde). Le CNPE du Blayais œuvre pour trouver des pistes d'optimisation du fonctionnement de la STEP comme par exemple optimisation du traitement sur lits bactériens, quantification et recherche de la provenance de la charge DCO « non biodégradable », entretien des lits de roseaux.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300° C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en « U » des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement est différent selon la situation géographique du CNPE :
 - o en bord de mer ou d'un fleuve à grand débit, les CNPE fonctionnent avec un circuit de refroidissement totalement ouvert.

De l'eau (environ 50 m³ par seconde) est prélevée pour assurer le refroidissement des équipements via le condenseur. Une fois l'opération de refroidissement effectuée, l'eau qui n'est jamais entrée en contact avec la radioactivité, est intégralement restituée dans la mer ou le fleuve, à une température légèrement plus élevée.

- sur les fleuves ou les rivières dont le débit est plus faible, les CNPE fonctionnent avec un circuit en partie fermé.

Le refroidissement de l'eau chaude issue du condenseur se fait par échange thermique avec de l'air ambiant dans une grande tour réfrigérante atmosphérique appelée « aéroréfrigérant ». Une partie de l'eau chaude se vaporise sous forme d'un panache visible, , au sommet de la tour. Cette vapeur d'eau n'est pas une fumée, elle ne contient pas de CO₂. Le reste de l'eau refroidie retourne dans le condenseur. Ce système avec aéroréfrigérants permet donc de réduire considérablement les prélèvements d'eau qui sont de l'ordre de 2 m³ par seconde.

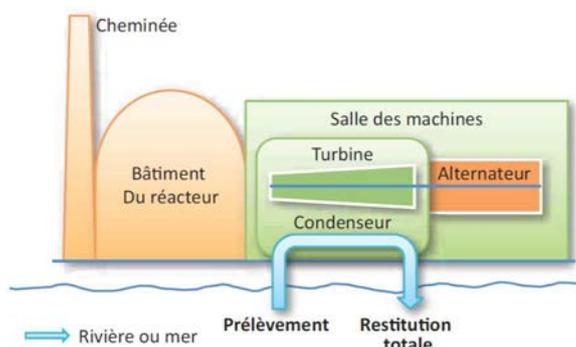


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert

(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, quasiment 100% de l'eau prélevée est restituée au fleuve ou à la mer pour les installations en circuit ouvert et de l'ordre de 60% pour les installations en circuit fermé, les 40% restant étant très majoritairement attribuable à l'évaporation d'eau au niveau des tours aéroréfrigérantes.

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

- faire face, si besoin, à un incendie : l'ensemble des CNPE d'EDF est équipé d'un important réseau d'eau sous pression permettant aux équipes des services de conduite et de la protection des CNPE d'EDF d'intervenir dès la détection d'un incendie jusqu'à l'arrivée des secours externes, et ainsi en limiter sa propagation. Ces réseaux sont régulièrement testés afin de s'assurer de leur fonctionnement et de leur efficacité.
- se laver, boire et se restaurer : selon leur importance (de 2 à 6 réacteurs), les CNPE d'EDF accueillent de 600 à 2 000 salariés permanents (EDF et entreprises extérieures)

auxquels s'ajoutent, lors d'un arrêt d'un réacteur pour maintenance, près de 1000 personnes supplémentaires. Les besoins en eau potable sont en permanence adaptés aux effectifs de salariés permanents et temporaires, tant pour les sanitaires que pour la restauration. Les CNPE d'EDF peuvent être reliés aux réseaux d'eau potable des communes sur lesquelles ils sont implantés.

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de l'année 2020 pour le prélèvement d'eau dans l'estuaire de la Gironde destiné au refroidissement des installations.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	477 780 685
Février	445 243 775
Mars	478 055 151
Avril	462 670 048
Mai	433 094 324
Juin	377 735 732
Juillet	320 006 197
Août	319 634 614
Septembre	247 145 599
Octobre	338 617 971
Novembre	320 094 149
Décembre	477 639 891
TOTAL	4 697 718 138

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

1. Cumul mensuel en eau douce superficielle prélevée dans l'Isle

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de l'année 2020 pour le prélèvement d'eau dans l'Isle destiné à l'usage industriel.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	62 974
Février	60 388
Mars	67 736
Avril	59 813
Mai	64 651
Juin	77 814
Juillet	54 650
Août	57 771
Septembre	62 795
Octobre	55 175
Novembre	67 595
Décembre	64 615
TOTAL	755 977

2. Cumul mensuel en eau douce souterraine prélevée dans la nappe du crétacé supérieur

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de l'année 2020 pour le prélèvement d'eau dans la nappe du crétacé supérieur destiné à l'usage industriel.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	0
Février	668
Mars	0
Avril	0
Mai	0
Juin	0
Juillet	694
Août	284
Septembre	370
Octobre	162
Novembre	301
Décembre	14 760
TOTAL	17 239

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

Le cumul annuel, pour l'année 2020, des prélèvements d'eau potable destinée à l'usage domestique est de 29 662 m³ (les données disponibles sont des relevés annuels).

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

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

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

Année	Milieu	Volume	Unité
2018	Eau saumâtre Estuaire de la Gironde	4 915	Millions de m ³
2019		5 058	
2020		4 697	
Prévisionnel 2020		5 000	
2018	Eau douce superficielle L'Isle	672 246	m ³
2019		750 892	
2020		755 977	
Prévisionnel 2020		750 000	
2018	Eau douce souterraine Nappe du crétacé supérieur	3 840	m ³
2019		4 013	
2020		17 239*	
Prévisionnel 2020		12 133 **	
2020	20 000		
2018	Eau douce du réseau	33	Milliers de m ³
2019		32	
2020		30	

Commentaires :

On note deux valeurs de prévisionnels qui sont dépassées.

La première concerne le prélèvement en eau douce superficielle de l'Isle. Il s'agit d'un dépassement de 0,8% du prévisionnel. Ce dépassement peut s'expliquer par les nombreux suivis de charge cette année. Les limites réglementaires sont respectées.

La seconde concerne le prélèvement en eau douce souterraine de la nappe du crétacé supérieur.

*Ce dépassement est expliqué par l'utilisation des forages sur plusieurs jours en prévision de travaux sur le décanteur de la station déminé qui nécessite une coupure de l'eau de l'Isle. Les limites réglementaires sont respectées.

**Le prévisionnel de prélèvement en nappes pour 2020 prévoyait de prélever dans 10 000 m³ dans les deux nappes confinées dans les deux enceintes géotechniques du site. Le CNPE du Blayais a réalisé un pompage de 12 133 m³ dans ces nappes. Il s'agit de la poursuite de la campagne d'assainissement de ces nappes marquées en tritium.

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés en 2020 avec les valeurs limites de prélèvement fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement	Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	
Estuaire de la Gironde	Débit instantané	180	179,6*	m ³ /s
L'Isle	Débit instantané	240	240**	m ³ /h
	Volume journalier	5 800	5136	m ³
	Volume annuel	1 200 000	755 977	m ³
Nappe du crétacé supérieur	Débit instantané	240	150***	m ³ /h
	Volume journalier	3600	3600	m ³
	Volume annuel	100 000	17 239	m ³

* Le débit maximal instantané est donné par l'arrêté de prélèvements d'eau et de rejets et ne peut technologiquement dépasser 179,6 m³/s.

** Le débit maximal instantané ne peut technologiquement dépasser 240 m³/h.

*** Le débit maximal instantané ne peut technologiquement dépasser 150 m³/h.

Commentaires :

Les valeurs maximales respectent les limites fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

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

En 2020, une campagne d'inspections télévisuelles des piézomètres (ouvrages permettant la réalisation de contrôles réglementaires dans les nappes souterraines) et forages a été menée afin de les expertiser.

Le préleveur en continu situé rive gauche sur le ponton « Gironde II » à Pauillac sur le site Airbus a été déplacé en fin d'année 2020 suite à la fermeture du site. Après l'accord du maire de la commune de Pauillac, le préleveur a été mis en place sur le ponton du port de plaisance au niveau du duc d'Albe d'amarrage. La durée des travaux a été estimée à 3 mois. La remise en service du préleveur a été réalisée en mars 2021.

Dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE du Blayais, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe (1 puits par tranche). Les travaux ont débuté en mars 2020. La première mise en exploitation est prévue en 2022 pour les 4 tranches

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Le CNPE du Blayais n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau en 2020.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			Unités
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	
Restitution mensuelle	Janvier	477 781	3,56	22,7	milliers de m ³
	Février	445 244	3,19	26,7	
	Mars	478 055	5,58	25,2	
	Avril	462 670	4,09	20,7	
	Mai	433 094	5,03	22,4	
	Juin	377 736	4,70	31,7	
	Juillet	320 006	6,12	19,5	
	Août	319 635	6,27	20,4	
	Septembre	247 146	4,17	29,9	
	Octobre	338 618	3,25	24,7	
	Novembre	320 094	5,31	23,1	
	Décembre	477 640	6,44	31,3	
TOTAL par type de restitution	Restitution au milieu aquatique	4 697 718	57,71	298,36	milliers de m ³
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	4698,074			millions de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	99,99			%

Le volume d'eau prélevé par le CNPE du Blayais est restitué à 99,99% au milieu naturel dans le respect des autorisations réglementées dans le milieu.

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

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

	Consommation d'eau (en milliers de m3)
Janvier	39,21
Février	33,64
Mars	39,38
Avril	37,50
Mai	39,69
Juin	43,88
Juillet	32,22
Août	33,83
Septembre	31,54
Octobre	29,82
Novembre	41,97
Décembre	44,12
TOTAL	446,80

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 refroidissement 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 par paire de tranche à la sortie de laquelle est réalisé, en permanence, un contrôle de l'activité rejetée.

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

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

- Les iodes présents dans les rejets d'effluents radioactifs du CNPE (principalement l'iode 131 et l'iode 133) sont des produits de fission, créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ou de plutonium.
- Les autres produits de fission (PF) et produits d'activation (PA) émetteurs β ou γ , correspondent principalement au césium et au cobalt.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	^{133m} Xe (GBq)	¹²⁷ Xe (MBq)	¹³¹ I (MBq)	¹³³ I (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (MBq)	⁷⁵ Se (Gbq)
Janvier	4,51	0,005	0,001	16,4	12,9	-	-	1,40	1,21	0,079	0,099	0,070	0,084	-
Février	5,51	0,004	0,002	15,8	11,3	-	-	0,61	1,15	0,077	0,091	0,067	0,074	-
Mars	5,82	0,003	0,001	16,0	11,5	-	-	1,41	1,29	0,072	0,096	0,069	0,075	-
Avril	3,66	0,002	0,001	15,4	11,5	-	-	0,22	1,29	0,076	0,089	0,065	0,083	-
Mai	14,5	0,053	0,004	16,1	11,9	-	0,020	1,43	1,10	0,072	0,096	0,068	0,080	-
Juin	11,4	-	-	15,7	11,1	-	-	0,22	1,13	0,074	0,092	0,067	0,081	-
Juillet	2,60	0,004	0,001	16,1	12,0	-	-	0,25	1,39	0,072	0,093	0,065	0,082	-
Août	10,2	0,008	0,005	16,2	11,8	-	-	0,21	1,15	0,081	0,094	0,066	0,078	-
Septembre	0,61	0,001	0,0003	18,6	16,6	-	-	1,75	1,20	0,078	0,094	0,070	0,080	0,069
Octobre	2,90	0,007	0,003	16,0	11,7	-	-	0,61	1,30	0,076	0,090	0,068	0,079	-
Novembre	13,7	-	-	17,6	71,0	-	-	4,45	1,25	0,072	0,085	0,067	0,077	-
Décembre	3,88	0,001	0,0001	16,3	13,4	-	-	0,85	1,10	0,075	0,083	0,066	0,078	-
TOTAL ANNUEL	79,3	0,089	0,018	196,2	207	0,00	0,020	13,4	14,6	0,904	1,10	0,807	0,951	0,069

	Volumes rejetés (millions m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (MBq)	Activités Autres PF et PA (MBq)
Janvier	404	33,77	54,47	67,13	2,609	0,3309
Février	374	32,56	54,34	67,13	1,761	0,3088
Mars	402	33,35	48,90	67,13	2,702	0,3125
Avril	382	30,59	55,66	62,63	1,508	0,3131
Mai	406	42,57	86,68	62,63	2,527	0,3163
Juin	390	38,19	103,1	62,63	1,346	0,3141
Juillet	395	30,62	135,8	123,2	1,639	0,3119
Août	406	38,15	127,6	123,2	1,358	0,3192
Septembre	393	35,77	111,2	123,2	2,949	0,3898
Octobre	397	30,56	63,31	83,3	1,908	0,3133
Novembre	388	102,3	62,26	83,3	5,698	0,3012
Décembre	387	33,65	37,53	83,3	1,948	0,3014
TOTAL ANNUEL	4724	481,8	940,9	1009	27,95	3,833

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

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2018	469	889	784	0,028	0,004
2019	440	993	755	0,027	0,004
2020	482	941	1000	0,028	0,004
Prévisionnel 2020	1 000	1 200	800	0,05	0,007

Commentaires :

Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020 excepté pour le carbone 14.

La production de carbone 14 est inhérente à la production d'électricité et est corrélé à l'énergie produite. Toutefois, sa production n'est pas directement proportionnelle à l'énergie produite sur la même période. Les valeurs de carbone 14 relevées en 2020 peuvent donc être représentatives de l'énergie produite en 2019 (25,29 milliards de KWh). Les limites réglementaires ont été respectées.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne
Gaz rares	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	72 000		481,78
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	50 000 000	167 000	152 000
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	50 000 000	274 000	246 000
Carbone 14	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	2 200		1 009
Tritium	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	8 000		940,9
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	5 000 000	34 200	14 200
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	5 000 000	33 200	18 300
Iodes	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,6		0,028
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	3,25	0,438
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	2,12	0,455
Autres produits de fission et produits d'activation	Installation	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,600		0,0038
	Cheminée n° 1	Débit instantané (Bq/s)	500	0,183	0,066
	Cheminée n° 2	Débit instantané (Bq/s)	500	0,072	0,056

Commentaires :

Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

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 (milliers de m ³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides	
		Tritium (MBq)	Iodes (Bq)	Tritium (MBq)	Iodes (Bq)
Janvier	32,4	400	0	67,1	0
Février	25,0	0	0	42,6	0
Mars	40,3	0	0	66,4	0
Avril	19,5	0	0	39,7	0,138
Mai	22,9	0	0	44,2	0
Juin	31,5	0	0	58,5	0
Juillet	23,8	0	0	25,2	0
Août	28,3	0	0	49,8	0
Septembre	31,1	0	0	37,3	0
Octobre	35,3	0	0	37,1	0
Novembre	33,7	300	0	66,6	0
Décembre	35,2	0	0	32,2	0
TOTAL ANNUEL	359	700	0	562	0,138

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

Au 1^{er} trimestre 2020, les réservoirs d'effluents gazeux radioactifs 8 TEG 001 BA et 9 TEG 001 A ont fait l'objet d'une modification notable au titre de l'arrêté du 30 décembre 2015 modifié, relatif aux équipements sous pression nucléaires permettant de garantir leur intégrité à la pression maximale admissible.

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

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

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

Les eaux issues des salles des machines (groupe turbo-alternateur) ne sont pas considérées comme des effluents radioactifs au sens de la réglementation (article 2.3.3 de la

décision n°2017-DC-0588). Ces eaux sont collectées sans traitement préalable vers des réservoirs dénommés réglementairement Ex où elles sont contrôlées avant d'être rejetées.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

	¹³¹ I (MBq)	⁵⁴ Mn (MBq)	⁶³ Ni (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	^{110m} Ag (MBq)	^{123m} Te (MBq)	¹²⁴ Sb (MBq)	¹²⁵ Sb (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	0,667	1,02	4,27	3,65	7,82	7,91	0,719	0,789	1,82	0,604	0,675
Février	0,571	0,694	5,74	1,95	6,96	9,91	0,538	0,535	1,68	0,542	0,600
Mars	1,12	1,12	4,69	1,79	10,8	14,3	0,855	1,05	3,15	1,03	1,19
Avril	0,798	0,887	2,45	0,766	5,01	7,22	0,671	0,731	2,16	0,731	0,823
Mai	1,06	1,76	4,02	2,40	8,05	30,19	0,787	1,57	2,97	0,956	1,14
Juin	1,32	1,79	3,15	22,6	8,61	22,8	0,967	4,52	3,80	1,18	1,41
Juillet	1,25	1,35	4,53	8,61	6,52	11,7	0,941	1,29	3,39	1,11	1,30
Août	1,34	1,81	3,89	5,95	17,1	38,3	0,996	1,64	3,77	1,25	1,46
Septembre	0,791	0,745	2,92	4,10	6,03	8,67	0,730	0,738	2,22	0,710	0,827
Octobre	0,696	0,753	3,90	4,96	5,98	3,84	0,533	0,637	1,85	0,624	0,748
Novembre	1,02	1,00	3,19	4,34	8,48	6,53	1,21	0,939	2,76	0,911	1,07
Décembre	1,27	1,23	3,22	2,48	9,11	7,05	1,84	21,4	9,14	1,15	1,32
TOTAL ANNUEL	11,9	14,2	46,0	63,5	100	168	10,8	35,8	38,7	10,8	12,6

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (MBq)	Activités Autres PF et PA* (MBq)
Janvier	22 360	5 470	6,07	0,667	25,0
Février	24 990	3 376	6,06	0,571	23,4
Mars	25 280	5 518	11,6	1,12	35,2
Avril	20 390	2 864	6,74	0,798	19,0
Mai	23 230	2 564	6,69	1,07	49,8
Juin	30 500	2 382	3,75	1,32	67,6
Juillet	21 420	1 833	2,38	1,25	36,2
Août	23 170	2 122	2,00	1,34	72,3
Septembre	29 370	2 062	2,29	0,791	24,8
Octobre	23 650	1 742	1,55	0,696	19,9
Novembre	24 010	3 047	3,37	1,02	27,2
Décembre	32 040	2 092	1,49	1,27	54,7
TOTAL ANNUEL	30 0410	35 072	54,0	11,9	455

*Hors Nickel 63

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

	Rejets par catégorie de radionucléides			
	Tritium (Gq)	Carbone 14 (GBq)	Iodes (MBq)	Autres PA et PF* (MBq)
2018	46 600	43,7	12,7	629
2019	44 400	45,0	12,3	474
2020	35 072	54,0	11,9	455
Prévisionnel 2020	60 000	60,0	14,0	800

*Hors Nickel 63

Commentaires :

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

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet	
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	80 000		35 072
	Débit d'activité (Bq/s)	800 x D (*)	1,51E+07	3,45E+06
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	600		54
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,6000		0,0119
	Débit d'activité (Bq/s)	1 x D (*)	5,46	1,08
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	60		0,455
	Débit d'activité (Bq/s)	7 x D (*)	332	38,78

* Débit de refroidissement en L/s transitant par les déversoirs : 21 000 L/s pour une pompe de refroidissement CRF en service et 42 000 L/s pour 2 pompes CRF en service.

Commentaires :

Les rejets radioactifs liquides respectent les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003

f. Surveillance des eaux réceptrices

Des prélèvements d'eau de l'estuaire 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 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 réceptrices pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant (valeurs moyennes et maximales).

Paramètre analysé	Activité volumique horaire à mi-rejet			Activité volumique : moyenne journalière			
	Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2020	Valeur maximale mesurée en 2020	Limite réglementaire	
Eau filtrée	Activité bêta globale	1,92 Bq/L	5,88 Bq/L	18 Bq/L	-	-	-
	Tritium	502 Bq/L	1430 Bq/L	1 800 Bq/L	104,1 ⁽¹⁾ Bq/L	424 ⁽¹⁾ Bq/L	900 ⁽¹⁾ Bq/L
					6,4 ⁽²⁾ Bq/L	12,3 ⁽²⁾ Bq/L	100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	62,9 mg/L	174 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	2,37 Bq/m ³	5,88 Bq/m ³	-	-	-	-

⁽¹⁾ limite réglementaire en présence de rejets radioactifs

⁽²⁾ limite réglementaire en l'absence de rejets radioactifs

Commentaires :

Les mesures de surveillance dans les eaux réceptrices pour l'année 2020 sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des rejets d'effluents autorisés du CNPE.

Les mesures d'activité bêta globale et de l'activité en tritium dans l'eau sont inférieures aux limites réglementaires fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

- des traitements des circuits du refroidissement à l'eau brute contre les dépôts de tartre et le développement des micro-organismes.

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- la lithine ($LiOH$) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- l'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- l'éthanolamine (C_2H_7NO) et l'ammoniaque (NH_4OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine (C_2H_7NO), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine.
- le phosphate trisodique (Na_3PO_4) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

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

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

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

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

L'étude d'impact n'a pas mis en évidence de risque sanitaire attribuable aux rejets liquides.

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 aux déversoirs

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet principal, constitué des deux déversoirs D2 et D3 est donné dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Ethanolamine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Phosphates (kg)	Ammonium (kg)	Aluminium (kg)	Fer (kg)	Métaux totaux (Pb, Mn, Cr, Cu, Zn) (kg)	DCO ⁽¹⁾ (kg)	DBO ₅ ⁽²⁾ (kg)	Hydrocarbures totaux ⁽³⁾ (kg)
Janvier	845	0,638	0,107	0,018	3,56	5,18	95,9	0,226	1,0	1,48	-	-	-
Février	807	0,626	0,083	0,016	3,22	27,4	96,0	1,21	4,2	3,19	-	-	-
Mars	692	0,669	0,063	0,028	5,57	9,05	114	2,26	3,9	2,66	-	-	-
Avril	849	0,515	0,058	0,020	4,10	5,39	147	3,94	6,1	3,46	-	-	-
Mai	895	0,580	0,080	0,025	5,03	3,88	223	0,74	1,8	1,23	-	-	-
Juin	972	1,08	0,275	0,024	4,69	36,6	159	0,797	2,1	1,90	-	-	-
Juillet	2 060	0,493	0,089	0,031	5,44	22,5	110	0,611	2,6	2,66	-	-	-
Août	992	0,685	0,168	0,031	6,28	25,2	228	0,583	2,4	2,27	-	-	-
Septembre	825	0,797	0,106	0,021	4,17	63,4	110	4,63	0,33	3,54	-	-	-
Octobre	1380	0,591	0,269	0,016	3,25	11,9	130	1,59	4,2	2,48	-	-	-
Novembre	1830	0,648	0,367	0,027	5,30	33,9	873	0,890	2,6	4,91	-	-	-
Décembre	1740	1,51	0,270	0,032	6,46	21,3	204	2,81	5,1	3,85	-	-	-
TOTAL ANNUEL	13 887	8,83	1,93	0,289	57,1	266	1 704	20,3	36	33,6	-	-	-

- (1) L'article 21-A de l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003 prescrit un contrôle des paramètres chimiques DCO et DBO5 au niveau des déversoirs D2 et D3. Les méthodes normalisées pour ces paramètres en eau douce étant inadéquates en milieu marin et estuarien, le compte rendu de la réunion de travail DSNR/DGSNR-IFREMER-EDF du 27/05/2004 relative à l'application de l'arrêté du 18/09/2003 (Réf. D.5158.RMN/THEPAUT du 01/07/2004) autorise un contrôle mensuel le même jour sur au moins 1 rejet de bache KER/SEK/TER, une fosse SEO et une fosse de neutralisation. Le cumul doit être inférieur aux limites de l'article 21-A. En 2020, aucune limite correspondant au cumul sur les 3 émissaires de rejet n'a été dépassée.
- (2) Sur les hydrocarbures, l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003 prescrit une limite sur la concentration maximale, calculée, ajoutée dans l'effluent après dilution 500, à partir de prélèvement réalisé mensuellement. En 2020, la limite sur la concentration maximale en hydrocarbures totaux n'a pas été dépassée.

Le cumul mensuel des métaux totaux transitant par l'ouvrage de rejet principal, constitué des deux déversoirs D2 et D3 est donné dans le tableau suivant :

	Cuivre (kg)	Zinc (kg)	Manganèse (kg)	Plomb (kg)	Chrome (kg)	Métaux totaux (kg)
Janvier	0,90	0,199	0,245	0,079	0,056	1,48
Février	0,31	1,42	1,37	0,025	0,062	3,19
Mars	0,28	0,583	1,71	0,025	0,063	2,66
Avril	0,22	0,465	2,62	0,102	0,051	3,46
Mai	0,34	0,709	0,074	0,045	0,058	1,23
Juin	0,46	0,610	0,548	0,209	0,076	1,90
Juillet	1,20	0,529	0,722	0,163	0,054	2,66
Août	0,93	0,688	0,518	0,076	0,058	2,27
Septembre	1,77	0,524	0,932	0,238	0,073	3,54
Octobre	1,22	0,635	0,540	0,032	0,059	2,48
Novembre	2,55	0,712	1,45	0,142	0,060	4,91
Décembre	2,66	0,731	0,298	0,079	0,080	3,85
TOTAL ANNUEL	12,8	7,80	11,0	1,21	0,751	33,6

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 2020 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2020 pour les tranches en fonctionnement.

Substances	Unité	2018	2019	2020	Prévisionnel 2020
Acide borique	kg	18 200	19 001	13 887	15 000
Ethanolamine	kg	55,6	8,7	8,83	100
Hydrazine	kg	1,4	1,4	1,9	2,3
Lithine	kg	2,837	0,3	0,289	4
Détergents	kg	63,5	60,6	57,1	70
Phosphates	kg	323	302	266	320
Ammonium	kg	2 036	1 654	1 704	3 050
Aluminium	kg	11,9	9,7	20,3	16
Fer	kg	31,847	21,8	36,3	37
Métaux totaux	kg	24,789	23,5	33,6	42

Commentaires :

Les rejets liquides chimiques sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2020 sauf pour le cumul annuel en aluminium qui a été dépassé. Cela peut s'expliquer par l'effet volume des rejets d'effluents SEK (effluent liquide chimique). La limite réglementaire a été respectée.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Substances	Limite Concentration maximale ajoutée dans l'effluent après dilution 500 (mg/L)	Rejet Valeur maximale calculée (mg/L)	Limite Flux 24h (kg)	Rejet Valeur maximale flux 24h calculé (kg)	Limite Flux 2h (kg)	Rejet Valeur maximale flux 2h calculé (kg)	Limite Flux annuel ajouté (kg)	Rejet Flux annuel calculé (kg)
Acide borique	24,00	1,400	9 000	700,0	3 600	280,0	42 000	13 887
Ethanolamine	0,0080	0,0017	11	5,3	3,00	0,18	1300	8,800
Hydrazine	0,050	0,0003	25,00	0,094	10,0	0,046	121	1,90
Lithine	0,007	8,30E- 06	2,000	0,0062	1,000	0,0051	8,000	0,289
Détergents	0,4000	0,0017	150	1,20	60	0,28	6 600	57,100
Ammonium	0,180	0,085	110	24,0	66	9,5	10 000	1704
Phosphates	0,850	0,041	220	8,60	146	6,20	1 400	266
Aluminium	0,003	0,0006 3	4,00	0,24	1,00	0,13	200	20,3
Fer	0,0034	0,0006	5,0	0,42	1,5	0,20	-	36,3
Métaux totaux	0,0030	0,0017	4,0	0,81	1,0	0,27	-	33,6
DCO	0,3	-	400	-	110	-	-	-
DBO5	0,1	-	150	-	40	-	-	-
Hydrocarbures totaux	0,5	-	-	-	-	-	-	-

Commentaires :

Les rejets liquides chimiques respectent les valeurs limites de l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

b. Rejets des eaux pluviales dans le marais

i. Suivi mensuel

Le tableau ci-dessous présente les analyses chimiques réalisées sur les eaux pluviales rejetées dans le marais en 2020.

	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	Azote Kjedahl (mg/L)	Métaux totaux (mg/L)	Hydrocarbures (mg/L)
Janvier	8,2	<10	0,60	0,90	<0,10
Avril	7,4	14	0,50	0,33	<0,10
Juillet	4,5	<10	0,80	0,30	<0,10
Octobre	2,4	10	1,0	0,58	<0,10

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale (mg/L)
MES	100	8,2
DCO	125	14
Azote Kjédhal	30	1,0
Métaux totaux	5	0,90
Hydrocarbures	5	<0,10

Commentaires :

Les mesures de surveillance réalisées sur les eaux pluviales rejetées dans le marais pour l'année 2020 sont très inférieures aux limites réglementaires fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

c. Rejets des eaux via le rejet en berge

i. Suivi mensuel

Le tableau ci-dessous présente les analyses en hydrocarbures totaux réalisées au niveau de l'ouvrage de rejet en berge en 2020.

	Hydrocarbures totaux (mg/L)
Janvier	<0,1
Février	<0,1
Mars	<0,1
Avril	<0,1
Mai	<0,1
Juin	<0,1
Juillet	<0,1
Août	<0,1
Septembre	<0,1
Octobre	<0,1
Novembre	<0,1
Décembre	<0,1

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Limites	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale (mg/L)
Hydrocarbures	5	<0,1

Commentaires :

Les mesures en hydrocarbures totaux réalisées sur les eaux rejetées via le rejet en berge pour l'année 2020 sont très inférieures aux limites réglementaires fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

d. Rejets d'effluents liquides issus de la station de déminéralisation

i. Cumul mensuel

	MES (t)	Sulfates (t)	Autre sels (t)
Janvier	12,6	8,55	1,56
Février	12,4	6,29	0,95
Mars	14,9	6,47	1,39
Avril	16,5	7,79	1,44
Mai	9,90	7,35	1,46
Juin	24,0	14,7	2,41
Juillet	14,6	9,98	1,83
Août	11,5	7,96	1,32
Septembre	17,7	9,12	1,82
Octobre	11,1	8,28	1,25
Novembre	13,4	10,33	1,79
Décembre	15,6	16,84	2,63

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Limites				Rejets			
	Flux annuel (t)	Flux 24h (t)	Flux 2h (t)	Concentration maximale avant dilution (g/L)	Flux annuel (t)	Flux 24 h valeur maximale (t)	Flux 2 h valeur maximale (t)	Concentration maximale avant dilution valeur maximale (g/L)
MES	560	6,00	1,8	10,0	174	3,81	1,64	9,90
Sulfates	300	3,20	1	5,40	114	2,24	0,90	5,39
Autres sels	100	1,20	0,36	2,00	19,9	0,33	0,15	0,88

Commentaires :

Les mesures en MES, sulfates et autres sels au niveau de la station de déminéralisation respectent les valeurs réglementaires fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

e. Rejets d'effluents liquides issus des stations de relevage de chaque paire de réacteurs

i. Suivi mensuel

Le suivi mensuel des substances chimiques au niveau des stations de relevage de chaque paire de réacteurs en 2020 est présenté dans le tableau ci-dessous.

	Station de relevage commune aux réacteurs 3/4				Station de relevage commune aux réacteurs 1/2			
	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	Azote global (mg/L)	Hydrocarbures (mg/L)	MES (mg/L)	DCO (mg/L)	Azote global (mg/L)	Hydrocarbures (mg/L)
Janvier	4,4	<10	2,5	<0,10	14	22	12	1,4
Février	5,6	15	2,5	0,31	38	39	14	0,41
Mars	8,8	<10	1,9	<0,10	15	19	7,6	<0,10
Avril	4,8	11	2,1	<0,10	5,2	<10	7,2	0,24
Mai	11	16	2,2	<0,10	21	22	6,7	0,32
Juin	6,6	<10	2,1	<0,10	40	23	3,5	0,37
Juillet	3,2	<10	4,2	<0,10	9,2	32	23	<0,10
Août	1,4	13	2,7	<0,10	8	24	24	<0,10
Septembre	4,2	12	2,7	<0,10	16	17	15	<0,10
Octobre	27	18	2,5	0,35	19	13	11	<0,10
Novembre	6,0	45	2,8	0,16	23	11	9,4	0,28
Décembre	8,6	34	2,5	<0,10	19	13	4,6	<0,10

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs maximales observées durant l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Station de relevage commune aux réacteurs 3 et 4		Station de relevage aux réacteurs 1 et 2			
	Limites		Rejets			
	Flux 24h (kg)	Concentration maximale avant dilution (mg/L)	Flux maximal 24h (kg)	Concentration maximale avant dilution (mg/L)	Flux maximal 24h (kg)	Concentration maximale avant dilution (mg/L)
MES	37	30	12	27	100	40
DCO	102	83	28	45	60	39
Azote global	50	30	2,0	4,2	11	24
Hydrocarbures	6	5	0,16	0,35	0,52	1,4

Commentaires :

En 2020, pour la station de relevage tranche 9, la concentration maximale avant dilution et le flux 24 heures a été dépassée pour le paramètre MES à plusieurs reprises. Ces dépassements ont fait l'objet d'une déclaration d'évènement présentée en Partie I chapitre I paragraphe V.1.

On ne note aucun dépassement de limite réglementaire pour la station de relevage tranche 8 en 2020.

f. Rejets d'effluents liquides issus de la station d'épuration des eaux usées

i. Relevés mensuels

Le tableau ci-dessous présente les analyses réalisées en sortie de la station d'épuration en 2020.

	DCO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	MES (mg/L)	Azote Kjedahl (mg/L)
Janvier	82	8,0	5,0	16
Février	55	6,0	9,2	10
Mars	60	7,0	7,8	4,5
Avril	58	3,0	17	3,1
Mai	37	2,2	2,2	4,2
Juin	73	6,0	6,4	4,4
Juillet	110	16	28	25
Août	110	16	9,4	34
Septembre	120	12	12	38
Octobre	66	5,0	12	14
Novembre	110	12	35	26
Décembre	120	12	39	34

ii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2020 avec les valeurs limites de rejets fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Paramètres	Limites			Rejets		
	Flux 24h (kg)	Concentration maximale avant dilution (mg/L)	Rendement minimum (%)	Flux 24h (kg)	Concentration maximale avant dilution (mg/L)	Rendement minimum (%)
DCO	33,8	80	>90	9,8	120	67,1
DBO5	11,3	30	>90	1,1	16	92,3
MES	11,3	30	>90	3,0	39	78,1
Azote Kjeldahl	17	40	>60	3,1	38	66,4

Commentaires :

En 2020, la limite de rejet concernant la concentration maximale ajoutée en DCO a été dépassée à 5 reprises avec une concentration maximale de 120 mg/L. La limite de rejet concernant la concentration maximale ajoutée en MES a été dépassée à 2 reprises avec une concentration maximale de 39 mg/L.

Concernant les flux 24h, aucune limite n'a été dépassée.

En 2020, le rendement minimum de la STation d'EPuration n'a pas été atteint à 6 reprises pour le rendement en DCO et une fois pour le rendement en MES. Le CNPE du Blayais travaille à l'amélioration de la performance de la STEP (Cf. Partie I chapitre I paragraphe V.2).

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

L'évaporateur 8 TEU 001 EV sur la chaîne de traitement des effluents radioactifs liquides des réacteurs 3 et 4, a été indisponible jusqu'au mois de juin 2020 suite à une opération de maintenance réglementaire réalisée en 2019 (opération de maintenance réglementaire tous les 10 ans). Des défauts dus à un phénomène de corrosion sous contraintes ont été découverts.

Pendant l'indisponibilité prolongée de cet équipement, les effluents normalement traités par celui-ci ont été transférés vers le système de traitement des effluents de l'autre paire d'unités de production.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

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

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

Afin de réduire le volume d'eau prélevée et limiter l'échauffement du milieu aquatique, le refroidissement des CNPE implantés sur des cours d'eau à faible ou moyen débit est assuré en circuit fermé au moyen d'aérateurs. Dans un aérateur, une grande part de la

chaleur extraite du condenseur est transférée directement à l'atmosphère sous forme de chaleur latente de vaporisation (75 %) et sous forme de chaleur sensible (25 %). Le reste de la chaleur est rejeté au cours d'eau par la purge. La purge de l'aéroréfrigérant constitue donc le rejet thermique de l'installation.

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE du Blayais et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées par l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18 septembre 2003.

Le CNPE du Blayais réalise en continu des mesures de températures en amont, au rejet et en aval du CNPE et assure un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur.

Les valeurs moyennes mensuelles pour ces différents paramètres pour l'année 2020 sont présentées dans les tableaux suivants :

	Température moyenne mesurée à la prise d'eau (°C)	Echauffement moyen au rejet (°C)	Température moyenne au rejet (°C)	Température moyenne Gironde (°C)	
				Amont	Aval
Janvier	8,2	9,2	17,4	10,3	9,1
Février	8,9	9,1	18,0	9,5	10,0
Mars	12,4	8,4	20,8	12,7	13,2
Avril	15,9	9,2	25,1	16,9	16,6
Mai	19	7,9	26,9	17,8	19,4
Juin	21,3	6,2	27,5	22,5	21,5
Juillet	23,6	8,6	32,2	22,6	24,3
Août	25,2	8,8	34,0	25,9	25,8
Septembre	22,7	8,5	31,2	26,1	22,9
Octobre	16,3	8,4	24,7	17,2	19,6
Novembre	14,7	6,9	21,6	14,6	13,1
Décembre	9,7	7,7	17,4	10,6	11,1

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003. Le tableau suivant présente les valeurs maximales mesurées en 2020.

Paramètres	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement amont-aval calculé	11 °C	10,96
Température au rejet	30 °C du 15 octobre au 15 mai	29,2
	36,5 °C du 15 mai au 15 octobre	36,4
Température Gironde Amont	30 °C pendant 3 heures consécutives	31,1
Température Gironde Aval	30 °C pendant 3 heures consécutives	29,8

Commentaires :

Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques fixées par l'arrêté de rejets et de prise d'eau du 18 septembre 2003 ont été respectées en 2020.

La valeur maximale de température atteinte en Gironde en amont du CNPE du Blayais a été de 31,1 °C en juillet 2020. La température a dépassé la limite des 30 °C pendant quelques minutes.

A l'été 2020, des baisses de production préventives ont été réalisées sur le réacteur n°2 (entre le 9 et le 13 août et entre le 20 et le 25 août) et sur le réacteur n°4 entre le 10 et le 13 août).

La perte de production est estimée à 16 078 MW pour la tranche 2 et 1 460 MW pour la tranche 4.

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

L'année 2020 n'a pas été concernée par des actions de maintenance particulières, hors maintenance programmée et opérations de dépannage courantes, mais sans impact significatif sur la surveillance de l'environnement.

Partie V - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, plusieurs milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE. 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.

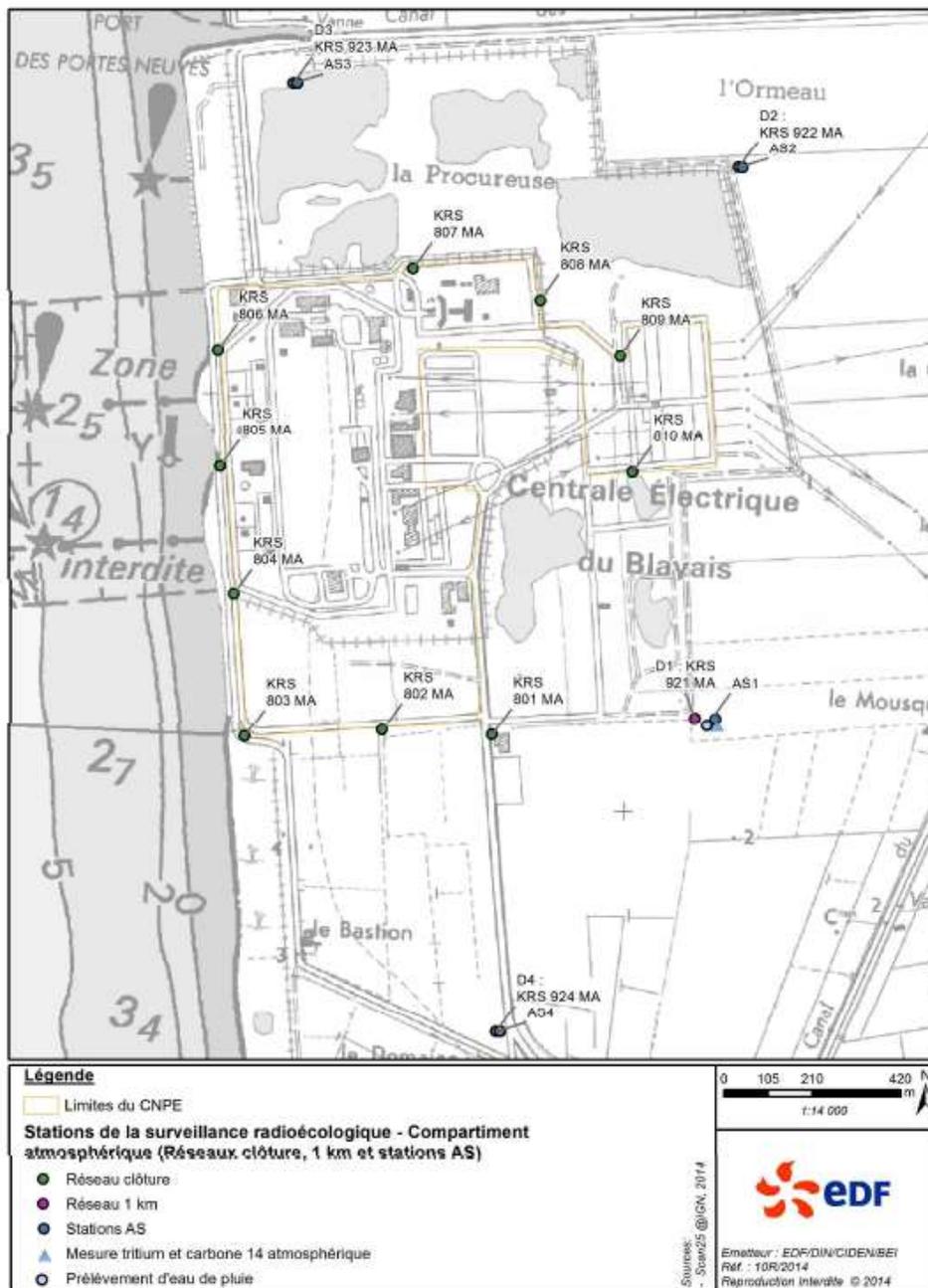
Les stations de prélèvements sont choisies en fonction de la rose des vents locale, des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement du CNPE. Les prélèvements collectés dans l'environnement terrestre sont répartis en distinguant 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.

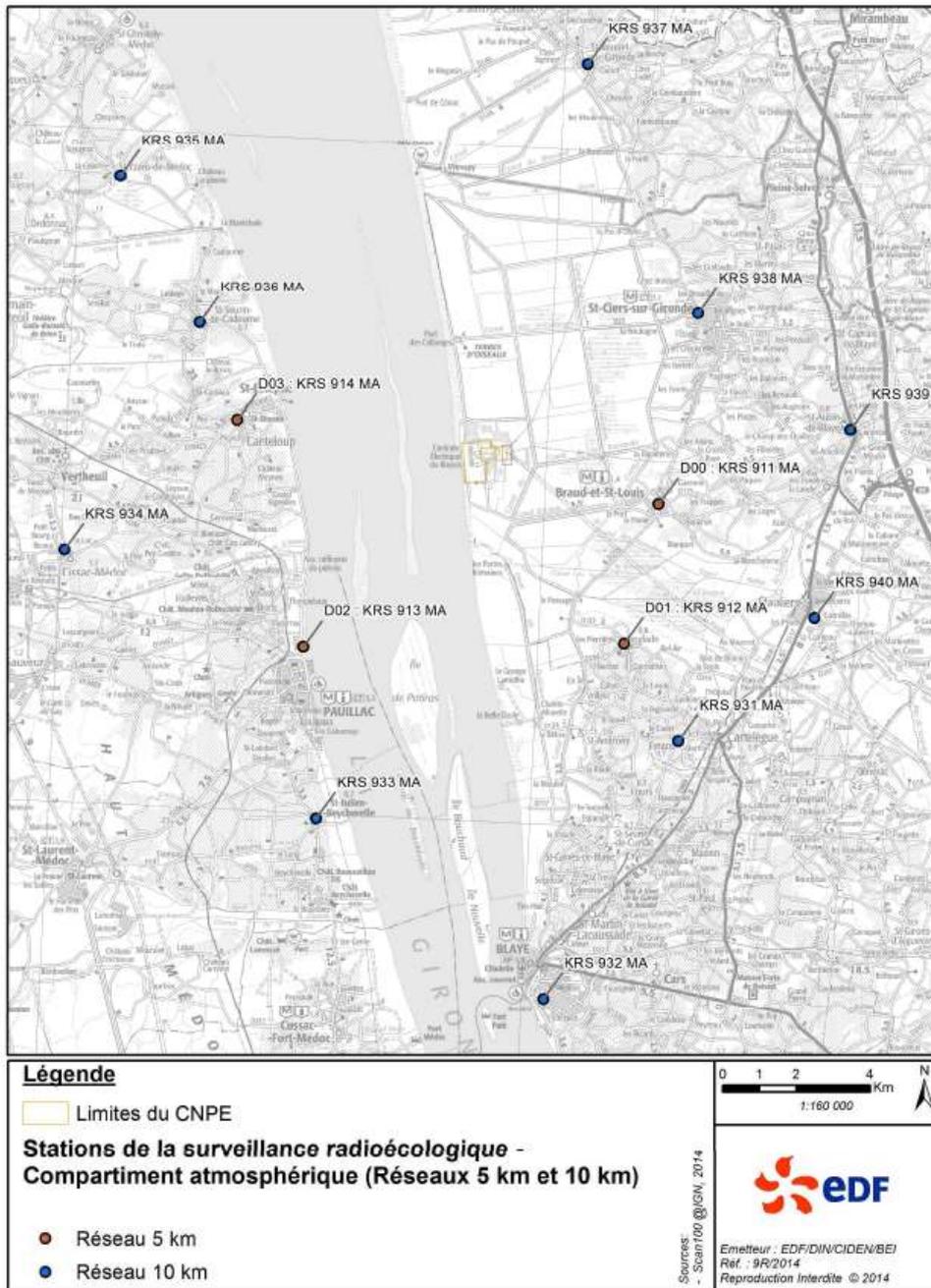
Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis 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 donnent l'alerte en cas de dépassement du bruit de fond ambiant augmenté de 114 nSv/h. Les balises sont également équipées d'un système d'alarme signalant toute interruption de leur fonctionnement.





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

Réseau de mesure	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose max année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2018 (nSv/h)
Clôture	106,5	177,6	89,8	88,2
1 km	84,8	145,2	82,3	88,5
5 km	99,3	240	98,4	98,7
10 km	97,8	216	98	95

Commentaires :

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

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

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

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire (pour chaque analyse)
Poussières atmosphériques	Bêta globale	< 5,12 E-04 Bq/m ³	2,64 E-03 Bq/m ³	0,002 Bq/m ³
	Spectrométrie gamma	¹³⁷ Cs	< 4,45 E-06 Bq/m ³	-
		⁴⁰ K	< 11,47 E-05 Bq/m ³	-
Tritium atmosphérique		< 0,162 Bq/m ³	< 0,2 Bq/m ³	50 Bq/m ³
Eau de pluie	Bêta globale	< 0,159 Bq/L	0,34 Bq/L	-
	Tritium	< 4,29 Bq/L	-	-
	Potassium	0,329 mg/L	-	-

Commentaires :

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

Les mesures d'activité en bêta global sur les poussières atmosphériques ont donné lieu à un dépassement de la limite réglementaire en septembre (16, 17, 18 et 19) et en novembre (23 et 24). Conformément à l'article 14 de l'arrêté de rejet et de prise d'eau du 18/09/2003, des analyses isotopiques complémentaires par spectrométrie gamma ont été réalisées sur les échantillons concernés. Les analyses complémentaires indiquent que ce sont des radioéléments naturels qui expliquent les résultats significatifs.

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2020 sont donnés dans le tableau suivant. Concernant les résultats des analyses par spectrométrie gamma, seules les activités relatives aux radionucléides d'origine artificielle et supérieures aux seuils de décision sont présentées.

Nature du prélèvement	Radionucléide	Périodicité	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée
Végétaux terrestres (Bq/kg sec)	Spectrométrie gamma	Mensuelle	<0,5	<0,5
			725	989
Lait (Bq/L)	Spectrométrie gamma	Mensuelle	43	58

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2019 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 1**.

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2019 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 1**.

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.

	Piézomètres réglementaires	Piézomètres non réglementaires
Paramètres	Valeur maximale mesurée	Valeur maximale mesurée
Tritium	Inférieur à 20 Bq/L	78,4 Bq/L sur le 0 SEZ109 PZ à l'intérieur de la paroi moulée des réacteurs tranche 3 et 4 Le marquage en tritium, des eaux souterraines confinées dans l'enceinte géotechnique, fait l'objet d'épuration.
Bêta global	2,16 Bq/L sur 0 SEZ 104 PZ situé à l'intérieur de la paroi moulée des réacteurs tranche 3 et 4. Les valeurs élevées en bêta global sont en lien avec le bruit de fond hydrogéochimique de la nappe (eaux saumâtres)	Inférieur à 1 Bq/L

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 l'ensemble des piézomètres du CNPE.

Le tableau ci-dessous fournit les valeurs supérieures au seuil de détection relevé en 2020 sur l'ensemble des piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Hydrocarbures totaux	µg/L	2600 µg/L sur 0 SEZ 106 PZ Ré-indiçage de l'évènement ESE 05-2018. Suivi hydrocarbure bi-mensuel tel que prévu dans le plan de gestion.
Phosphates	mg/L	1,8 mg/L sur 0 SEZ 109 PZ supérieur au seuil S1 (suivi bi-mensuel)
Nitrates	mg/L	32 mg/L sur 0 SEZ 110 PZ supérieur au seuil S1 (suivi mensuel)

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par un institut de recherche indépendant (IFREMER), dans l'estuaire de la Gironde, huit campagnes annuelles de mesures de certains paramètres physico-chimiques naturellement présents en milieu estuarien sur 3 points d'échantillonnages.

Ces 3 points sont situés hors du chenal de navigation de l'estuaire. L'un des points, le Point E, est situé en regard du CNPE à proximité des rejets thermiques de la centrale. Les deux autres points, Point K et Point F, sont situés respectivement en amont et en aval du Point E. Les résultats présentés dans le rapport annuel de l'IFREMER, aboutissent aux conclusions suivantes :

Les moyennes des températures dans l'estuaire de la Gironde évoluent saisonnièrement, en fonction de l'insolation et des températures de l'air.

Les salinités moyennes annuelles observées au point E en 2020 en surface et au fond sont dans la gamme des moyennes mesurées depuis 1992, et sont expliquées par le régime fluvial annuel.

Les variations du pH ne subissent aucun effet détectable du CNPE du Blayais, et sont principalement dues à des processus mettant en jeu les apports d'eaux douces fluviales. En 2020, les pH minimums atteignent des valeurs très basses en raison des échantillonnages réalisés lors de forts débits fluviaux.

La comparaison interannuelle des concentrations en MES mesurées depuis 1992 au point E montre que l'année 2020 se situe dans la gamme des concentrations mesurées dans l'estuaire. La turbidité varie principalement en fonction des concentrations en MES.

L'année 2020 se situe dans la gamme haute des concentrations en oxygène dissous mesurées dans l'estuaire. Toutefois les fortes concentrations et les forts taux de saturations

sont enregistrés surtout à l'automne-hiver 2020-2021, favorable à une forte oxygénation des eaux. Lors de la période estivale, les concentrations sont plus faibles, mais dans la gamme habituelle de variation.

Les concentrations en Carbone Organique dissous, Particulaire et total ainsi que les rapports COP/MES et COP/Chla ont montré des valeurs et une variabilité spatio-temporelle assez classique pour l'estuaire de la Gironde indiquant notamment la présence majoritaire d'un COP très dégradé issu principalement de la matière associée au bouchon vaseux dont la dynamique est le principal facteur de contrôle. Toutefois, il apparaît une contribution forte du phytoplancton à la matière organique particulaire lors de l'été 2020 du fait des conditions environnementales favorables à la croissance phytoplanctonique. Même si une telle contribution a déjà été observée dans cet estuaire, elle indique que l'été 2020 fut un été atypique du point de vue de la matière organique particulaire.

L'année 2020 est une année atypique pour le paramètre **ammonium**. De fortes concentrations en ammonium (avec un maximum à 4 $\mu\text{mol/L}$ au point K) ont été mesurées à PM sur le point K et F durant la période estivale (juillet et août), mais également en janvier 2021 (campagne compensatoire) sur l'ensemble des points à PM et BM. Si ces résultats semblent vraisemblables car positivement corrélés avec les teneurs mesurées en nitrite, une contamination aéroportée lors des prélèvements n'est pas exclue. Ces derniers ayant été réalisés dans des conditions particulières du fait de la pandémie au coronavirus SARS-CoV-2.

En 2020, les moyennes interannuelles des concentrations en **nitrite+nitrate** mesurées se situent dans la gamme des teneurs habituellement observées dans l'estuaire, elles suivent le gradient de salinité. Un cycle estival marqué est observé aux points F et E à basse mer et pleine mer. Cette baisse des teneurs en nitrate+nitrite est négativement corrélée avec les concentrations en chlorophylle a mesurées à la même période.

En 2020, les concentrations en **phosphate** mesurées sont légèrement plus faibles par rapport aux quatre dernières années. Un cycle estival est observé au point F (PM) en été, négativement corrélée avec les teneurs en chlorophylle a, sans doute en réponse à la consommation de ce nutriment par le phytoplancton.

Cette année se distingue également par des cycles estivaux marqué pour les nutriments **silicates et nitrate** traduisant très vraisemblablement un bloom phytoplanctonique durant l'été.

L'ensemble de ces résultats ne mettent pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE du Blayais sur le domaine pélagique suivi.

2. Chimie des eaux de surface

Certaines substances chimiques issues du fonctionnement du CNPE sont recherchées (Ethanolamine, morpholine, hydrazine, agents de surface, haloformes) au niveau de l'estuaire de la Gironde.

Les teneurs en **bore** relevées en 2020 correspondent à celles naturelles de cet élément dans l'eau de mer, dépendant des périodes de crues et d'étiage, et ne montrent aucune influence du fonctionnement du CNPE du Blayais sur ce paramètre.

Les résultats obtenus pour les substances chimiques (**hydrazine, morpholine, ethanolamine**) sont conformes aux années antérieures et ne montrent pas d'influence du fonctionnement du CNPE du Blayais sur ces paramètres.

Les résultats obtenus pour les **agents de surface anioniques** sont probablement le fait de l'amélioration des performances mises en oeuvre en 2019 (changement de sous-traitant).

L'ensemble de ces résultats ne mettent pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE du Blayais sur le domaine pélagique suivi.

IV. Surveillance écologique et halieutique

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance écologique à IFREMER et la surveillance halieutique à INRAE.

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.

L'année 2020 a été fortement marquée par la crise sanitaire COVID-19. Les restrictions associées aux mesures de protection sanitaires liées à cette crise ont perturbé la mise en oeuvre de la surveillance écologique et halieutique du milieu marin aux abords des CNPE situés en bord de mer et estuaire. Au total, plus de 99% des prélèvements prévus sur les 5 CNPE en 2020 (soit plus de 5000) ont néanmoins été effectués.

En ce qui concerne le CNPE du Blayais, une majeure partie du programme de surveillance a pu être mis en oeuvre malgré les difficultés rencontrées. Néanmoins, certaines adaptations du programme habituel ont été nécessaires au vu du contexte qui a rendu impossibles les embarquements du personnel en charge de ces campagnes entre mars et juin 2020 (voir tableau récapitulatif ci-dessous) :

- Les campagnes pélagique et benthique subtidal mensuelles habituellement menées d'avril à novembre 2020 ont dû être décalées et menées de juin 2020 à janvier 2021. Au vu de la robustesse de la chronique de données de surveillance du milieu aux abords du CNPE dont dispose EDF, les décalages ponctuels de ces campagnes sont estimés sans impact significatif sur la qualité globale de la surveillance du CNPE du Blayais.
- Les campagnes halieutiques mensuelles habituellement menées entre mars et mai 2020 n'ont pas pu être réalisées. Au vu de la fréquence soutenue de surveillance de ce domaine et du caractère peu biogène des mois impactés, il n'a pas été estimé pertinent de replanifier ces campagnes à une autre période de l'année

Au vu de la robustesse des chroniques de données de surveillance du milieu aux abords du CNPE dont dispose EDF, les reports et annulations ponctuelles de ces campagnes de surveillance du milieu sont estimés sans impact significatif sur la qualité globale de la surveillance du CNPE du Blayais.

BLAYAIS - Arrêté du 18/09/2003				
Domaine	Compartiment	Programme - Campagnes	Prévision des Campagnes	Etat
Pélagique et Benthique	Physico-chimie / Chimie Phytoplancton Zooplanton Microbiologie Benthos subtidal	8 campagnes / an	1 : Prévüe en avril	Reportée : réalisée les 8-9-10/11/2020
			2 : Prévüe en mai	Reportée : réalisée les 25-27/01/2021
			3 : Prévüe en juin	Réalisée les 15-18/06/2020
			4 : Prévüe en juillet	Réalisée les 13-17/07/2020
			5 : Prévüe en août	Réalisée les 10-14/08/2020
			6 : Prévüe en septembre	Réalisée les 13-15/09/2020
			7 : Prévüe en octobre	Report suite à aléa météo - réalisée les 4-5-6/12/2020
			8 : Prévüe en novembre	Réalisée les 25-28/11/2020
Halieutique	Macrofaune halieutique	12 campagnes / an	1 : Prévüe en janvier	Réalisée en janvier 2020
			2 : Prévüe en février	Réalisée en février 2020
			3 : Prévüe en mars	Annulée
			4 : Prévüe en avril	Annulée
			5 : Prévüe en mai	Annulée
			6 : Prévüe en juin	Réalisée en juin 2020
			7 : Prévüe en juillet	Réalisée en juillet 2020
			8 : Prévüe en août	Réalisée en août 2020
			9 : Prévüe en septembre	Réalisée en septembre 2020
			10 : Prévüe en octobre	Réalisée en octobre 2020
			11 : Prévüe en novembre	Réalisée en novembre 2020
			12 : Prévüe en décembre	Réalisée en décembre 2020

LEGENDE	
	Réalisé tel que prévu ou reporté et réalisé selon des modalités conformes aux prescriptions réglementaires
	Report (selon des modalités différant des prescriptions réglementaires)
	Annulé

1. Surveillance pérenne

a. Surveillance écologique

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

L'année 2020 a été fortement marquée par la pandémie de COVID-19. Malgré les nombreuses contraintes qui en ont découlé, le programme de surveillance du CNPE du Blayais a pu être mis en oeuvre et mené dans son intégralité grâce à la mobilisation des équipes et au report des missions pélagiques d'avril et de mai respectivement en décembre 2020 et janvier 2021 et de la mission intertidale d'avril à juin. Ces reports de missions n'ont pas eu d'incidence sur la surveillance écologique du CNPE du Blayais et aucun écart aux exigences réglementaire n'est à signaler. Cependant, les données des campagnes compensatoires n'ont pas été comparées aux séries historiques.

L'année hydrologique est dans la moyenne récente, si l'on considère le débit fluvial moyen. L'année a été marquée par des crues au printemps et à l'automne 2020, qui contrastent avec un étiage très sévère lors des mois d'été.

Sur le plan des **températures atmosphériques**, l'année 2020 est la plus chaude depuis le début des relevés à Pauillac, malgré un arrosage abondant en Gironde. C'est la 7ème année consécutive où la moyenne annuelle des températures se situe au-dessus de la normale 1981-2010 et c'est la 5ème année la plus pluvieuse depuis 1984, malgré 2 mois exceptionnellement secs. Les sols superficiels de la Gironde atteignent des records de saturation à plusieurs reprises, propices à des situations d'inondation.

Les données hydrologiques acquises en 2020 répondent principalement à des processus mettant en jeu les apports d'eaux douces fluviales et sont caractéristiques de ce milieu estuarien.

Les données obtenues pour les **nutriments** s'inscrivent dans un fonctionnement normal de l'estuaire, traduisant un bloom phytoplanctonique en période estivale, avec cependant une année atypique pour l'ammonium (à rapprocher probablement d'une contamination aéroportée).

Les concentrations en **carbone organique** dissous, particulaire et total ainsi que les rapports COP/MES et COP/Chla ont montré des valeurs et une variabilité spatio-temporelle assez classique pour l'estuaire de la Gironde. Une forte contribution du phytoplancton à la matière organique particulaire apparaît lors de l'été 2020, indiquant un été atypique du point de vue de la matière organique particulaire.

Les teneurs en **chlorophylle a**, très élevées en été et corrélées aux cycles saisonniers des nitrates et silicates sont en accord avec les concentrations élevées en COP observées pour la même période, suggérant l'occurrence d'un fort bloom phytoplanctonique. Les teneurs en **phaeopigments** sont corrélées à la concentration en matière en suspension et semblent suivre la dynamique du bouchon vaseux.

Les abondances en vibrions totaux ont suivi, en 2020, un cycle annuel classique pour l'estuaire de la Gironde, et sont gouvernées par la température de l'eau, avec cependant une baisse des teneurs en vibrions durant la période automnale, en particulier au point K.

Concernant le compartiment **zooplancton**, Les faibles conditions de débits de début d'année 2020 ont eu des conséquences sur la distribution spatiale de l'ensemble des espèces observées. Les autres paramètres considérés (% de mortalité, fécondité) correspondent à des observations habituelles et caractéristiques de l'estuaire de la Gironde.

Tant dans le domaine subtidal que dans l'intertidal, excepté le point E (situé au débouché des canalisations de rejet des eaux de refroidissement du CNPE) en 2020, la dynamique interannuelle des **peuplements macrobenthiques** de l'estuaire de la Gironde, suivi depuis 14 ans, indique une poursuite de l'amélioration de l'état de ces peuplements, par rapport à leur dégradation sensible de 2006 à 2014. Cette dynamique peut être gouvernée par des fluctuations naturelles de l'environnement hydroclimatiques ou refléter des tendances dans la qualité écologique de l'écosystème girondin, sans que l'activité du CNPE du Blayais ne soit décelée sur le compartiment benthique.

En conclusion, le suivi écologique réalisé à proximité du CNPE du Blayais en 2020 ne met pas en évidence d'influence du fonctionnement du CNPE sur les compartiments pélagique et benthique suivi.

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE du Blayais.

b. Surveillance halieutique

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

L'année 2020 ressemble à 2000 : elle est chaude (la plus chaude depuis 1985) et humide. Cependant, contrairement aux années précédentes, son débit moyen a été relativement faible, la durée de l'étiage a été prolongée et les crues ont été les plus importantes à la fin de l'année.

Le module annuel cumulé du débit des deux fleuves est faible en 2020. Il est légèrement en-dessous du débit médian depuis 2000.

Après 2019 qui était caractérisée par l'une des plus faibles diversités annuelles des 10 dernières années (21 espèces, juste au-dessus de 2009 et analogue à 2010), **le nombre d'espèces observées sur les 9 mois échantillonnés de 2020 est supérieur à la moyenne pluriannuelle (24 espèces contre 23 sur l'ensemble des années)**. Il reste cependant encore inférieur à celui de 2016 (26) ou de 2012 (28).

La structure du peuplement selon la guilda écologique des espèces est légèrement différente de celle de 2019. Comme certaines années antérieures (comme 2013), elle est marquée par **un fort nombre d'espèces d'origine dulçaquicole (6) et une part prépondérante d'espèces marines (9)**. Malgré un débit annuel faible et un long étiage, **cette année, la structure du peuplement est relativement équilibrée** (avec tout de même près de 42 % des espèces capturées d'origine marine).

L'abondance globale de 2020, bien qu'elle soit presque 20 % plus élevée que celle de 2017 (la valeur la plus basse de la série depuis 1985) se situe à un niveau qui reste très bas depuis plusieurs années et qui a tendance à rediminuer depuis 2018 (68,36 individus/1000m³ en 2017, 119,26 individus /1000m³ en 2018 et 97,77 individus/1000m³ en 2019, sans mars, avril, mai). Il s'agit même de la **2ème abondance la moins importante depuis 1985 (sans mars, avril, mai)**.

L'abondance 2020 se caractérise par le recul significatif de plusieurs espèces. Notamment, **les abondances de gobie, crevette grise, flet, anchois et civelle** figurent parmi **les plus faibles sur la période 1985-2020 (sans mars, avril et mai)** et ces deux dernières espèces établissent même un nouveau **record d'abondance minimale jamais atteinte depuis 1985**.

A l'inverse du **maigre** qui est **très abondant** cette année, et du **mulet**, du **bar**, du **sprat** et de la **sole** qui affichent un **niveau médian**, toutes les **autres espèces** enregistrent de **faibles abondances**, généralement même en-deçà de celles de 2019. Seuls l'**épinoche** et le **maigre** affichent une **grande augmentation de leurs abondances par rapport à l'année dernière**.

Pour autant, les évolutions des **espèces marines** sont finalement **assez contrastées en 2020**. Alors que le **bar**, le **sprat** et la **sole** sont caractérisés par un **niveau d'abondance médian**, le **maigre** a une **abondance dans la fourchette haute**. A l'inverse, le **syngnathe** a une abondance située proche du **premier quartile** sur la période 1985-2020 depuis les quatre dernières années. Et la **crevette grise** enregistre elle sa **deuxième abondance la plus faible** sur la période 1985-2020, juste après 2018. Sans parler de l'**anchois** qui atteint son **niveau d'abondance le plus faible** depuis 1985 (sans mars, avril, mai).

Le mulet excepté, la situation des espèces de migrateurs amphihalins reste préoccupante, notamment pour l'alose. Les jeunes stades d'aloses, en baisse depuis les années 1995, dont les reproducteurs diminuent depuis la fin des années 1990, se sont considérablement raréfiés depuis 2003. L'abondance de l'alose feinte est revenue à son niveau à partir de 2012. La forte reprise constatée s'est poursuivie jusqu'en 2016. Mais en 2017, l'abondance tend à une forte diminution, se rapprochant des années de faibles abondances de 2003 à 2011. Pour la civelle, les abondances restent faibles depuis 2000,

probablement liées au déclin général de cette espèce dans toute l'Europe (Dekker et Casselman, 2003) dont les causes s'avèrent multiples et délicates à quantifier (surpêche, pollution, parasitisme, réchauffement climatique, etc.). L'éperlan, dont la Gironde ne correspond plus à la limite sud de son aire de distribution actuelle (remontée au niveau de la Loire), a disparu de cet estuaire. Toutes ces espèces figurent, depuis maintenant une dizaine d'années, dans la partie inférieure de leur gamme d'abondance (sauf rares exceptions). Pour ce qui est du flet, son abondance est assez fluctuante. En 2019, il est même totalement absent des observations.

Même si **la fréquence globale du gobie reste élevée en 2020**, elle **correspond à la 2ème valeur la plus faible sur la période 1985-2020 (sans 3 mois)**. Globalement, **l'abondance du gobie** représente la **deuxième abondance la plus faible jamais observée depuis 1985**, après celle de 2017. En 2020, l'abondance est marquée par **le recrutement de gobies le plus faible jamais enregistré depuis 1985** (sans mars, avril et mai), traduisant le niveau bas de géniteur depuis 2017.

Après une belle remontée en 2018, **l'abondance de crevettes blanches relevée depuis 2019 retrouve le niveau observé entre 2010 et 2012**. Il s'agit d'un **niveau relativement élevé** sur l'ensemble de la période 1985-2020.

L'occurrence de civelles est faible en 2020 et s'accompagne également de la plus faible abondance jamais enregistrée depuis 1985. Après un léger sursaut en 2013 et 2014, l'abondance de civelles se stabilise depuis 2015 à un niveau très bas. Elle atteint son record minimum en cette année 2020. La situation de cette espèce en général et dans le bassin versant en particulier reste donc fort précaire et peu encourageante pour l'avenir. En 2020, un **léger soubresaut de l'abondance d'épinoche** est observé.

Après un plateau observable de 2016 à 2019, **l'abondance de maigre connaît un regain en 2020**.

Finalement, même si la diversité faunistique conserve une relative stabilité sur les 30 dernières années, la tendance lourde à la baisse d'abondance se poursuit pour une grande partie des espèces de la communauté ichtyologique. Cette raréfaction très marquée concerne principalement les migrateurs amphihalins, dont les aloses et l'anguille, ainsi que l'éperlan (qui a d'ailleurs disparu de la Gironde depuis 2006). Mais elle affecte aussi plus cycliquement, avec des chutes parfois brutales certaines années suivies de pics aussi soudains, des espèces dominantes de la petite faune circulante, telles que les crevettes blanches, les crevettes grises et le gobie. Le syngnathe a, lui, quasiment disparu depuis 2006.

Bien que les espèces marines trouvent en année sèche des conditions plus favorables à leur pénétration dans l'estuaire (qui tend alors à se saliniser davantage), comme ce fut le cas notamment de 2003 à 2012 (excepté 2008), leur population n'augmente pas systématiquement (syngnathe et crevette grise ont fortement diminué). Ainsi, depuis plusieurs années, chaque situation apparaît originale. L'année 2020 ne déroge pas à cette règle. La situation est donc à la fois assez originale et semble paradoxale. Les hydrologies exceptionnellement sèches de 2019 et 2020 (débits relativement faibles de fin 2018 à octobre 2019, excepté février, forte crue en décembre 2019 et plus légère au printemps 2020 suivie d'un long et sévère étiage) n'a pas forcément favorisé les espèces marines classiquement abondantes dans ces situations (anchois ou sprat) même si certaines ont pu trouver dans l'estuaire des conditions halines favorables (maigres et bars en 2020).

D'autres paramètres influent donc aussi sur la dynamique de ces populations estuariennes soumises à des stress multiples d'origines anthropiques ou naturelles.

Enfin, il faut souligner que la variabilité d'abondance de plus en plus exacerbée, avec des fluctuations brusques d'un extrême à l'autre (à une année d'intervalle), comme en 2007, 2009, 2011, 2015, 2017 et 2019 sont en écologie les signes d'un état préoccupant des populations qui pourraient s'avérer de moins en moins en mesure d'absorber les perturbations du milieu. Si les impacts des perturbations anthropiques et de la variabilité naturelle sur la biodiversité restent, en estuaire, extrêmement difficiles à déconvoluer, il semble toutefois possible d'affirmer qu'en deçà d'un certain niveau d'abondance l'effet de chaque pression peut être significatif. Il convient donc de rester attentif et d'approfondir l'étude des drivers de chaque dynamique biologique.

A ce stade, aucun n'élément ne permet de mettre particulièrement en cause le CNPE dans cette situation.

Le rapport complet est disponible sur demande auprès du CNPE du Blayais.

V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE du Blayais réalise des informations, par le biais de son site internet mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km (Braud et Saint Louis, Saint-Ciers sur Gironde, Saint-Estèphe, Pauillac), lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

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

Une surveillance des niveaux de radioactivité est effectuée dans l'environnement du CNPE de Blayais 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 1.

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

https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2015-2017.pdf

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

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- ils vivent toute l'année sur leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...)

³ La **dose efficace** est la somme des doses absorbées par tous les tissus, pondérée d'un facteur radiologique W_R (W_R = Radiation Weighting factor) facteur de pondération du rayonnement) pour tenir compte de la qualité du rayonnement (α , β , γ ...) et d'un facteur de pondération tissulaire W_T (W_T = 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** ».

- Les principaux facteurs d'incertitudes dans le calcul de dose sont associés essentiellement à quelques données et paramètres difficiles à acquérir sur le terrain, tels que certaines caractéristiques de l'environnement et comportements précis des populations riveraines (les rations alimentaires par exemple).
- L'échelle suivante présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et la comparaison aux seuils réglementaires :

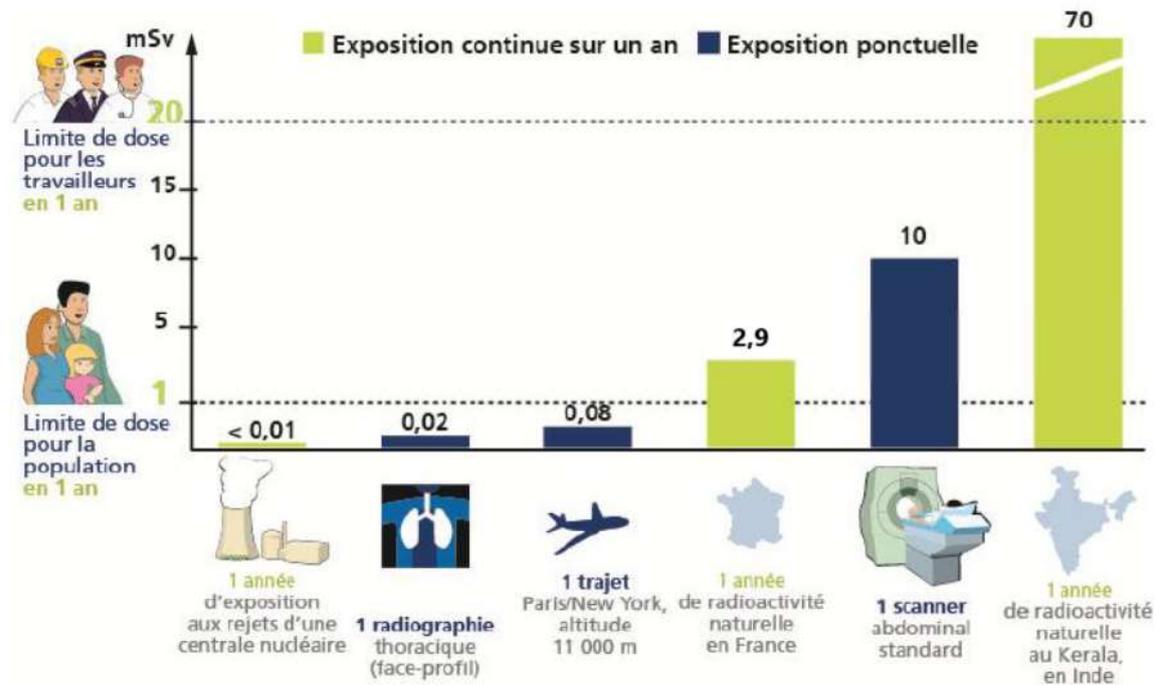


Figure 2 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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

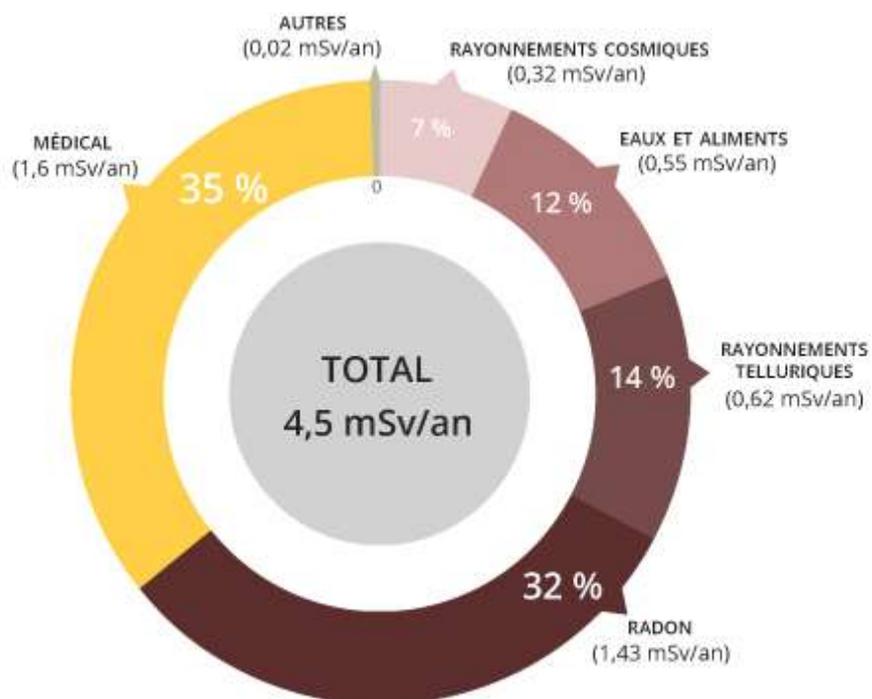


Figure 3 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2015)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2020 effectués par le CNPE de Blayais, 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	7,3E-07	2,9E-05	3,0E-05
Rejets d'effluents liquides	1,3E-06	4,8E-04	4,8E-04
Total	2,0E-06	5,1E-04	5,1E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,1E-07	3,2E-05	3,3E-05
Rejets d'effluents liquides	2,5E-06	2,4E-04	2,4E-04
Total	3,2E-06	2,7E-04	2,7E-04

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	7,3E-07	3,2E-05	3,2E-05
Rejets liquides	9,3E-07	1,2E-04	1,2E-04
Total	1,7E-06	1,5E-04	1,5E-04

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

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 2020 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 VII - 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 du Blayais, 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, fûts, coques, caissons
Résines secondaires				
Concentrats, boues				
Pièces métalliques				
Matières plastiques, celluloses				
Déchets non métalliques (gravats...)				
Déchets graphite	Faible	Longue	FA-VL (faible activité à vie longue)	Entreposage sur site
Pièces métalliques et autres déchets activés	Moyenne		MA-VL (moyenne activité à vie longue)	Entreposage sur site (en piscine de refroidissement pour les grappes et autres déchets activés 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

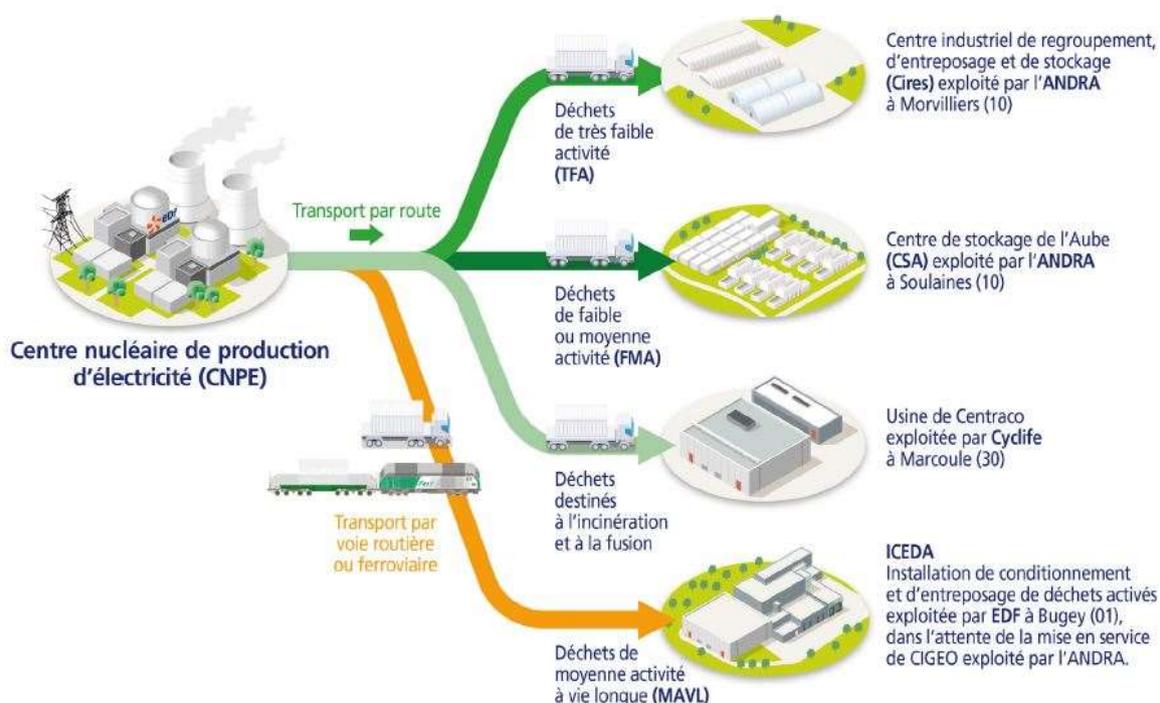


Figure 4 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

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

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Blayais.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Commentaires
TFA	241,199 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	38,434 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	93,496 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	330 objets	Concerne les grappes et les étuis dans les piscines de désactivation (déchets technologiques, galette inox, bloc béton et chemise graphite)

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Blayais.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2020	Type d'emballage
TFA	68 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC (Liquides)	46 colis	Coques béton
FMAVC (Solides)	297 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
MAVL	1 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2020 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Blayais.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	70
CSA à Soulaines	1589
Centraco à Marcoule	1 058

En 2020, 2717 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

La production de déchets inertes a été historiquement conséquente en 2020 du fait d'importants chantiers, en particulier les chantiers de modifications post Fukushima et l'aménagement de parkings ou bâtiments tertiaires. Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non internes restent relativement stables.

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

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

En 2020, les 4 unités de production du CNPE du Blayais ont produit 5940,233 tonnes de déchets conventionnels : 98,9 % 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

Chla : Chlorophylle a,

COP : Carbone Organique Particulaire

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

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

LHP-LHQ – Diesels de secours

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

PM – Pleine Mer

BM – Basse Mer

REX - Retour d'Expérience

SAP – Production air comprimé de travail et de régulation

SEO - Egout et Exhaure des eaux perdues

SME - Système de Management de l'Environnement

TEU - Traitement des Effluents Usés

TEG – Traitement des Effluents Gazeux

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

ANNEXE 1 : Suivi radioécologique annuel du CNPE du Blayais Année 2019

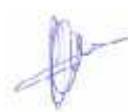
Seuls les paragraphes concernant le CNPE du Blayais figurent dans l'annexe.

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

- Année 2019 -

Bassin de la Garonne

Rapport SUB/RE/RC/Y-G

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

Liste de diffusion

Destinataires		Nombre d'exemplaires
EDF/DIPDE/DEED	Geoffrey DEOTTO Cécile BOYER Elsa VITORGE Sophie CHAMPEL	1 version informatique (.pdf)
EDF/R&D	Cécile COUEGNAS Beatriz LOURINO-CABANA	1 version informatique (.pdf)
EDF C.N.P.E de Golfech C.N.P.E. de Blayais	Thomas NEVEU Anne-Marie GONÇALVES	1 version informatique (.pdf)
SUBATECH	Sabrina ANDRIAMBAHINY Gurvan ROUSSEAU	1 version informatique (.pdf)



Coordination

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH

Interprétation et rédaction

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH
Sabrina ANDRIAMBAHINY SUBATECH
Marcel Bandombele MOKILI SUBATECH

Organisation et réalisation des prélèvements

Gurvan ROUSSEAU SUBATECH
Nancy LE GRALL SUBATECH
Vanessa PAGANO SUBATECH

Traitements et métrologie

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

Collaboration technique

Gilbert PINCHON Pêcheur professionnel
Mathieu SAGET AQUASCOP
Corinne BIDAULT AQUASCOP
Yannick GELINEAU AQUASCOP
Jean-Benoît HANSMANN AQUASCOP

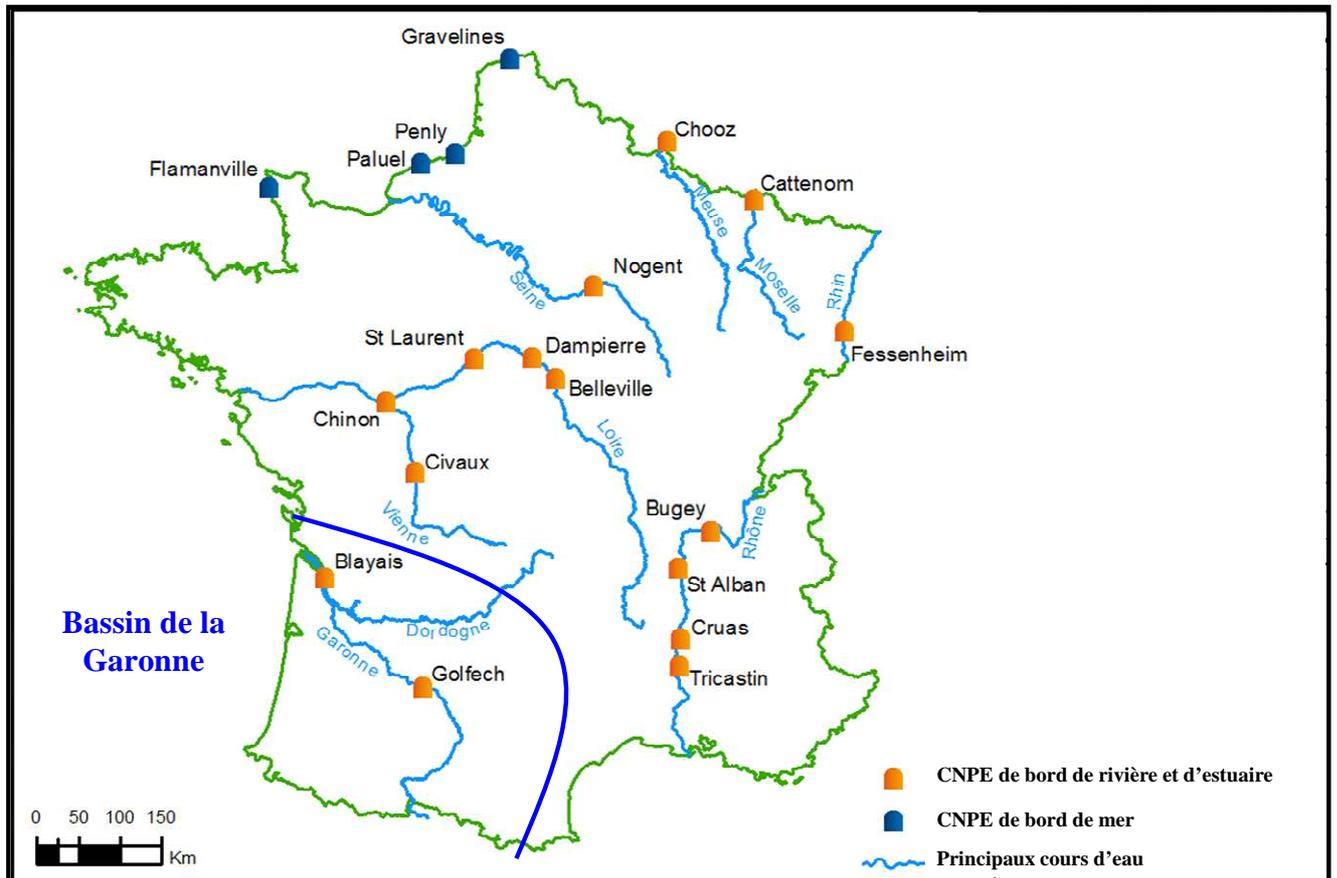


C.N.P.E. du bassin de la Garonne

GOLFECH

BLAYAIS





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

(Source : EDF/DIPDE)



SOMMAIRE

1. Objectifs du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français	15
2. Méthodologie du suivi radioécologique de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Electricité français	16
3. Origine de la radioactivité dans l'environnement des C.N.P.E.	17
4. Contexte environnemental d'implantation des C.N.P.E.	23
5. C.N.P.E. de Golfech	29
6. C.N.P.E. de Blayais	87
7. Synthèse des résultats au niveau du bassin de la Garonne	145
8. Annexes	161
9. Glossaire	179



LISTE DES FIGURES

Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord de 1955 à 1990 [29]. ...	21
Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, Bq.kg ⁻¹ de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].....	21
Figure 4-1. Hydrologie de la Garonne à la station de Lamagistère pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en m ³ .s ⁻¹ ; QMM : débit moyen mensuel en m ³ .s ⁻¹).....	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 58 réacteurs à eau sous pression (R.E.P.) répartis sur 19 sites exploités par EDF [1]. L'exploitation d'un parc de Centres Nucléaires de Production d'Electricité (C.N.P.E.) génère, comme toute activité industrielle, la production de déchets solides et d'effluents 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).

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

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

Dans ce cadre, ce rapport présente les opérations relatives au suivi radioécologique 2019 des C.N.P.E. du bassin de la 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 2019. 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 2019 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 2019, les méthodes de prélèvements, de préparation et de conservation des échantillons, ainsi que les techniques d'analyses sont développés en annexe.

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

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

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

Pour chaque C.N.P.E., la localisation des points de prélèvement est définie en fonction des exigences réglementaires et du contexte environnemental et géographique du site (Annexes 8, page 161). Les stations de prélèvement et la nature des échantillons sont également choisies au plus proche de celles étudiées les années précédentes si possible afin d'assurer la continuité dans l'historique des données recueillies. Même si la nature des prélèvements est globalement en cohérence sur l'ensemble des C.N.P.E. français, certaines adaptations peuvent exister d'un site à l'autre en fonction des particularités locales (pratiques agricoles...) ou de la disponibilité des espèces.

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

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

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

3.1. La radioactivité d'origine naturelle

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

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

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

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

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

3.2. La radioactivité d'origine artificielle

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

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

3.2.1. Essais nucléaires 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 de tirs.

D'après l'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) [5], le nombre des essais atmosphériques est de 423 de 1945 à 1981 (dont 128 en 1957-1958 et 128 en 1961-1962). Les radionucléides issus des retombées de ces essais sont principalement, pour les éléments de périodes les plus longues, les radio-isotopes 238, 239, 240 et 241 du plutonium, le strontium 90, 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}C , au ^{90}Sr et au ^{137}Cs [3]. La présence de ces radionucléides dans l'environnement est encore détectable à ce jour.

3.2.2. Retombées des accidents de Tchernobyl et Fukushima

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

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

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

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

3.2.3. Installations nucléaires d'EDF

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

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

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

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

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

Dans le bassin de la 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 12,32 et 5730 ans.

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

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

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

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

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

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

Dans l'environnement, le ^3H intègre le cycle de l'hydrogène. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, aussi bien dans l'eau que dans la matière organique. Le tritium se trouve principalement sous forme d'eau tritiée (HTO), de tritium gazeux (HT) et de tritium « organiquement » lié (TOL) [26-28]. Les valeurs de tritium répertoriées dans la littérature montrent des gammes de variation relativement larges quelles que soient les matrices échantillonnées dans les milieux terrestre et aquatique. L'évolution temporelle depuis 1955 de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord montre l'impact des essais 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⁻¹ 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].

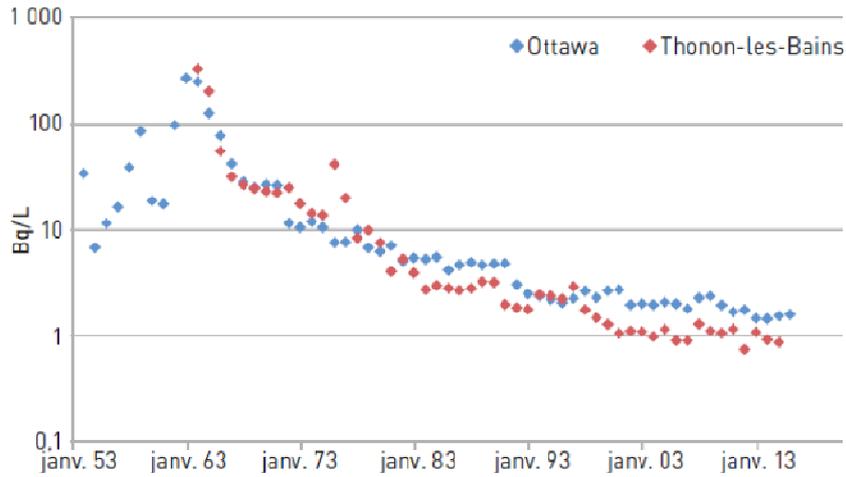


Figure 3-1. Evolution temporelle de l'activité en tritium de l'eau de pluie dans l'hémisphère Nord (Ottawa et Thonon-les-Bains) depuis 1955, source AIEA [29].

Le ^{14}C intègre le cycle biologique du carbone [32] et il se trouve principalement sous la forme de gaz carbonique (CO_2) et de matière organique. Dans les milieux terrestres, les activités en ^{14}C sont relativement stables. La Figure 3-2 (page 21) montre l'évolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32]. En 1950, l'activité spécifique ($^{14}\text{C}/\text{C}$) était de $226 \pm 1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone. Dans les années 1960, l'activité a augmenté suite aux essais nucléaires pour atteindre une valeur de l'ordre de 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis 1965, elle décroît lentement suite à l'arrêt des essais nucléaires atmosphériques et à la dilution par les rejets de CO_2 issus des énergies fossiles [33]. En 2019, l'activité moyenne ambiante hors influence industrielle mesurée dans le milieu terrestre sur des matières végétales est proche de 230 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 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 [26].

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].

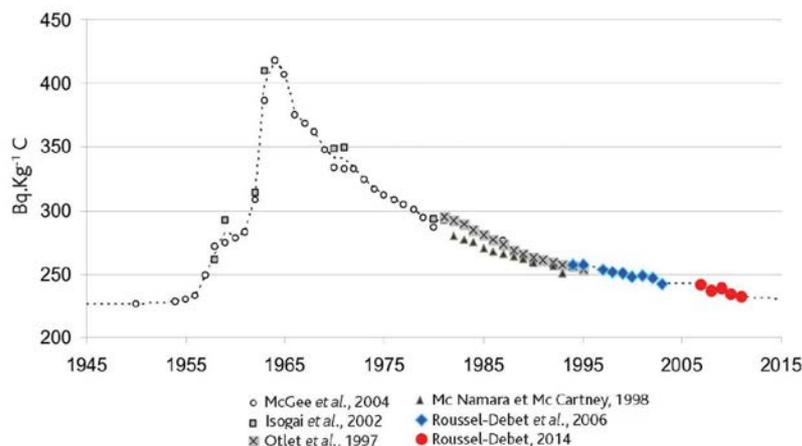


Figure 3-2. Evolution de l'activité spécifique moyenne en carbone 14 (bruit de fond, Bq.kg^{-1} de C) des compartiments biologiques échantillonnés en milieu terrestre depuis 1945 [32].

3.4. Les sources locales potentielles de radioactivité

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

Dans le bassin de la 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 ^3H , de ^{14}C et d' ^{131}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 [37]. 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 affleurants 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 [38]. 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 km² [39]. 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 et mensuels moyens en aval immédiat du C.N.P.E. de Golfech à la station de Lamagistère pour l'année 2019 [40].

En 2019, l'hydrogramme montre que la Garonne a connu une crue en janvier/février, une crue plus faible en mai/juin, une série de crues entre octobre et novembre et enfin deux épisodes de crues importantes en décembre. En 2019, le débit moyen de la Garonne a été de $334 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Lamagistère. Sur la période 2010-2019, la crue décennale a atteint un débit de $3950 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Lamagistère (26/01/2014).

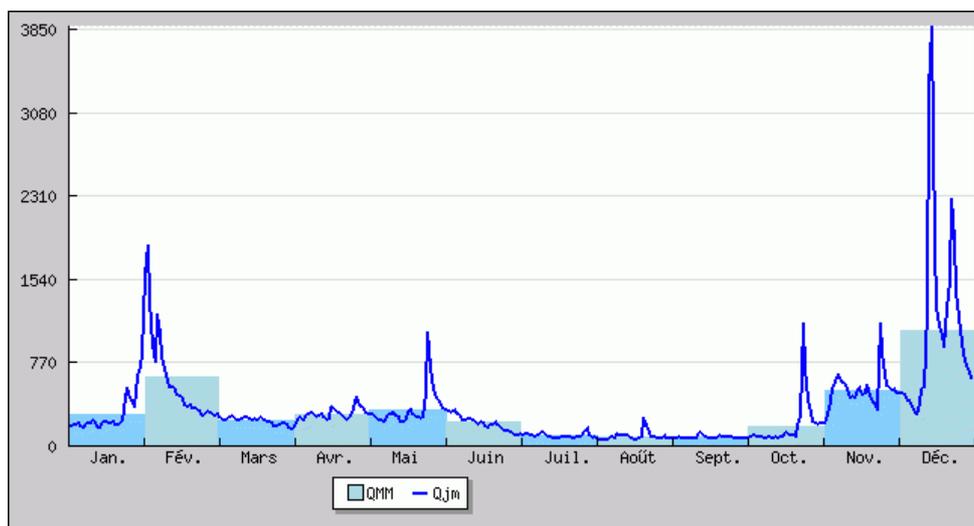


Figure 4-1. Hydrologie de la Garonne à la station de Lamagistère pour l'année 2019 (Qjm : débit moyen journalier en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; QMM : débit moyen mensuel en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

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 km². 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 km² [41,42]. 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 1 000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 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 m³ 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] Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. Site internet : <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx>
- [4] Billon S., Morin A., Caër S., Baysson H., Gambard J.P., Rannou A., Tirmarche M. et Laurier D. – Evaluation de l'exposition de la population française à la radioactivité naturelle. Radioprotection, Vol. 39, n°2, 213-232, 2004.
- [5] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Rapport du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. Nations Unies – New York, 2000.
- [6] Renaud Ph., Champion D. et Brenot J. – Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français : Conséquences environnementales et exposition des personnes. 190p, 2008, Lavoisier – Collection sciences et techniques.
- [7] Linsley G. – Environmental impact of radioactive releases: Addressing global issues. IAEA Bulletin, 1/1996.
- [8] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEI/2011-01, 90 p., 2011.
- [9] INES. International Nuclear and Radiological Event Scale. AIEA. Site internet : <https://www.iaea.org/>
- [10] INES. Les échelles de classement des incidents nucléaires et des événements en radioprotection dans le cadre de radiothérapies. ASN. Site internet : <https://www.asn.fr/>
- [11] Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience / report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. – Vienne: International Atomic Energy Agency, 2006.
- [12] Renaud Ph., Métivier J.M., Castelier E., Pourcelot L. et Louvat D. – Cartographie des dépôts de ¹³⁷Cs en mai 1986 sur l'ensemble du territoire français métropolitain. Radioprotection, Vol. 39, n°1, 23-38, 2004.
- [13] Beresford N.A., Barnett C.L., Howard B.J., Howard D.C., Welles C., Tyler A.N., Bradley S., Copplestone D. Observations of Fukushima fallout in Great Britain. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 48-53, 2012.
- [14] Fischer H.W., Hettwig B. and Pittauerová D. Traces of Fukushima fallout in the environment of Northwest Germany. Radioprotection, Vol. 46, n°6, 181-185, 2011.
- [15] Piñero García F., Ferro García M.A. Traces of fission products in southeast Spain after the Fukushima nuclear accident. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 146-151, 2012.
- [16] Ioannidou A., Manenti S., Gini L., Groppi F. Fukushima fallout at Milano, Italy. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114, 119-125, 2012.

- [17] Kritidis P., Florou H., Eleftheriadis K., Evangelidou N., Gini M., Sotiropoulou M., Diapouli E., Vratolis S. Radioactive pollution in Athens, Greece due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 100-104, 2012.
- [18] IRSN. Impact à très longue distance des rejets radioactifs provoqués par l'accident de Fukushima. Mise à jour du 8 avril 2011.
- [19] IRSN. Synthèse des résultats des mesures de radioactivité dans le cadre de la surveillance de l'impact à très longue distance des rejets de l'accident de Fukushima Dai-ichi en France. Note d'information n°15, 8 juin 2011.
- [20] ACRO. Contrôle des retombées en France de substances radioactives continues dans les masses d'air contaminées en provenance du Japon. Communiqué n°3, 22/04/2011. Site internet : <http://www.acro.eu.org>.
- [21] CRIIRAD. Contamination de la France par les rejets de la centrale de Fukushima Daiichi. Quels sont les risques ? Note d'information, 09/04/2011. Site internet : <http://www.criirad.org>.
- [22] Evrard O., Van Beek P., Gateuille D., Pont V., Lefèvre I., Lansard B., Bonté P. Evidence of the radioactive fallout in France due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 54-60, 2012.
- [23] Perrot F., Hubert Ph., Marquet Ch., Pravikoff M.S., Bourquin P., Chiron H., Guernion P.-Y., Nachab A. Evidence of ¹³¹I and ^{134,137}Cs activities in Bordeaux, France due to the Fukushima nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 114, 61-65, 2012.
- [24] IRSN. Fukushima, un an après. Premières analyses de l'accident et de ses conséquences. Rapport IRSN/DG/2012-001, 12 mars 2012.
- [25] Florence D. et Hartmann P.- Les rejets radioactifs des centrales nucléaires et leur impact radiologique. SFRP, L'évaluation et la surveillance des rejets radioactifs des installations nucléaires, Strasbourg, 13 et 14/11/2002.
- [26] Ménager M.T., Garnier-Laplace J. et Goyffon M. Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. 748p, Editions Tec&Doc, Lavoisier, 2009.
- [27] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.
- [28] Belot Y., Roy M. et Métivier H. Le tritium de l'environnement à l'Homme. Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire. 191 p., 1997.
- [29] AIEA. Isotopes environnementaux dans le cycle hydrologique : principes et applications (6 volumes) source Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Accessible at : isohis.iaea.org.
- [30] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [31] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. *Radioprotection*, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.
- [32] IRSN : Fiche radionucléide – Carbone 14 et environnement. <https://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/environnement/Pages/carbone-14-environnement.aspx>
- [33] Jean-Baptiste P. et Paterne M. – Carbone 14 et environnement global. *Radioprotection*, Vol. 38, n°3, 377-390, 2003.

- [34] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>.
- [35] Andra. Inventaire national des matières et déchets radioactifs. 2017.
- [36] SFRP. Le carbone 14 et l'environnement. Fascicule disponible sur le site de la SFRP.
- [37] SIGES Midi-Pyrénées. Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Midi-Pyrénées. Site internet : <http://sigesmpy.brgm.fr>.
- [38] SIGES Aquitaine. Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Site internet : <http://sigesaqi.brgm.fr>.
- [39] Etablissement Public Garonne. Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France. Décembre 2003. Site internet : <http://www.eptb-garonne.fr>.
- [40] Banque Hydro. <http://www.hydro.eaufrance.fr>
- [41] Syndicat Mixte pour le Développement Durable de l'Estuaire de la Gironde. Site internet : <http://www.estuaire-gironde.fr>.
- [42] 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

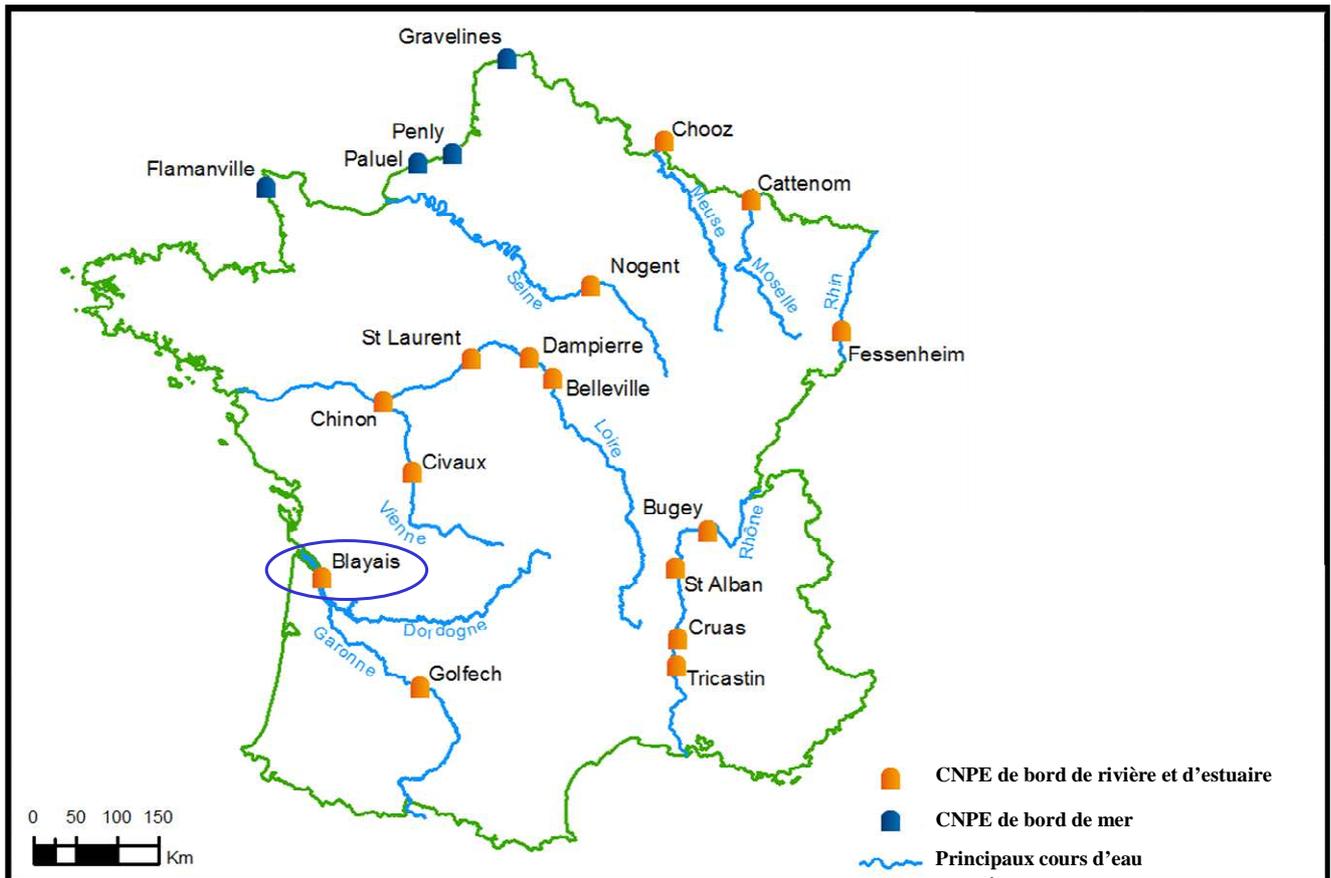
- Année 2019 -

Bassin de la Garonne

Golfech
Blayais



C.N.P.E. du Blayais



Source : EDF/DIPDE.



6	Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais	95
6.1	<i>Généralités et chronologie des études radioécologiques</i>	95
6.2	<i>Etat radiologique de l'environnement terrestre</i>	97
6.2.1	Stratégie d'échantillonnage	97
6.2.2	Résultats et interprétation	100
6.2.2.1	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	100
6.2.2.2	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	102
6.3	<i>Etat radiologique de l'environnement aquatique</i>	105
6.3.1	Stratégie d'échantillonnage	105
6.3.2	Résultats et interprétation	109
6.3.2.1	<i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	109
6.3.2.2	<i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	111
6.4	<i>Conclusion</i>	114



Résumé

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

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui relevé avant la mise en exploitation du C.N.P.E.

La radioactivité artificielle détectée en 2019 dans **le milieu terrestre** est due à la présence de ^{137}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 cohérentes à celles attendues dans l'environnement en dehors de tout apport industriel local. Les analyses de ^{14}C dans des échantillons prélevés dans des zones hors et sous les vents dominants par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. révèlent des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

En 2019, dans **le milieu aquatique**, on constate la présence de traces de ^{137}Cs dans les sédiments, les végétaux et les poissons. Pour une matrice donnée, les niveaux d'activité du ^{137}Cs sont similaires de l'estuaire fluvial à l'estuaire aval et ils ne montrent pas de lien avec le fonctionnement de l'installation. Sa présence est donc principalement liée aux retombées atmosphériques des anciens essais aériens et de l'accident de Tchernobyl. Pour le tritium organiquement lié, les niveaux d'activité détectés sont de l'ordre du bruit de fond ambiant hors apport anthropique local. Dans la continuité des études antérieures, 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 en ^3H libre et en ^{14}C mesurées pour une matrice donnée. Ces mesures montrent cependant, pour ces radionucléides, un marquage de la faune et de la flore aquatiques lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. du Blayais, et potentiellement à ceux du C.N.P.E. de Golfech situé en amont sur la Garonne.



6 Etat radiologique de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais

6.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques

Le C.N.P.E. (Centre Nucléaire de Production d'Electricité) du Blayais est localisé tout près de la commune de Blaye, au cœur du marais du Blayais, sur la commune de Braud-et-Saint-Louis, en rive droite de la Gironde entre Bordeaux (60 km en amont) et Royan (80 km en aval). Le C.N.P.E. du Blayais est situé à environ 180 km à l'aval hydraulique de celui de Golfech [1-2].



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



Photo 1. C.N.P.E. du Blayais. Crédit : www.edf.fr.

La Figure 6-1 (page 96) présente la chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais depuis 1978.

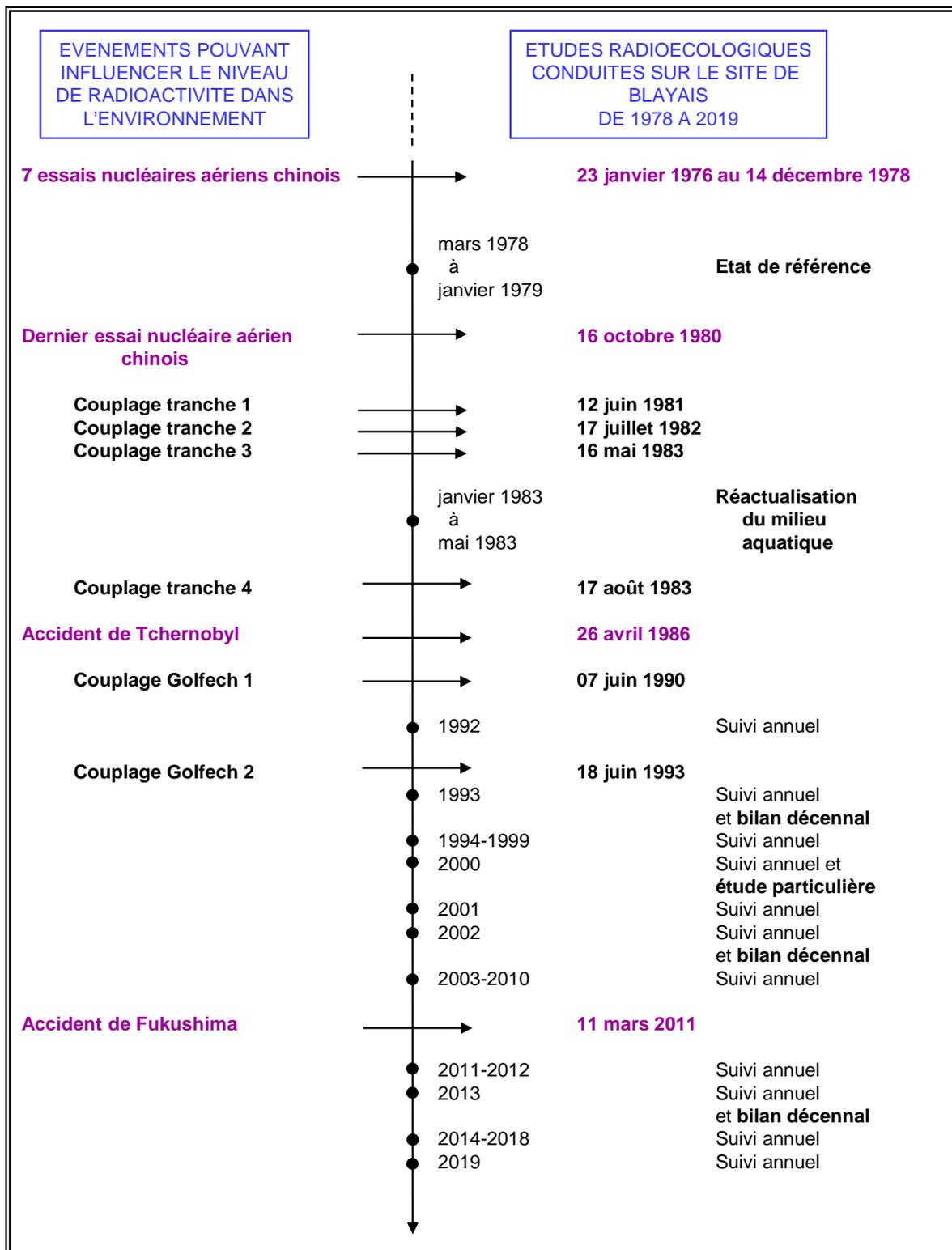


Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais.

6.2 Etat radiologique de l'environnement terrestre

6.2.1 *Stratégie d'échantillonnage*

Le Tableau 6-1 (page 98) 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 6-2 (page 99) présente la localisation des stations de prélèvement ainsi que la nature des échantillons collectés en 2019.

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

La rose des vents, présentée sur la Figure 6-2 (page 99), 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 rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. sont principalement déterminées en fonction de la distance au C.N.P.E. Le seul critère permettant donc, pour le milieu terrestre, de définir des zones sous les vents (« ZSV » dans la suite du texte) et hors des vents (« ZHV » dans la suite du texte) est la distance par rapport à l'installation. Les ZSV se trouvent donc à proximité du C.N.P.E. et les ZHV sont éloignées du site.

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

En 2019, quatre prélèvements de feuilles de lierre ont été réalisés par le C.N.P.E. à la station AS1 du site dans le cadre des mesures trimestrielles réglementaires de carbone 14. Ils ont été transmis à SUBATECH pour traitement et analyse.

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

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

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Braud-et-St-Louis	6,3 km E	45,25139	-0,61056	Mousse terrestre	Mousse <i>Pseudoscleropodium purum</i> (Hedw)	Entier	04/04/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131)	4,90	-
Civrac-de-Blaye La Craberie	24,7 km SE	45,12000	-0,45833	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	04/04/19	Spectrométrie γ Carbone 14	10,35	20,89
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	6,9 km E	45,23611	-0,60778	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	03/04/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	11,29	15,83
Station AS1 CNPE de Blayais	1 km SE	45,25111	-0,68111	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	04/04/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,32	-
Civrac-de-Blaye Reguignon	23,2 km SE	45,11472	-0,47333	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	04/04/19	Carbone 14	4,14	-
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	1,1 km N	45,26611	-0,69528	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	03/04/19	Spectrométrie γ Tritium libre Tritium organiquement lié	5,57	9,32
Civrac-de-Blaye Reguignon	23,2 km SE	45,11472	-0,47333	Lait	Lait de vache	Entier	05/04/19	Carbone 14	7,78	-
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	1,1 km N	45,26611	-0,69528	Lait	Lait de vache	Entier	01/08/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	8,25	16,19

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

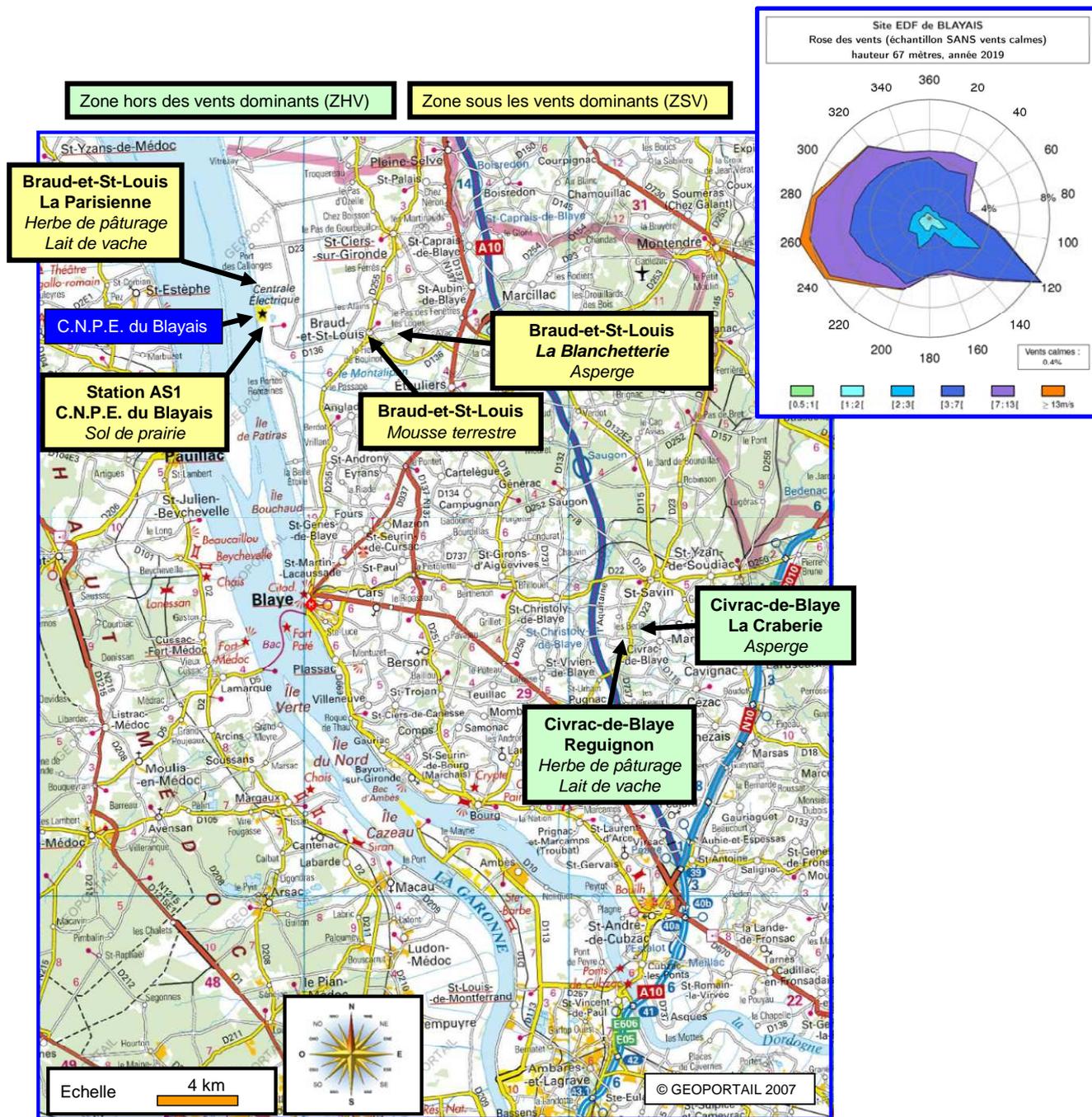


Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. du Blayais.

6.2.2 Résultats et interprétation

6.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

6.2.2.1.1 Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats sont présentés dans le Tableau 6-9 (page 125). Les mesures réalisées en 2019 confirment un niveau de radioactivité d'origine naturelle du milieu terrestre analogue à celui observé antérieurement lors des suivis radioécologiques conduits depuis 1992, de l'état de référence de 1978/1979 et des bilans radioécologiques décennaux réalisés en 1993, 2002 et 2013. Cette radioactivité naturelle est essentiellement due, pour sa part tellurique, au ^{40}K et dans une moindre mesure aux éléments radioactifs issus des chaînes naturelles de ^{238}U et du ^{232}Th . Les activités mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

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

La part cosmogénique de la radioactivité naturelle est due au ^7Be . Sa présence est détectée dans les mousses et l'herbe de pâturage et à des niveaux plus bas dans le sol de prairie. Son activité est inférieure aux seuils de décision dans les asperges et le lait. Naturellement produit en haute atmosphère, le ^7Be se dépose de manière plus ou moins uniforme en particulier sur les feuilles des végétaux. Ces dernières offrent une grande surface de captation favorable à l'accumulation de certains radionucléides notamment du ^7Be .

6.2.2.1.2 Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

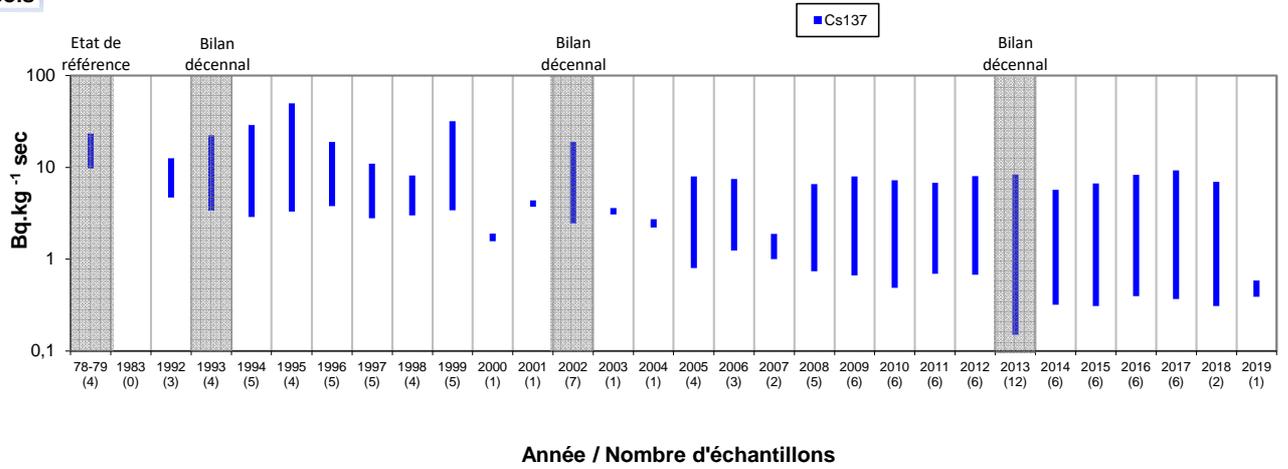
Dans la continuité des années antérieures, la radioactivité d'origine artificielle détectée en 2019 dans le milieu terrestre est due uniquement à la présence de traces de ^{137}Cs (Tableau 6-10, page 126).

Dans le milieu terrestre, le ^{137}Cs a été quantifié dans trois des six échantillons analysés en 2019. Les activités mesurées dans les asperges en ZHV, le sol non cultivé et le lait sont cohérentes avec celles enregistrées depuis la mise en place des suivis radioécologiques en 1992. Il n'est pas détecté dans la mousse terrestre, les asperges en ZSV et l'herbe de pâturage. Ces niveaux d'activités sont cohérents avec les valeurs attendues hors apport industriel local. Ils indiquent que la présence de ^{137}Cs en 2019 est liée à la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2019, les autres radionucléides artificiels mesurables par spectrométrie gamma (^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}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. du Blayais.

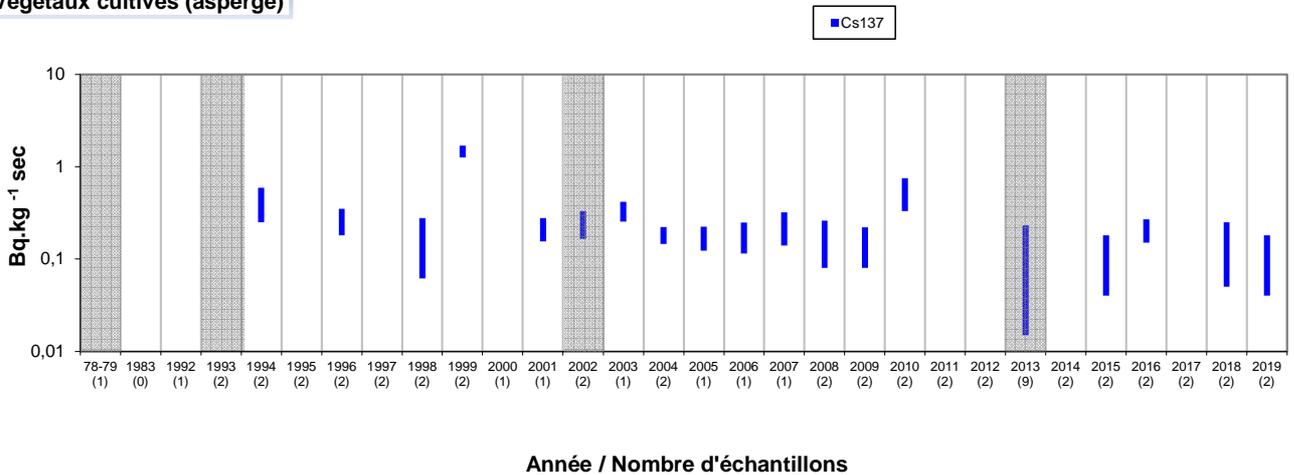
Lors de l'état de référence, la présence de ^{137}Cs résultait des dépôts des essais aériens nucléaires (Figure 6-3, page 101). Depuis 1992, le ^{137}Cs est détecté régulièrement dans les sols, les herbes, les mousses terrestres, le lait et plus rarement dans le vin. Les niveaux de ^{137}Cs continuent de décroître du fait de l'éloignement dans le temps des événements qui sont à l'origine de ces détections (essais aériens nucléaires et accident de Tchernobyl). En 2011, la détection de ^{134}Cs et d' ^{131}I était cohérente avec leur mise en évidence dans les retombées de l'accident de Fukushima en France métropolitaine [4]. Ces deux radionucléides ne sont plus observés depuis 2012 dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais.

Lors de l'état de référence certains radionucléides artificiels de courte période avaient été quantifiés (^{144}Ce , ^{95}Nb , ^{106}Ru -Rh...) dans l'eau de pluie et l'herbe. Leur présence était la conséquence des essais aériens chinois nucléaires réalisés la même année (1978).

Sols



Végétaux cultivés (asperge)



Mousses terrestres

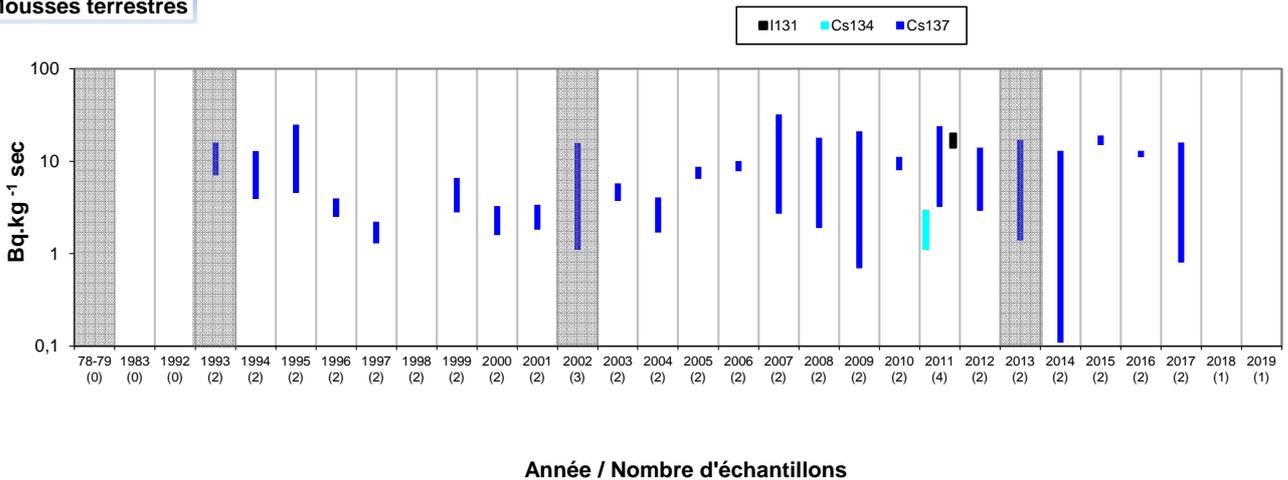


Figure 6-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu terrestre lors des études menées depuis l'état de référence, de 1978/1979, au suivi radioécologique de 2019.

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

6.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

6.2.2.2.1 Tritium

En 2019, les résultats des mesures en ^3H libre sont proches de 1 Bq.L^{-1} pour les asperges (ZSV) et l'herbe de pâturage (ZSV) et inférieure au seuil de décision pour le lait (Tableau 6-12, page 127).

Ces niveaux d'activités sont conformes au bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5]. Ils sont cohérents avec les données des années antérieures (Figure 6-4).

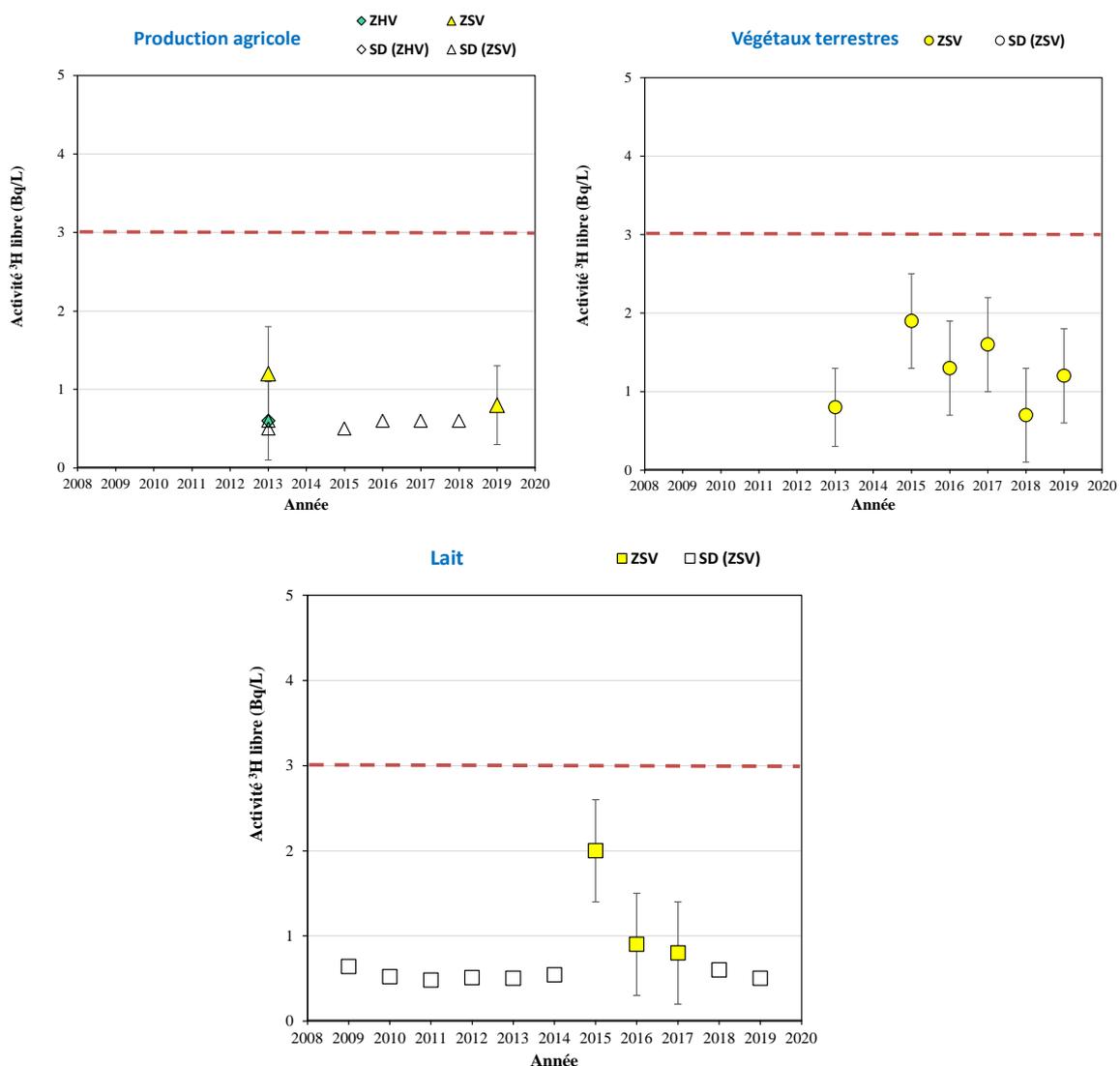


Figure 6-4. Activités en tritium libre (Bq.L^{-1}) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019. La ligne en pointillés représente la limite du bruit de fond ambiant hors influence industrielle ($<3 \text{ Bq.L}^{-1}$) [3,5].

Les résultats du tritium organiquement lié (TOL) sont présentés dans le Tableau 6-13 (page 127). En 2019, le TOL est détecté uniquement dans l'herbe de pâturage à une activité proche du seuil de décision ($0,60 \pm 0,57 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion).

Ces résultats sont proches du bruit de fond ambiant hors influence industriel ($< 3 \text{ Bq.L}^{-1}$ [3,5]) et sont cohérents avec ceux obtenus lors des suivis radioécologiques depuis 2009 (Figure 6-5).

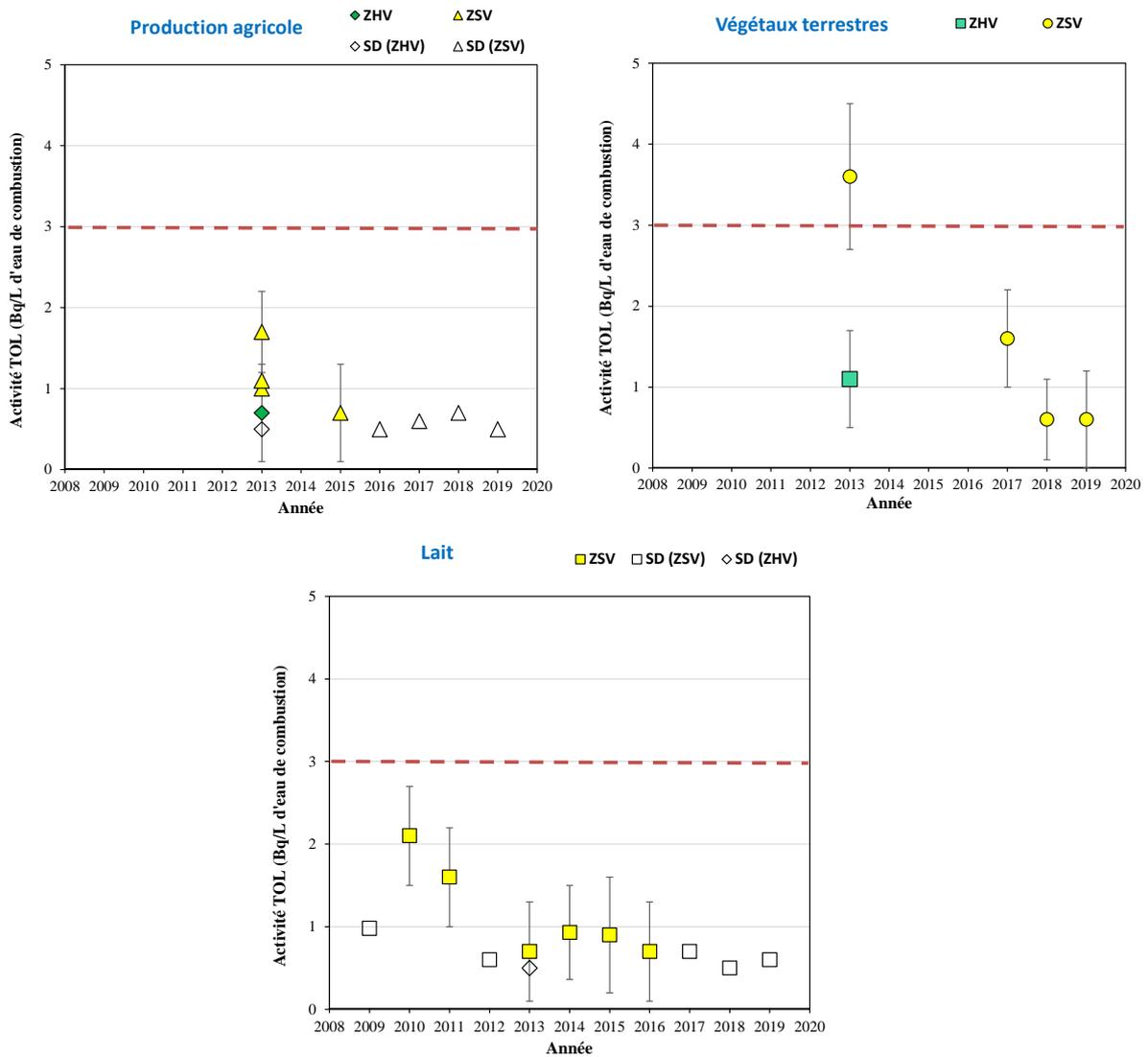


Figure 6-5. Activités en tritium organiquement lié (Bq.L^{-1} d'eau de combustion) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.

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

6.2.2.2.2. Carbone 14

En 2019, dans la continuité des suivis radioécologiques de 2009 à 2018, les résultats d'analyse du ^{14}C dans les asperges, l'herbe de pâturage et les laits montrent des activités équivalentes aux incertitudes de mesure près au bruit de fond ambiant hors influence industrielle proche de 227 Bq.kg^{-1} de carbone en 2019 [3,6] (Tableau 6-14, page 128).

Ces résultats sont cohérents avec les données des années antérieures à l'exception de la contribution des rejets de l'installation mise en évidence ponctuellement dans les productions agricoles (2017), l'herbe (2016) et le lait (2017 et 2018). Ce marquage est quasi-systématiquement observé sur le prélèvement trimestriel de feuilles de lierre réalisé à la station atmosphérique AS1 à 1 km du C.N.P.E. (Figure 6-6).

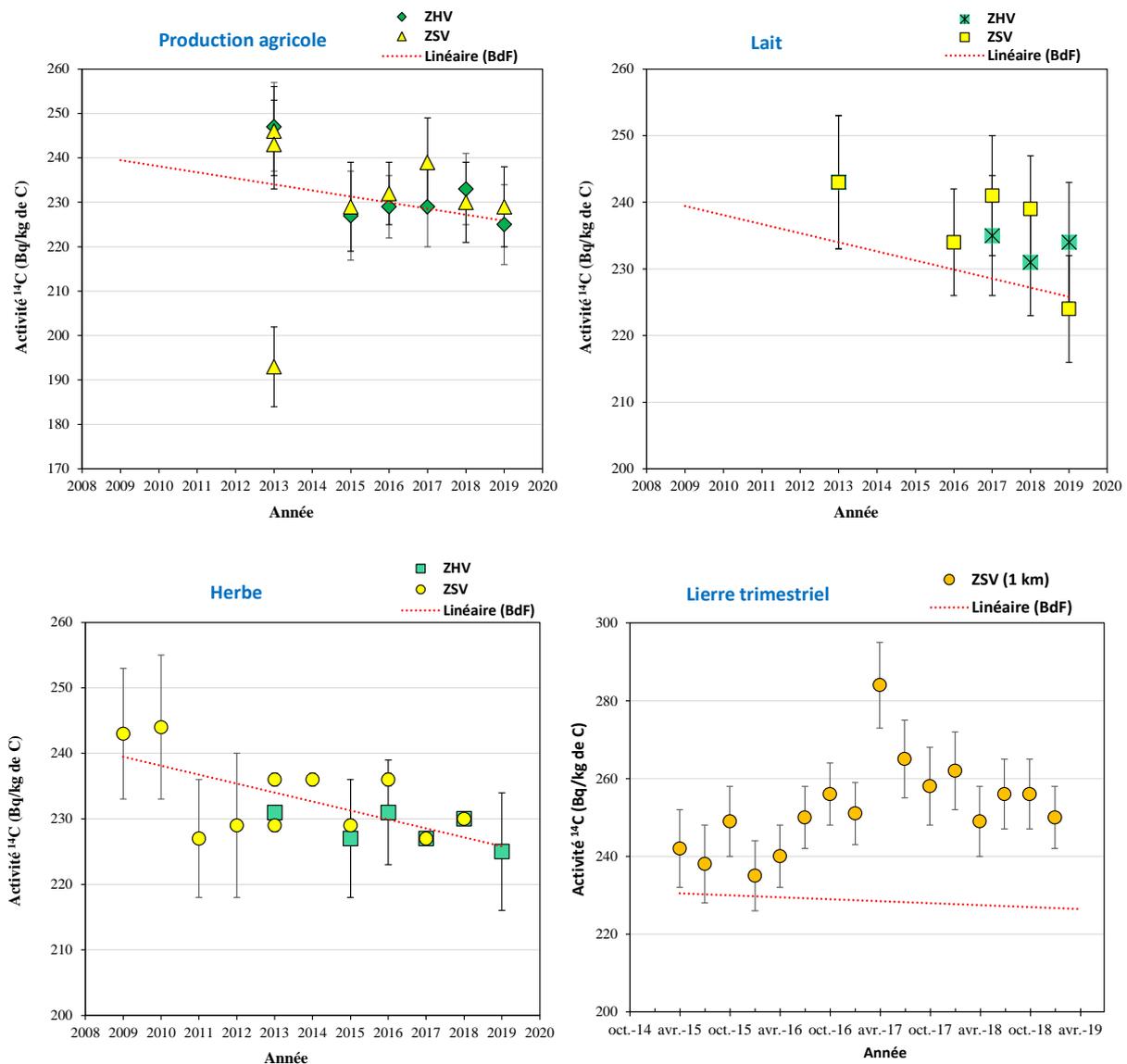


Figure 6-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.

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

6.3 Etat radiologique de l'environnement aquatique

6.3.1 Stratégie d'échantillonnage

Le Tableau 6-2 (page 107) 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 6-8 (page 108) présente la localisation des stations de prélèvement ainsi que la nature des échantillons collectés en 2019.

Les stations de prélèvement et la nature des matrices prélevées sont déterminées dans le but de comparer les résultats avec les études antérieures. Le positionnement en estuaire du C.N.P.E. du Blayais ne permet pas, contrairement aux autres 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, la zone d'influence de la marée saline s'étend de l'embouchure de l'estuaire de la Gironde jusqu'au Bec d'Ambès (confluence de la Garonne et de la Dordogne) situé à 25 km à l'amont du C.N.P.E. et l'influence de la marée dynamique remonte en amont de Langon sur la Garonne au niveau de Casseuil/La Réole et en amont de Libourne sur la Dordogne au niveau de Castillon-la-Bataille/Pessac (Figure 6-7, page 106). Ainsi, les rejets d'effluents du C.N.P.E. 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 [7]. Il s'agit de trois zones qualifiées d'« estuaire fluvial » en amont du Bec d'Ambès, d'« estuaire amont » du Bec d'Ambès à Saint-Christoly-Médoc et enfin d'« estuaire aval » de Saint-Christoly-Médoc à Royan (Figure 6-7, page 106).

Les échantillons sont des bioindicateurs (phanérogame, poisson) et des milieux d'accumulation (sédiment). Les natures d'échantillons prélevés à l'amont et à l'aval du C.N.P.E. sont, dans la mesure du possible, identiques.

Deux prélèvements d'eaux ont été réalisés. Suite à une demande formulée par le Conseil Général de la Gironde pour surveiller la qualité radiologique des eaux produites par le Syndicat Intercommunal des Eaux du Blayais (SIEB), un prélèvement d'eau issue des forages situés sur la commune de Saint-Ciers-sur-Gironde est intégré au suivi radioécologique annuel depuis 2009. L'eau distribuée provient d'un mélange de trois ouvrages de collecte (2 puits de 14 et 15 mètres, et 1 forage de 91 mètres) situés sur la commune de Saint-Ciers-sur-Gironde. En 2019, le plan d'échantillonnage intègre également une eau d'irrigation prélevée à proximité du C.N.P.E. Le prélèvement a été réalisé sur la commune de Braud-et-Saint-Louis.

Tous les échantillons prélevés sont traités et conservés au laboratoire.

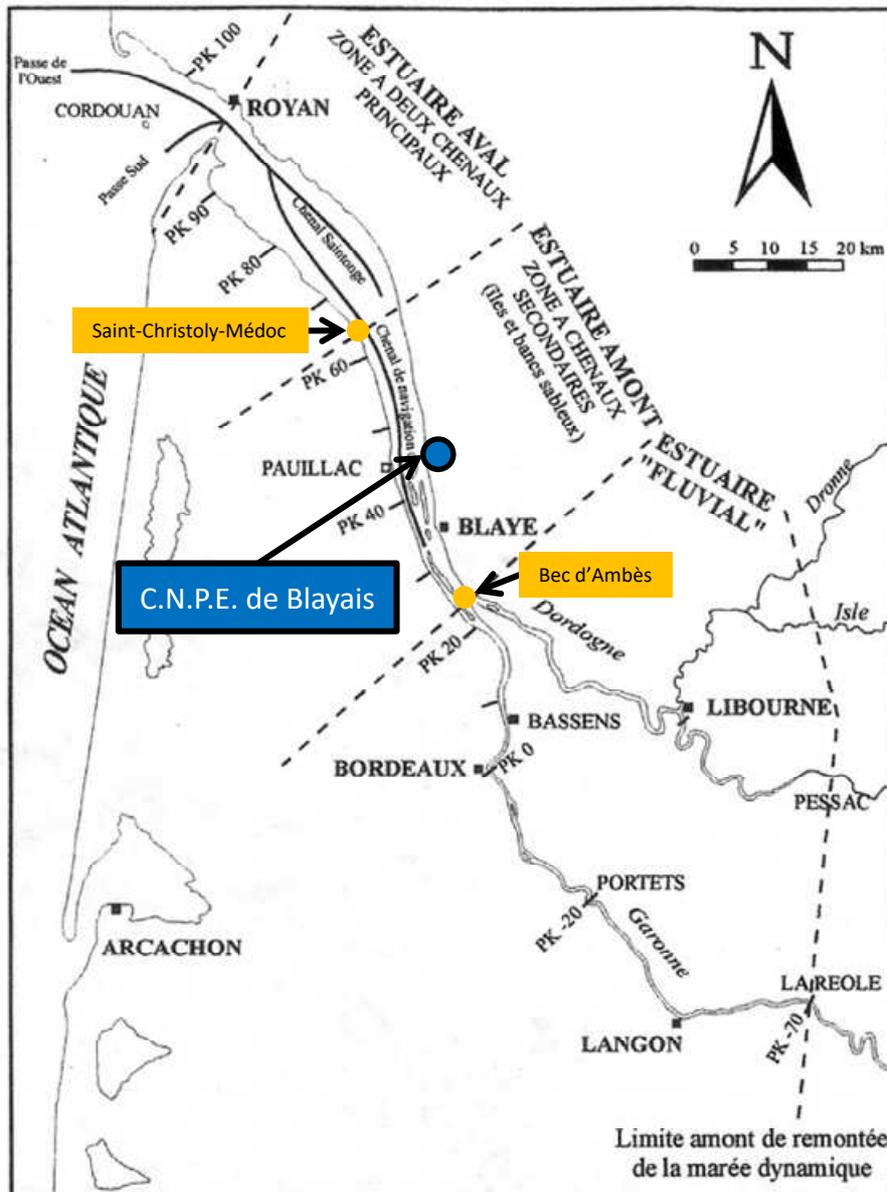


Figure 6-7. Principales unités morphologiques de l'estuaire de la Gironde.

Estuaire fluvial	Estuaire amont	Estuaire aval
------------------	----------------	---------------

Station	Situation par rapport à la centrale	Coordonnées WGS84		Nature	Espèce	Fraction	Prélèvement	Type de mesure	Rapport frais/sec	Rapport sec/cendres
		Latitude	Longitude							
Port de Plagne Rive droite, Dordogne	37 km amont	44,99139	-0,46806	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,07	-
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	7,5 km amont	45,19056	-0,67778	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,00	-
Port des Callonges Rive droite, Gironde	3,2 km aval	45,28472	-0,70194	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,21	-
Port de Vitrezay Rive droite, Gironde	8,2 km aval	45,32778	0,71639	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	01/08/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	2,22	-
Talmont Rive droite, Gironde	38 km aval lointain	45,52917	-0,88667	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	Spectrométrie γ Granulométrie, TMO	1,96	-
St-Ciers-sur-Gironde SIEB	6,5 km NE	45,29194	-0,62639	Eau	Eau de boisson	Entier	01/08/19	Tritium libre	-	-
Braud-et-St-Louis La Condé	1,4 km E	45,25861	-0,67139	Eau	Eau d'irrigation	Entier	01/08/19	Tritium libre	-	-
Port de Langon Rive droite, Garonne	92 km amont	44,57056	-0,26417	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	30/07/19	Spectrométrie γ	4,84	7,93
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	7,5 km amont	45,19056	-0,67778	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	3,21	8,90
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,82	-
Port des Callonges Rive droite, Gironde	3,2 km aval	45,28472	-0,70194	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	Spectrométrie γ en frais (Iode 131) Spectrométrie γ	3,35	8,69
								Carbone 14 Tritium libre Tritium organiquement lié	3,25	-
Talmont Rive droite, Gironde	38 km aval lointain	45,19056	-0,67778	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	Spectrométrie γ Nickel 63 Fer 55	2,38	9,18
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	7,5 km amont	45,19056	-0,67778	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,90	13,57
Port des Callonges Rive droite, Gironde	3,2 km aval	45,28472	-0,70194	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	Spectrométrie γ Carbone 14 Tritium organiquement lié	4,97	14,21

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

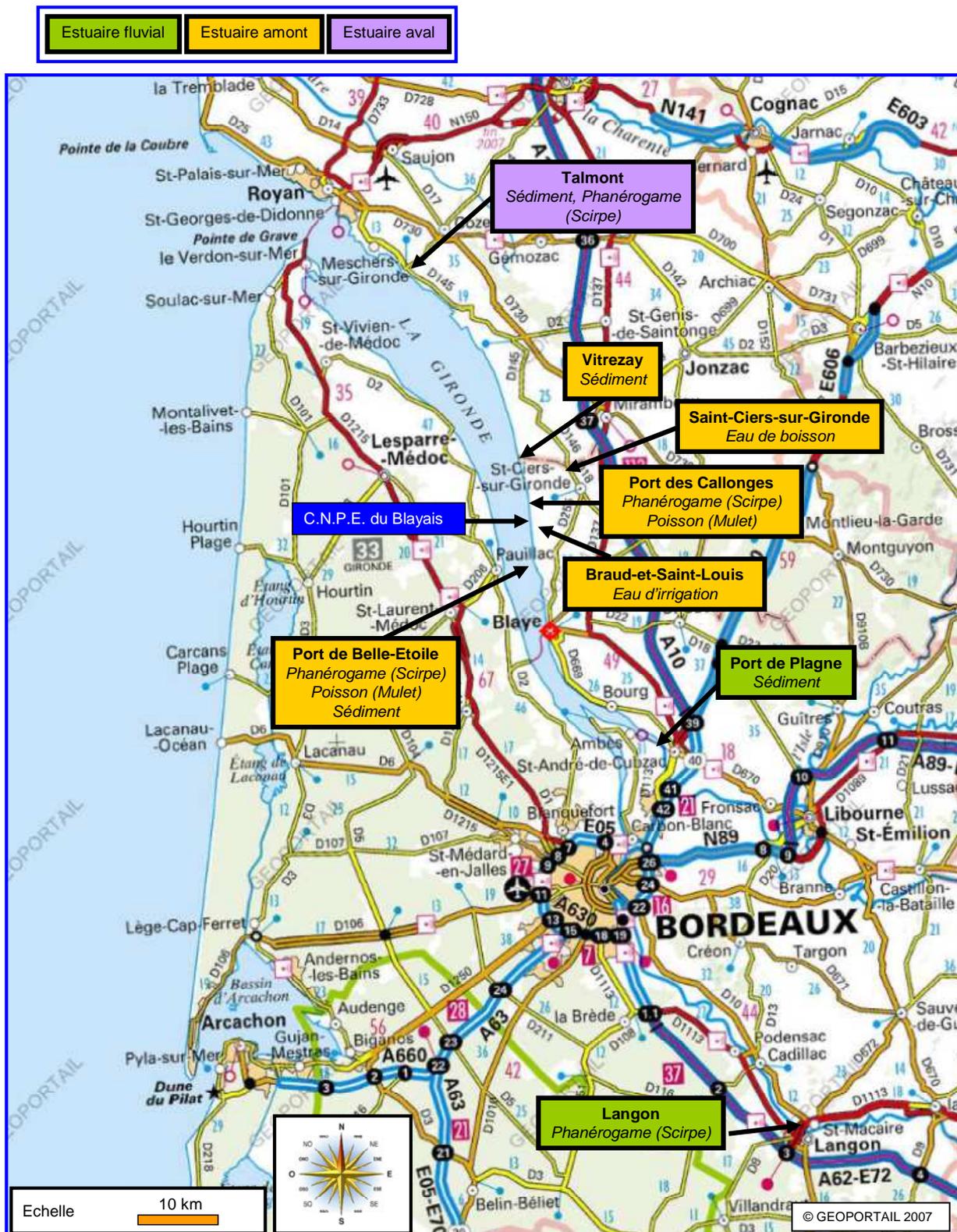


Figure 6-8. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. du Blayais.

6.3.2 Résultats et interprétation

6.3.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

6.3.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats sont présentés dans les Tableau 6-22 et Tableau (pages 135 et 136). En 2019, la radioactivité naturelle observée dans le milieu aquatique par spectrométrie gamma est du même ordre de grandeur que celle constatée depuis l'état radioécologique de référence. Elle est majoritairement due au ^{40}K , et, dans une moindre mesure, aux éléments issus des chaînes naturelles de ^{238}U et du ^{232}Th . Les activités sont cohérentes avec le bruit de fond naturel observé en France [3].

Le ^{40}K est le seul radionucléide détecté dans les poissons. Les activités sont conformes aux valeurs attendues (environ 150 Bq.kg^{-1} frais), la teneur en potassium étant physiologiquement régulée.

Enfin, le ^7Be est détecté dans tous les sédiments et les phanérogames semi-aquatiques.

6.3.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Dans le milieu aquatique, la radioactivité d'origine artificielle détectée en 2019 est due uniquement à la présence de traces de ^{137}Cs (Tableau 6-23, page 137).

En 2019, le ^{137}Cs est présent dans les différents compartiments de l'environnement aquatique (sédiments, flore et faune aquatique). Il est détecté dans l'ensemble des échantillons analysés. Les activités du ^{137}Cs sont de l'ordre de $0,030 \text{ Bq.kg}^{-1}$ frais dans les poissons et varient de $0,061$ à $4,52 \text{ Bq.kg}^{-1}$ sec dans les phanérogames et les sédiments respectivement. Les valeurs sont similaires à celles relevées lors des études antérieures, sans différence notable entre l'estuaire fluvial, l'estuaire amont et l'estuaire aval. Ces observations montrent que les activités en ^{137}Cs mesurées en 2019 résultent principalement des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Aucun autre radionucléide artificiel n'a été détecté en 2019 par spectrométrie gamma.

Certains radionucléides avaient été détectés sporadiquement sur des échantillons lors de l'état de référence (^{137}Cs , ^{144}Ce , ^{134}Cs , ^{65}Zn) de 1978 (Figure 6-9, page 110). Leur présence était cohérente avec la réalisation la même année par la Chine d'essais aériens nucléaires. En 1983, l'actualisation des niveaux de radioactivité du milieu estuarien de la Gironde soulignait la présence de ^{58}Co , de ^{60}Co , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn liée au fonctionnement du C.N.P.E. Sur la période 1992-2010, l'influence du fonctionnement du C.N.P.E. a pu également être mesurée par la détection de manière occasionnelle à l'état de traces de ^{58}Co , de ^{60}Co , de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et de ^{54}Mn . En 2011, la détection de ^{134}Cs dans les phanérogames prélevées à Talmont (scirpes) était liée aux retombées de l'accident de Fukushima. Le ^{134}Cs n'avait plus été observé dans le milieu aquatique depuis l'état de référence de 1978. Enfin, depuis 2012 aucun autre radionucléide que le ^{137}Cs n'a été ensuite détecté.

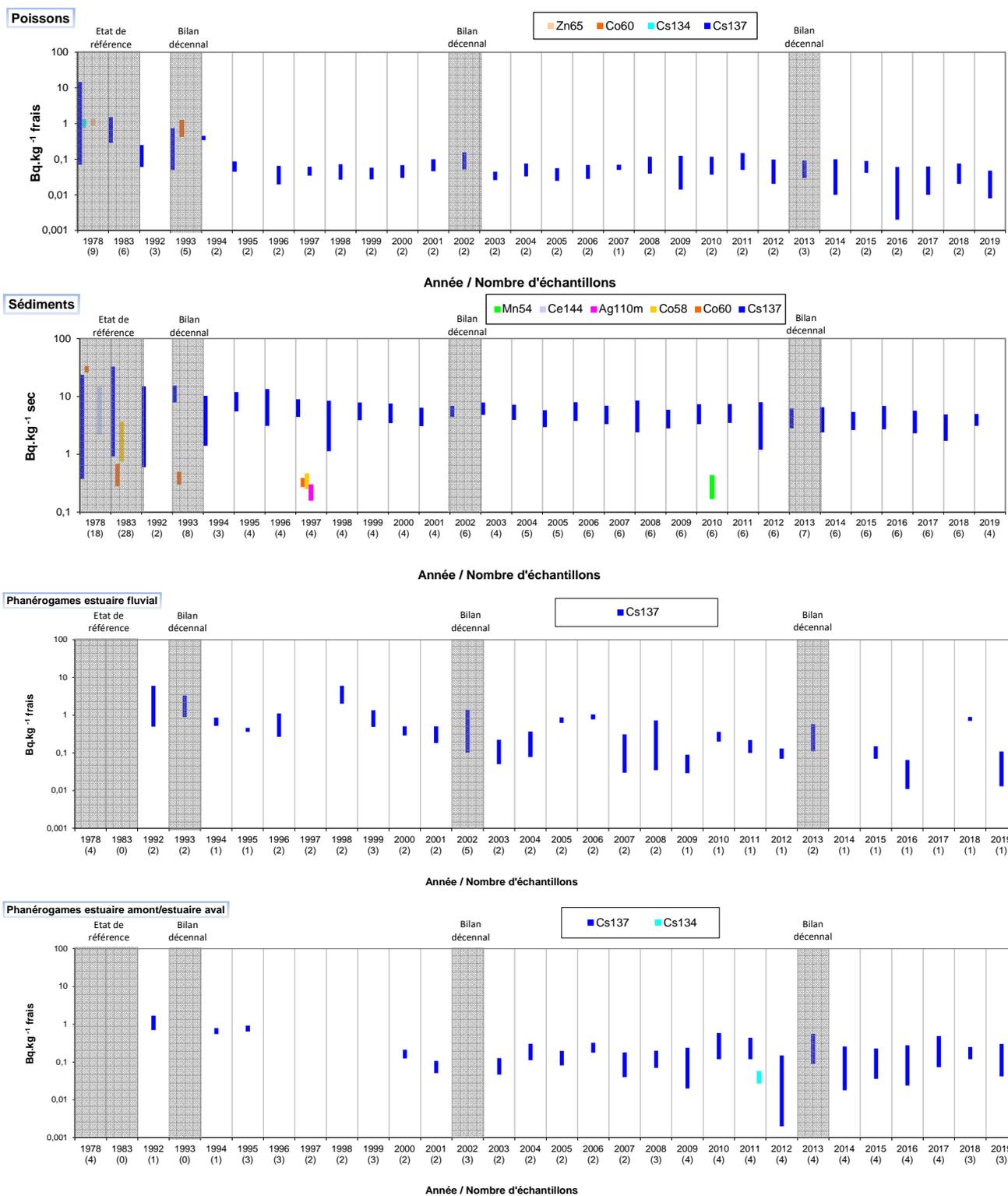


Figure 6-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu aquatique lors des études menées depuis l'état de référence de 1978 au suivi radioécologique de 2019.

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

6.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

6.3.2.2.1. Tritium

Les résultats des mesures en ^3H libre sont présentés dans le Tableau 6-25 (page 139). En 2019, les activités du ^3H libre sont inférieures aux seuils de décision dans les eaux. Elles sont proches de 5 Bq.L^{-1} dans les deux prélèvements de phanérogames 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 en ^3H libre mesurées dans ces végétaux.

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des études radioécologiques antérieures. Depuis 2013, l'activité en ^3H libre dans les végétaux aquatiques fluctue entre le seuil de décision et 8 Bq.L^{-1} (Figure 6-10). Ces valeurs traduisent une influence des rejets de tritium libre du C.N.P.E. du Blayais sur le milieu aquatique environnant ainsi que du C.N.P.E. de Golfech situé en amont sur la Garonne.

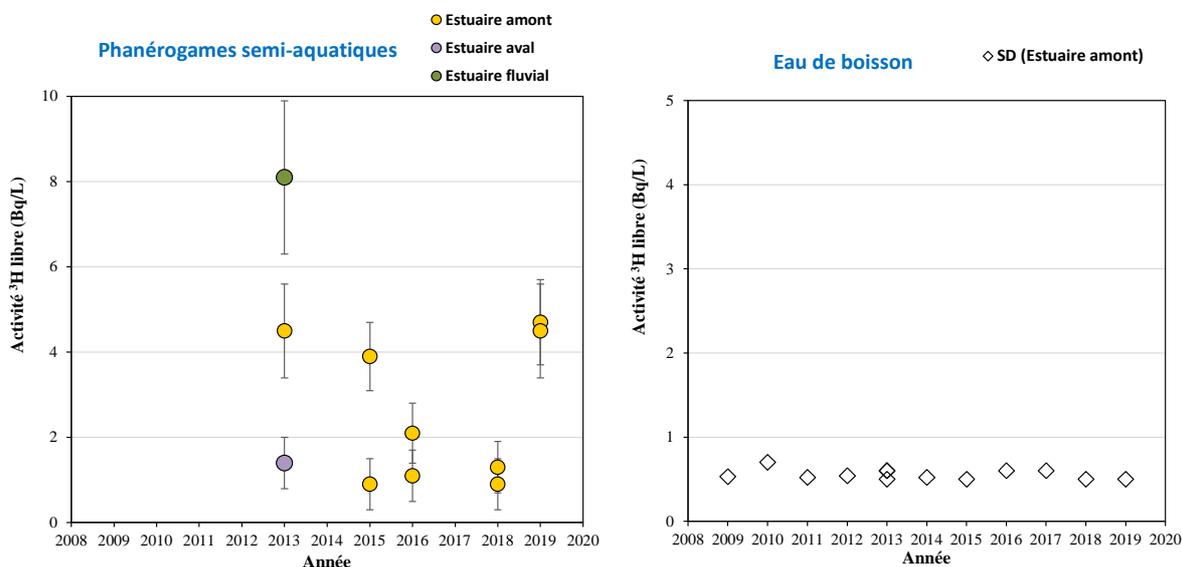


Figure 6-10. Activités en tritium libre détectés (Bq.L^{-1}) dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.

Les résultats des mesures en ^3H organiquement lié (TOL) sont présentés dans le Tableau 6-26 (page 140). En 2019, les niveaux d'activité du TOL sont compris entre le seuil de décision et une valeur proche de 2 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans les matrices prélevées (phanérogames et poissons). Ils sont cohérents avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle [8]. Ces valeurs ne montrent pas d'influence des rejets de tritium du C.N.P.E. du Blayais sur le milieu aquatique.

Les résultats sont cohérents avec les données antérieures, à l'exception des mesures réalisées dans les poissons (2010 et 2018) et les phanérogames (2013) qui traduisent un marquage en TOL lié aux rejets d'effluents radioactifs liquides des C.N.P.E. du Blayais et de Golfech situé en amont sur la Garonne (Figure 6-11).

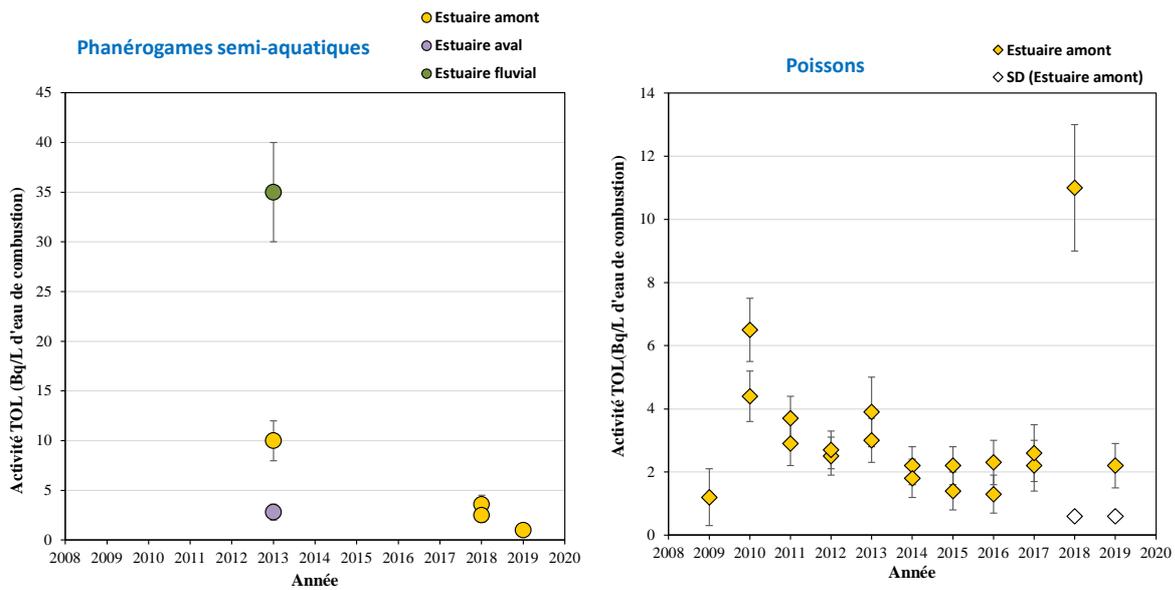


Figure 6-11. Activités en tritium organiquement lié (TOL) détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019.

6.3.2.2.2. Carbone 14

Les résultats sont présentés dans le Tableau 6-27 (page 140). Les analyses de ^{14}C révèlent des activités similaires entre les deux points de prélèvements pour les poissons (mulets : $260,0 \pm 9,0$ et 280 ± 10 Bq.kg $^{-1}$ de C) et les phanérogames (scirpes : $228,2 \pm 1,2$ et $231,2 \pm 1,0$ Bq.kg $^{-1}$ de C). Les mesures réalisées dans les poissons et les phanérogames sont supérieures au niveau ambiant hors influence industrielle (200-220 Bq.kg $^{-1}$ de carbone [3]) et traduisent un léger marquage en ^{14}C lié aux rejets d'effluents radioactifs liquides du C.N.P.E. du Blayais.

Ces observations sont en accord avec les mesures de ^{14}C réalisées dans le cadre des études radioécologiques antérieures (Figure 6-12). 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 en ^{14}C mesurées pour une matrice donnée.

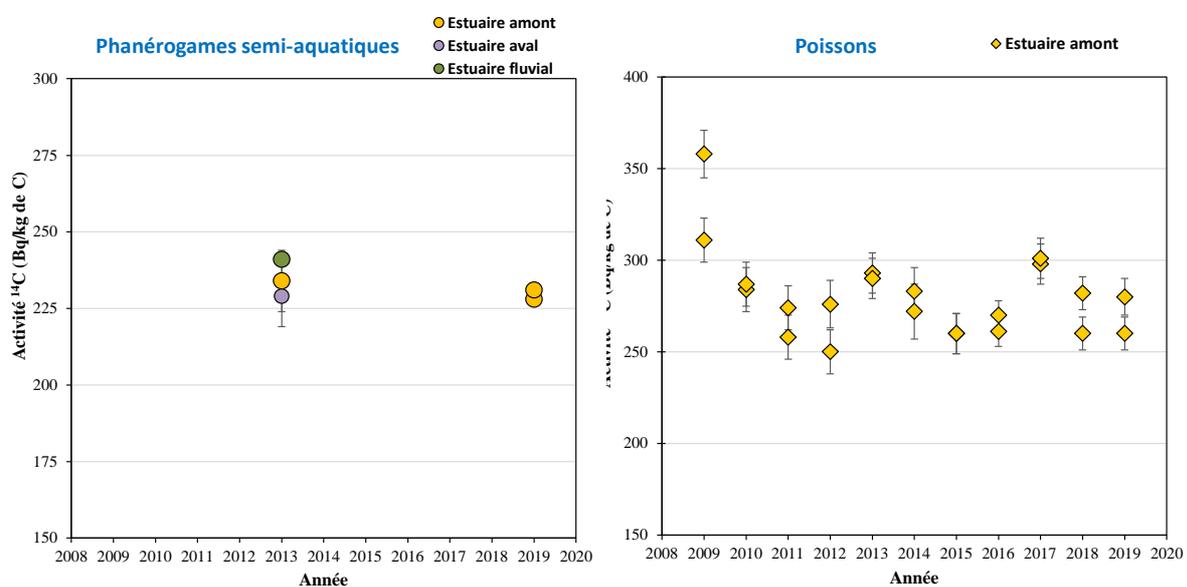


Figure 6-12. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.

6.3.2.2.3. Nickel 63 et Fer 55

En 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe montrent des activités inférieures aux seuils de décision dans les phanérogames (scirpes) (Tableau 6-28 et Tableau 6-29, page 141).

6.4 Conclusion

Le suivi radioécologique établi en 2019 montre que le niveau de radioactivité naturelle demeure similaire à celui relevé avant la mise en exploitation du C.N.P.E.

La radioactivité artificielle détectée en 2019 dans **le milieu terrestre** est due à la présence de ^{137}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 cohérentes à celles attendues dans l'environnement en dehors de tout apport industriel local. Les analyses de ^{14}C dans des échantillons prélevés dans des zones hors et sous les vents dominants par rapport aux rejets d'effluents atmosphériques du C.N.P.E. révèlent des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

En 2019, dans **le milieu aquatique**, on constate la présence de traces de ^{137}Cs dans les sédiments, les végétaux et les poissons. Pour une matrice donnée, les niveaux d'activité du ^{137}Cs sont similaires de l'estuaire fluvial à l'estuaire aval et ils ne montrent pas de lien avec le fonctionnement de l'installation. Sa présence est donc principalement liée aux retombées atmosphériques des anciens essais aériens et de l'accident de Tchernobyl. Pour le tritium organiquement lié, les niveaux d'activité détectés sont de l'ordre du bruit de fond ambiant hors apport anthropique local. Dans la continuité des études antérieures, 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 en ^3H libre et en ^{14}C mesurées pour une matrice donnée. Ces mesures montrent cependant, pour ces radionucléides, un marquage de la faune et de la flore aquatiques lié aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. du Blayais, et potentiellement à ceux du C.N.P.E. de Golfech situé en amont sur la Garonne.

LISTE DES FIGURES

Figure 6-1. Chronologie des principales études radioécologiques conduites dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais.....	96
Figure 6-2. Stations et natures des prélèvements du milieu terrestre pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. du Blayais.....	99
Figure 6-3. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu terrestre lors des études menées depuis l'état de référence, de 1978/1979, au suivi radioécologique de 2019.....	101
Figure 6-4. Activités en tritium libre (Bq.L^{-1}) détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	102
Figure 6-5. Activités en tritium organiquement lié (Bq.L^{-1} d'eau de combustion) détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	103
Figure 6-6. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	104
Figure 6-7. Principales unités morphologiques de l'estuaire de la Gironde.....	106
Figure 6-8. Stations et natures des prélèvements du milieu aquatique pour le suivi radioécologique 2019 du C.N.P.E. du Blayais.....	108
Figure 6-9. Gammes de variation (*) des activités des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie γ dans le milieu aquatique lors des études menées depuis l'état de référence de 1978 au suivi radioécologique de 2019.....	110
Figure 6-10. Activités en tritium libre détectés (Bq.L^{-1}) dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	111
Figure 6-11. Activités en tritium organiquement lié (TOL) détectés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	112
Figure 6-12. Activités spécifiques en ^{14}C mesurés dans les échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E du Blayais de 2009 à 2019.....	113

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 6- 1. Identification des échantillons prélevés dans le milieu terrestre de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	98
Tableau 6-2. Identification des échantillons prélevés dans le milieu aquatique de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	107
Tableau 6-3. Activités des radionucléides émetteurs α dans les échantillons de sols issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg ⁻¹ sec).	119
Tableau 6-4. Activités des radionucléides émetteurs α dans les échantillons de mousses terrestres issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg ⁻¹ sec).	120
Tableau 6-5. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ du ¹⁴ C, du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans les échantillons d'asperges issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).	121
Tableau 6-6. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ du ¹⁴ C, du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans les échantillons d'herbe issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).	122
Tableau 6-7. Activités du ¹⁴ C, du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (lierre) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2015 à 2019 (¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).	123
Tableau 6-8. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans le lait issu de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.L ⁻¹ ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).	124
Tableau 6-9. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	125
Tableau 6-10. Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	126
Tableau 6-11. Teneur en iode stable (¹²⁷ I) des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	127
Tableau 6-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	127
Tableau 6-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	127
Tableau 6-14. Activité du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	128
Tableau 6-15. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	128
Tableau 6-16. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ et du ³ H libre dans les eaux issues de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ³ H : Bq.L ⁻¹)	129

Tableau 6-17. Activités des radionucléides émetteurs α dans les échantillons de sédiments issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg ⁻¹ sec).....	130
Tableau 6-18. Activités des radionucléides émetteurs α et du ³ H libre dans les échantillons d'algues issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	131
Tableau 6-19. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ du ¹⁴ C, du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans les échantillons de phanérogames issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ sec ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone, ³ H : Bq.L ⁻¹).....	132
Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs α , du ¹⁴ C, du ³ H libre et du ³ H organiquement lié dans les échantillons de poissons issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ frais ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ de carbone ; ³ H : Bq.L ⁻¹).....	133
Tableau 6-21. Activités des radionucléides émetteurs $\alpha\alpha$ et du ³ H libre dans les échantillons de mollusques et de crustacés issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg ⁻¹ frais ; ³ H : Bq.L ⁻¹).	134
Tableau 6-22 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	135
Tableau 6-23 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	137
Tableau 6-24. Teneurs en iode stable (¹²⁷ I) des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	139
Tableau 6-25. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	139
Tableau 6-26. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.	140
Tableau 6-27. Activités du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	140
Tableau 6-28. Activités du nickel 63 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	141
Tableau 6-29. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6-30. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.....	142

Tableau 6-3. Activités des radionucléides émetteurs γ dans les échantillons de sols issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril/juil./oct. 2009	mai/juil./sept./oct. 2010	avril/mai/sept./oct. 2011	avril/juin/juil./oct./nov. 2012	avril/oct. 2013	avril/oct./déc. 2014	avril/mai/sept. 2015	avril/oct. 2016	avril/sept. 2017	avril 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	1,4 à 7,7 km	1,0 à 6,9 km	1,0 à 6,9 km	1,0 à 6,9 km	1,0 à 24,8 km	1,0 à 24,7 km	1,0 à 24,7 km	1,0 à 24,7 km	1,0 à 24,7 km	1,0 km	7,7 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,81-6,9 (6/6)	0,59-6,4 (6/6)	1,1-6,1 (6/6)	0,84-7,1 (6/6)	0,25-7,5 (11/11)	0,41-5,0 (6/6)	0,40-6,0 (6/6)	0,51-7,4 (6/6)	0,51-7,4 (6/6)	0,40 (1/1)	0,49 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 6-4. Activités des radionucléides émetteurs γ dans les échantillons de mousses terrestres issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2009	mai 2010	mars/avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	mai 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	6,3 et 30 km	4,6 et 30 km	4,6 km	6,3 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	1,6-2,0 (2/4)	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,3-19 (2/2)	9,6 (1/2)	4,4-21 (4/4)	4,7-12 (2/2)	2,4-15 (2/2)	0,57-12 (2/2)	17 (1/2)	12 (1/2)	1,7-14 (1/2)	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	16-18 (2/4)	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 6-5. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons d'asperges issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	avril 2009	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	6,9 et 24,7 km	6,9 et 24,7 km	6,9 et 24,7 km	6,9 et 24,7 km	6,9 et 24,7 km						
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,15 (1/2)	0,54 (1/2)	-	-	0,15 (1/2)	-	0,11 (1/2)	0,21 (1/2)	-	0,15 (1/2)	0,109 (1/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	227-229 (2/2)	229-232 (2/2)	229-239 (2/2)	230-233 (2/2)	225,0-229,0 (2/2)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	-	0,76 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,7 (1/1)	-	-	-	-

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

Tableau 6-6. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons d'herbe issus de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ sec ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	juil. 2009	mai 2011	juin 2012	avril 2013	déc. 2014	mai 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019
Distance par rapport au site	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	1,4 à 23,2 km	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km
Emetteurs γ d'origine artificielle										
^{134}Cs	-	0,085-0,095 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,13 (1/2)	0,12-0,14 (2/2)	-	-	0,10-0,11 (2/2)	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β										
^{14}C	244 (1/1)	227 (1/1)	229 (1/1)	243 (1/1)	236 (1/1)	227-229 (2/2)	231-236 (2/2)	227 (2/2)	226 (1/1)	225,0 (1/1)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,9 (1/1)	1,3 (1/1)	1,6 (1/1)	-	1,18 (1/1)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	n.a.	0,60 (1/1)

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

Tableau 6-7. Activités du ¹⁴C, du ³H libre et du ³H organiquement lié dans les échantillons trimestriels (lière) prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2015 à 2019 (¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ³H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	avril 2015	juil. 2015	oct. 2015	janv. 2016	avril 2016	juil. 2016	oct. 2016	janv. 2017	avril 2017	juil. 2017	oct. 2017	janv. 2018	avril 2018	juil. 2018	oct. 2018	janv. 2019
Distance par rapport au site	1,0 km	1,0 km														
Emetteurs β																
¹⁴ C	242 (1/1)	238 (1/1)	249 (1/1)	235 (1/1)	240 (1/1)	250 (1/1)	256 (1/1)	251 (1/1)	284 (1/1)	265 (1/1)	258 (1/1)	262 (1/1)	249 (1/1)	256 (1/1)	256 (1/1)	250 (1/1)
³ H libre	n.a.	0,61 (1/1)	n.a.													
³ H organiquement lié	n.a.	0,62 (1/1)	n.a.													

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



Tableau 6-8. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans le lait issu de l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.L⁻¹ ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	sept. 2009	mai 2010	mai 2011	avril 2012	mars/avril 2013	juil. 2014	août 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	août 2019
Distance par rapport au site	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	4 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 et 23,2 km	1,1 km	1,1 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,019 (1/2)	0,007-0,010 (2/2)	0,0067-0,017 (2/2)	0,0084-0,025 (2/2)	0,017 (1/2)	0,016 (1/2)	0,011 (1/2)	0,027 (1/2)	-	0,011 (1/1)	0,0136 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	243 (2/2)	n.a.	n.a.	234 (1/1)	235-241 (2/2)	231-239 (2/2)	224,0-234,0 (2/2)
^3H libre	-	-	-	-	-	-	2,0 (1/1)	0,9 (1/1)	0,8 (1/1)	-	-
^3H organiquement lié	-	2,1 (1/1)	1,6 (1/1)	-	3,6 (1/1)	0,93 (1/1)	0,9 (1/1)	0,7 (1/1)	-	-	-

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

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

Hors vents		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine naturelle									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sols, végétaux), Bq.L ⁻¹ (lait)					⁷ Be	
							⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de ²³⁸ U				
								²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Braud-et-St-Louis	Mousse terrestre	Mousse <i>Pseudoscleropodium purum</i> (Hedw.)	Entier	04/04/19	05/04/19	Frais	185 ± 32	< 3,5	< 12	n.a.	389 ± 62	641 ± 74	
Civrac-de-Blaye La Craberie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	04/04/19	29/04/19	Cendres	569 ± 81	< 0,28	< 0,61	n.a.	< 0,89	< 0,61	
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	03/04/19	26/04/19	Cendres	783 ± 112	< 0,34	< 0,74	n.a.	< 1,1	< 0,71	
Station AS1 CNPE de Blayais	Sol non cultivé	Sol de pâturage Horizon 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	04/04/19	17/04/19	Sec	489 ± 70	19,5 ± 2,6	n.a.	< 15	n.a.	3,6 ± 1,2	
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	03/04/19	12/04/19	Cendres	937 ± 134	< 0,21	< 0,65	n.a.	8,7 ± 1,7	150 ± 17	
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Lait	Lait de vache	Entier	01/08/19	29/08/19	Cendres	54,3 ± 7,8	< 0,027	< 0,067	n.a.	< 0,11	< 0,066	

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

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

Hors vents		Sous les vents		Emetteurs γ d'origine artificielle									
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sols, végétaux), Bq.L ⁻¹ (lait)						
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁹ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹³¹ I
Braud-et-St-Louis	Mousse terrestre	Mousse <i>Pseudoscleropodium purum</i> (Hedw.)	Entier	04/04/19	05/04/19	Frais	< 1,0	< 0,98	< 0,79	< 0,93	< 1,1	< 0,78	< 0,89
Civrac-de-Blaye La Craberie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	04/04/19	29/04/19	Cendres	< 0,069	0,109 ± 0,070	< 0,080	< 0,088	< 0,088	< 0,067	n.a.
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis</i> L.	Entier	03/04/19	26/04/19	Cendres	< 0,081	< 0,080	< 0,095	< 0,11	< 0,11	< 0,082	n.a.
Station AS1 CNPE de Blayais	Sol non cultivé	Sol de prairie <i>Horizon 0 - 5 cm</i>	Diamètre inférieur à 2 mm	04/04/19	17/04/19	Sec	< 0,12	0,49 ± 0,10	< 0,12	< 0,13	< 0,14	< 0,14	n.a.
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Pâturage, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	03/04/19	12/04/19	Cendres	< 0,045	< 0,047	< 0,049	< 0,061	< 0,055	< 0,046	n.a.
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Lait	Lait de vache	Entier	01/08/19	29/08/19	Cendres	< 0,0065	0,0136 ± 0,0070	< 0,0082	< 0,0084	< 0,0084	< 0,0065	n.a.

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

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹²⁷ I
							mg.kg ⁻¹ frais
Braud-et-St-Louis	Mousse terrestre	Mousse <i>Pseudoscleropodium purum (Hedw.)</i>	Entier	04/04/19	22/10/19	Lyophilisée	< 10

Tableau 6-11. Teneur en iode stable (¹²⁷I) des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Date de prélèvement	Date de mesure	Fraction	³ H libre	
						Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis L.</i>	03/04/19	26/04/19	Eau de lyophilisation	0,76 ± 0,54	0,69 ± 0,49
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Végétal	Herbe de pâturage	03/04/19	26/06/19	Eau de lyophilisation	1,18 ± 0,56	0,97 ± 0,46
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Lait	Lait de vache	01/08/19	29/08/19	Eau de lyophilisation	< 0,52	< 0,44

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

Tableau 6-12. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Espèce	Date de prélèvement	Date de mesure	Fraction	³ H organiquement lié		
						Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ de lait	Bq.kg ⁻¹ MO
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis L.</i>	03/04/19	26/04/19	Lyophilisée	< 0,54	< 0,027	< 0,32
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Végétal	Herbe de pâturage	03/04/19	26/06/19	Lyophilisée	0,60 ± 0,57	0,060 ± 0,058	0,37 ± 0,35
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Lait	Lait de vache	01/08/19	29/08/19	Lyophilisée	< 0,57	< 0,049	< 0,44

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

Tableau 6-13. Activité du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

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

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot g.kg ⁻¹ frais (végétaux) g.L ⁻¹ de lait	¹³ C/ ¹² C ‰	PMC %
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais (végétaux) Bq.L ⁻¹ (lait)			
Civrac-de-Blaye La Craberie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis L</i>	Entier	04/04/19	23/11/19	Lyophilisée	225,0 ± 9,0	9,36 ± 0,37	42	-24,92	100
Braud-et-St-Louis La Blanchetterie	Production agricole	Asperge <i>Asparagus officinalis L</i>	Entier	03/04/19	12/12/19	Lyophilisée	229,0 ± 9,0	8,47 ± 0,33	37	-23,15	101
Civrac-de-Blaye Reguignon	Pâtture, herbe, luzerne	Herbe de pâturage	Parties aériennes	04/04/19	11/07/19	Lyophilisée	225,0 ± 9,0	18,35 ± 0,73	82	-29,83	101
Civrac-de-Blaye Reguignon	Lait	Lait de vache	Entier	05/04/19	12/10/19	Lyophilisée	234,0 ± 9,0	15,12 ± 0,58	65	-20,79	103
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Lait	Lait de vache	Entier	01/08/19	04/01/20	Lyophilisée	224,0 ± 8,0	15,30 ± 0,55	68	-27,46	100

Tableau 6-14. Activité du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Sous les vents

Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Braud-et-Saint-Louis La Parisienne	Sol de pâturage <i>Horizon 0-5 cm</i>	03/04/19	Granulométrie 5 fractions	
			Argile	34,60
			Limons fins	33,00
			Limons grossiers	13,40
			Sables fins	3,80
			Sables grossiers	15,30
	Teneur en matières organiques	11,94		

Tableau 6-15. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sols prélevés dans l'environnement terrestre du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Tableau 6-16. Activités des radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les eaux issues de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1})

Année de prélèvement	avril/oct. 2009	mai/sept. 2010	avril/mai 2011	avril/juin 2012	déc. 2013 et août 2014	avril/juil. 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	avril/sept. 2018	août 2019
Distance par rapport au site	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	5,1 et 6,5 km	1,4 et 6,5 km	1,4 et 6,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{58}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{60}Co	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{54}Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^3H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

n.a. : non analysé ; < - > : inférieur au seuil de décision depuis 2009

Tableau 6-17. Activités des radionucléides émetteurs γ dans les échantillons de sédiments issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (Bq.kg⁻¹ sec).

Année de prélèvement	avril 2009	sept. 2010	sept. 2011	juil. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juil. 2015	juil. 2016	juin 2017	juin 2018	juil./août 2019
Distance par rapport au site	3,2 à 92 km	7,5 à 92 km	7,5 à 38 km								
Emetteurs γ d'origine artificielle											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	3,3-5,0 (6/6)	3,8-6,5 (6/6)	4,1-6,6 (6/6)	1,4-6,9 (6/6)	3,2-5,6 (7/7)	2,8-5,8 (6/6)	3,0-4,8 (6/6)	3,1-5,9 (6/6)	2,6-5,0 (6/6)	1,9-4,4 (5/5)	3,48-4,52 (4/4)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	0,27 (1/6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

Tableau 6-18. Activités des radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les échantillons d'algues issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2009	juil. 2010	juil. 2011	juin 2012	juin 2013	juil. 2014	juin 2015	mai 2016	juin 2017	juin 2018	juin 2019
Distance par rapport au site	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km	48 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{137}Cs	0,34 (1/1)	0,33 (1/1)	0,27 (1/1)	0,3 (1/1)	0,25 (1/1)	0,2 (1/1)	0,27 (1/1)	0,20 (1/1)	0,25 (1/1)	n.a.	n.a.
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 6-19. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons de phanérogames issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$; ^{14}C : Bq.kg^{-1} de carbone, ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	juin 2008	sept. 2010	sept. 2011	juil. 2012	juil. 2013	juil. 2014	juil. 2015	juil. 2016	juin 2017	juin/oct. 2018	juil. 2019
Distance par rapport au site	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 38 km	3,2 à 92 km	3,2 à 92 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	0,044 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,073-0,61 (4/5)	0,16-0,52 (5/5)	0,14-0,39 (5/5)	0,029-0,11 (4/5)	0,15-0,52 (6/6)	0,043-0,23 (4/5)	0,073-0,19 (5/5)	0,036-0,24 (4/5)	0,091-0,43 (3/5)	0,14-0,80 (4/4)	0,104-0,259 (4/4)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	226-228 (2/2)	228,2-231,2 (2/2)
^3H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9-3,9 (2/2)	1,1-2,1 (2/2)	n.a.	0,9-1,3 (2/2)	4,5-4,7 (2/2)
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,5-3,6 (2/2)	0,98 (1/2)

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

Tableau 6-20. Activités des radionucléides émetteurs γ , du ^{14}C , du ^3H libre et du ^3H organiquement lié dans les échantillons de poissons issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg⁻¹ frais ; ^{14}C : Bq.kg⁻¹ de carbone ; ^3H : Bq.L⁻¹).

Année de prélèvement	avr 2009	juin 2010	juin 2011	juin 2012	mai 2013	mai 2014	mai 2015	mai 2016	mai 2017	juin 2018	mai 2019
Distance par rapport au site	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km	3,2 et 7,5 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,048-0,083 (2/2)	0,066-0,081 (2/2)	0,1 (1/2)	0,047-0,068 (2/2)	0,052-0,061 (3/3)	0,036-0,071 (2/2)	0,065 (1/2)	0,019-0,038 (2/2)	0,032-0,040 (2/2)	0,047-0,048 (2/2)	0,028-0,030 (2/2)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emetteurs β											
^{14}C	311-358 (2/2)	284-287 (2/2)	258-274 (2/2)	250-276 (2/2)	290-293 (2/2)	272-283 (2/2)	260 (2/2)	261-270 (2/2)	298-301 (2/2)	260-282 (2/2)	260-280 (2/2)
^3H libre	-	3,5-3,7 (2/2)	7,2-7,4 (2/2)	2,6-4,1 (2/2)	2,5-2,6 (2/2)	1,4-2,8 (2/2)	2,7 (1/2)	2,5-3,1 (2/2)	3,9 (2/2)	1,7-2,7 (2/2)	n.a.
^3H organiquement lié	1,2 (1/2)	4,4-6,5 (2/2)	2,9-3,7 (2/2)	2,5-2,7 (2/2)	3,0-3,9 (2/2)	1,8-2,2 (2/2)	1,4-2,2 (2/2)	1,3-2,3 (2/2)	2,2-2,6 (2/2)	11 (1/2)	2,22 (1/2)

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

Tableau 6-21. Activités des radionucléides émetteurs γ et du ^3H libre dans les échantillons de mollusques et de crustacés issus de l'environnement du C.N.P.E. du Blayais de 2009 à 2019 (spectrométrie γ : Bq.kg^{-1} frais ; ^3H : Bq.L^{-1}).

Année de prélèvement	avril/juin 2009	juin/juil. 2010	juin 2011	juin 2012	mai/juin 2013	mai/juil. 2014	mai/juin 2015	mai 2016	juin 2017	juil 2018	juil 2019
Distance par rapport au site	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km	3,2 et 48 km
Emetteurs γ d'origine artificielle											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{137}Cs	0,056-0,10 (2/2)	-	-	0,053 (1/2)	-	0,095 (1/2)	-	0,077 (1/2)	-	n.a.	n.a.
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	0,043 (1/2)	-	n.a.	n.a.
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.
Emetteurs β											
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^3H libre	-	1,7-1,8 (2/2)	2,1-6,1 (2/2)	0,95-1,2 (2/2)	0,86-1,4 (2/2)	2,5 (1/2)	0,9-2,3 (2/2)	2,8 (1/2)	1,2-12 (2/2)	n.a.	n.a.
^3H organiquement lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 6-22 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire fluvial			Estuaire amont			Estuaire aval			Emetteurs γ d'origine naturelle				
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)						
							⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de ²³⁸ U			⁷ Be	
								²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Port de Plagne Rive droite, Dordogne	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/19	19/08/19	Sec	682 ± 98	39,9 ± 5,2	n.a.	27 ± 18	n.a.	9,7 ± 2,1	
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	21/08/19	Sec	714 ± 102	39,8 ± 5,2	n.a.	38 ± 32	n.a.	13,1 ± 1,8	
Port de Vitrezay Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	01/08/19	30/09/19	Sec	635 ± 91	39,8 ± 5,2	n.a.	61 ± 23	n.a.	10,3 ± 3,5	
Talmont Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	11/09/19	Sec	640 ± 92	41,0 ± 5,4	n.a.	46 ± 22	n.a.	17,7 ± 3,3	

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

Tableau 6-22 (2/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire fluvial	Estuaire amont	Estuaire aval
------------------	----------------	---------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine naturelle					
							Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)					
							⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de ²³⁸ U			⁷ Be
	²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb								
Langon Rive droite, Garonne	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	30/07/19	02/09/19	Sec	709 ± 101	0,86 ± 0,23	< 0,69	n.a.	9,5 ± 1,8	103 ± 12
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Cendres	279 ± 40	2,47 ± 0,34	< 0,45	n.a.	6,8 ± 1,2	61,0 ± 6,9
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	14/08/19	Cendres	155 ± 22	8,2 ± 1,1	1,96 ± 0,64	n.a.	7,8 ± 1,4	84,4 ± 9,5
Talmon Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	17/09/19	Cendres	217 ± 31	3,95 ± 0,53	1,76 ± 0,47	n.a.	24,4 ± 3,7	278 ± 31
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	22/07/19	Cendres	136 ± 20	< 0,075	< 0,16	n.a.	< 0,25	< 0,31
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	22/07/19	Cendres	128 ± 18	< 0,072	< 0,12	n.a.	< 0,23	< 0,28

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

Tableau 6-23 (1/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire fluvial	Estuaire amont	Estuaire aval
------------------	----------------	---------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle							
							Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)							
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	^{108m} Ag	¹³¹ I
Port de Plagne Rive droite, Dordogne	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	30/07/19	19/08/19	Sec	< 0,16	4,42 ± 0,52	< 0,17	< 0,16	< 0,18	< 0,17	n.a.	n.a.
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	21/08/19	Sec	< 0,15	4,52 ± 0,53	< 0,16	< 0,15	< 0,18	< 0,15	n.a.	n.a.
Port de Vitrezay Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	01/08/19	30/09/19	Sec	< 0,16	3,70 ± 0,45	< 0,28	< 0,17	< 0,19	< 0,23	n.a.	n.a.
Talmont Rive droite, Gironde	Sédiment	Sédiment	Diamètre inférieur à 2 mm	31/07/19	11/09/19	Sec	< 0,18	3,48 ± 0,42	< 0,24	< 0,18	< 0,22	< 0,21	n.a.	n.a.

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

Tableau 6-23 (2/2). Activités des radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle des échantillons de l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire fluvial	Estuaire amont	Estuaire aval
------------------	----------------	---------------

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Emetteurs γ d'origine artificielle							
							Activité Bq.kg ⁻¹ sec (sédiments, végétaux), Bq.kg ⁻¹ frais (poissons)							
							¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	^{108m} Ag	¹³¹ I
Langon Rive droite, Garonne	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	30/07/19	02/09/19	Cendres	< 0,046	0,061 ± 0,048	< 0,061	< 0,059	< 0,057	< 0,049	n.a.	n.a.
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Cendres	< 0,025	0,070 ± 0,028	< 0,030	< 0,030	< 0,031	< 0,026	n.a.	n.a.
Port de Belle Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,92
Port des Callonges Rive droite Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	14/08/19	Cendres	< 0,027	0,104 ± 0,020	< 0,027	< 0,017	< 0,030	< 0,029	n.a.	n.a.
Port des Callonges Rive droite Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	14/08/19	Frais	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 1,0
Talmon Rive droite Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	17/09/19	Cendres	< 0,025	0,259 ± 0,041	< 0,037	< 0,030	< 0,033	< 0,028	n.a.	n.a.
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	22/07/19	Cendres	< 0,021	0,028 ± 0,020	< 0,034	< 0,025	< 0,028	< 0,021	n.a.	n.a.
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	22/07/19	Cendres	< 0,020	0,030 ± 0,017	< 0,033	< 0,023	< 0,026	< 0,020	n.a.	n.a.

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

Estuaire amont							¹²⁷ I
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	mg.kg ⁻¹ frais
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	22/10/20	Lyophilisée	< 13
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	12/06/20	Lyophilisée	< 15

Tableau 6-24. Teneurs en iode stable (¹²⁷I) des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire amont							³ H libre	
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.L ⁻¹	Bq.kg ⁻¹ frais
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Eau de lyophilisation	4,7 ± 1,0	3,45 ± 0,73
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	12/03/20	Eau de lyophilisation	4,5 ± 1,1	3,13 ± 0,73
St-Ciers-sur-Gironde SIEB	Eau	Eau de boisson	Entier	01/08/19	19/09/19	-	< 0,53	-
Braud-et-St-Louis La Condé	Eau	Eau d'irrigation	Filtrée à 0,22mm	01/08/19	21/09/19	-	< 0,59	-

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

Tableau 6-25. Activités du tritium libre des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire amont

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	³ H organiquement lié		
							Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion	Bq.kg ⁻¹ frais	Bq.kg ⁻¹ MO
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Lyophilisée	< 0,64	< 0,077	< 0,32
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	14/08/19	Lyophilisée	0,98 ± 0,62	0,135 ± 0,089	0,50 ± 0,33
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	22/09/19	Lyophilisée	2,22 ± 0,67	0,31 ± 0,10	1,62 ± 0,52
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	20/09/19	Lyophilisée	< 0,57	< 0,078	< 0,42

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

Tableau 6-26. Activités du tritium organiquement lié des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire amont

Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	¹⁴ C		C tot g.kg ⁻¹ frais	¹³ C/ ¹² C ‰	PMC %
							Bq.kg ⁻¹ de C	Bq.kg ⁻¹ frais			
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	25/03/20	Lyophilisée	228,2 ± 1,2	27,41 ± 0,14	120	-28,32	102
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	10/12/20	Lyophilisée	231,2 ± 1,0	31,30 ± 0,14	135	-28,38	103
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	18/01/20	Lyophilisée	260,0 ± 9,0	25,53 ± 0,88	98	-22,71	115
Port des Callonges Rive droite, Gironde	Poisson	Mulet <i>Liza Ramada</i>	Muscle	15/05/19	25/01/20	Lyophilisée	280 ± 10	27,1 ± 1,0	97	-21,66	123

Tableau 6-27. Activités du carbone 14 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire amont		Estuaire aval						⁶³ Ni
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	26/08/19	Cendres	< 0,32	
Talmont Rive droite Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	25/11/19	Cendres	< 0,14	

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

Tableau 6-28. Activités du nickel 63 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire amont		Estuaire aval						⁵⁵ Fe
Station	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Date de mesure	Qualité	Bq.kg ⁻¹ sec	
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	10/03/20	Cendres	< 1,2	
Talmont Rive droite, Gironde	Phanérogame semi-aquatique	Scirpe <i>Scirpus maritimus</i>	Parties aériennes	31/07/19	01/03/20	Cendres	< 0,84	

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

Tableau 6-29. Activités du fer 55 des échantillons prélevés dans l'environnement du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019.

Estuaire fluvial	Estuaire amont	Estuaire aval		
Station	Nature	Date de prélèvement	Analyses	%
Port de Plagne Rive droite, Dordogne	Sédiment	30/07/19	Granulométrie 5 fractions	
			Argile	45,70
			Limons fins	41,30
			Limons grossiers	13,70
			Sables fins	0,60
			Sables grossiers	0,20
Teneur en matières organiques	6,50			
Port de la Belle-Etoile Rive droite, Gironde	Sédiment	31/07/19	Granulométrie 5 fractions	
			Argile	42,80
			Limons fins	44,20
			Limons grossiers	13,60
			Sables fins	0,90
			Sables grossiers	0,10
Teneur en matières organiques	6,90			
Port de Vitrezay Rive droite, Gironde	Sédiment	01/08/19	Granulométrie 5 fractions	
			Argile	39,50
			Limons fins	46,50
			Limons grossiers	14,70
			Sables fins	0,80
			Sables grossiers	0,10
Teneur en matières organiques	7,10			
Talmont Rive droite, Gironde	Sédiment	31/07/19	Granulométrie 5 fractions	
			Argile	35,10
			Limons fins	39,20
			Limons grossiers	25,30
			Sables fins	1,60
			Sables grossiers	0,20
Teneur en matières organiques	7,40			

Tableau 6-30. Granulométrie et teneur en matières organiques des échantillons de sédiments prélevés dans l'environnement aquatique du C.N.P.E. du Blayais lors du suivi radioécologique de 2019

Bibliographie

- [1] Electricité de France. Site internet : <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-blayais>.
- [2] EDF. Dossier de Presse. La centrale nucléaire du Blayais, un outil de production majeur au cœur de la région Aquitaine. <http://energies.edf.com/blayais>. Janvier 2012.
- [3] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.
- [4] IRSN. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement. Rapport DEI/2011-01. Février 2012.
- [5] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [6] Centre de Datation par le RadioCarbone. Site internet : <http://carbon14.univ-lyon1.fr>.
- [7] Syndicat mixte pour le développement durable de l'estuaire de la Gironde. Elaboration du plan de gestion des sédiments de dragage de l'estuaire de la Gironde. Rapport d'étape 1 : état des lieux. Artélia, 8713583, LTT. Février 2016.
- [8] Gontier G. et Siclet F. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4, 457-491, 2011.

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

- Année 2019 -

Bassin de la 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), des sols et des herbes de prairie, du lait et de l'eau de boisson. Dans le milieu aquatique, les échantillons prélevés sont des sédiments, des végétaux aquatiques, des poissons et de l'eau d'irrigation. Les campagnes de prélèvements se sont déroulées d'avril à novembre 2019.

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}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn , ^{131}I ...) et, depuis 2000, la détermination du tritium libre dans le lait et les eaux. 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}C dans les salades/asperges (ZHV et/ou ZSV), les herbes (ZHV) et les laits (ZHV), de mesures de l'activité du tritium libre dans les salades/asperges 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 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 2019 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 2019

La Figure 7-1 présente les activités des radionucléides artificiels émetteurs gamma détectés en 2019 (>SD) dans les échantillons prélevés dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Les activités sont exprimées en Bq.kg^{-1} sec pour les sols et les végétaux (mousses, asperges, herbes...) et en Bq.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 2019, la radioactivité d'origine artificielle dans le milieu terrestre est due à la présence de ^{137}Cs dans les asperges prélevées hors des vents dominants ainsi que dans les sols non cultivés, une herbe de prairie et un lait prélevés sous les vents dominants. Il est observé dans 6 des 11 échantillons prélevés (55%). Les niveaux d'activité sont comparables à ceux observés lors des études antérieures. Ces observations indiquent que la présence de traces de ^{137}Cs en 2019 provient principalement de la rémanence des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

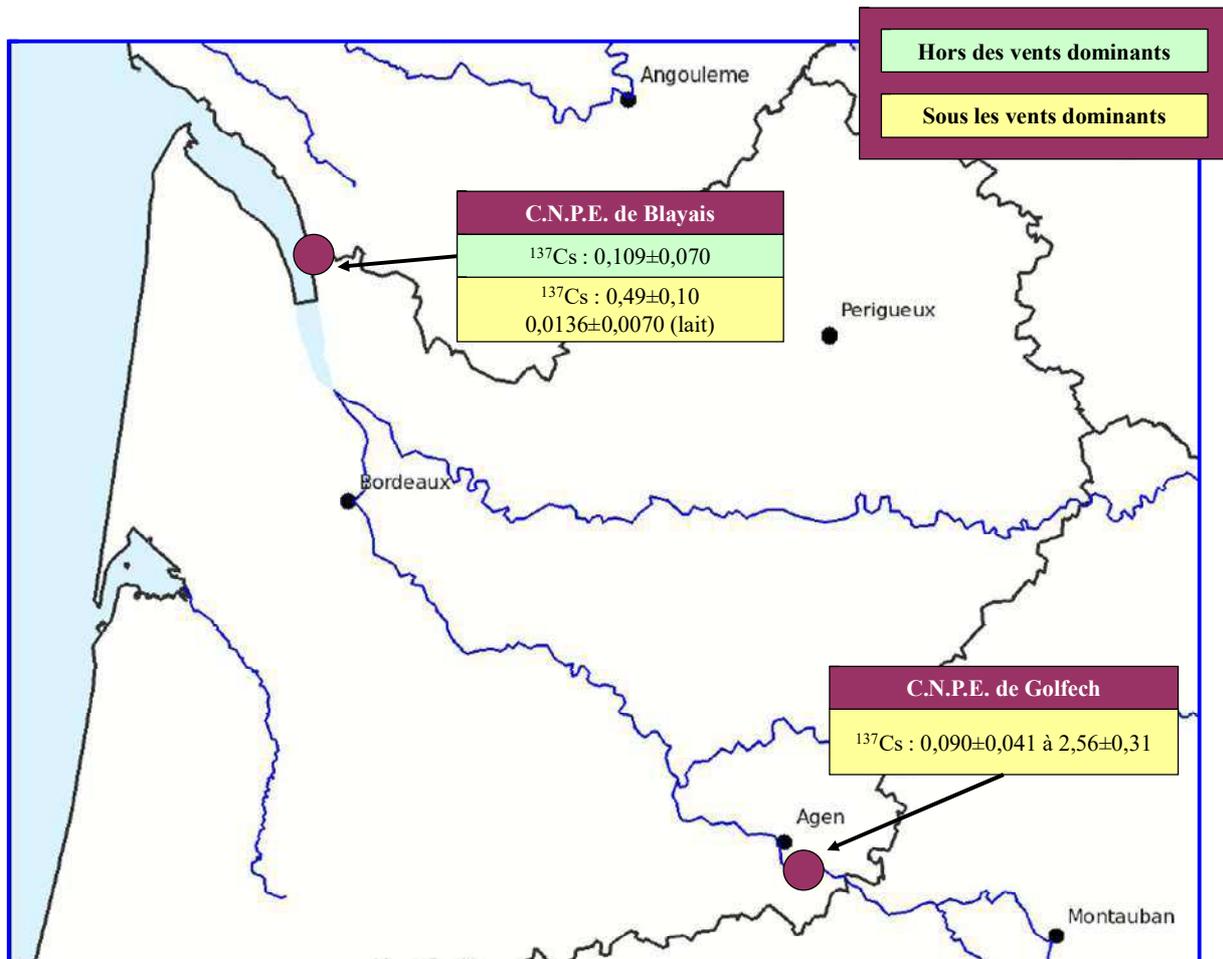


Figure 7-1. Synthèse des activités des radionucléides artificiels des échantillons prélevés en 2019 dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

La Figure 7-2 (page 149) présente les activités spécifiques en ^{14}C mesurées de 2009 à 2018 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 Bq.kg^{-1} de carbone.

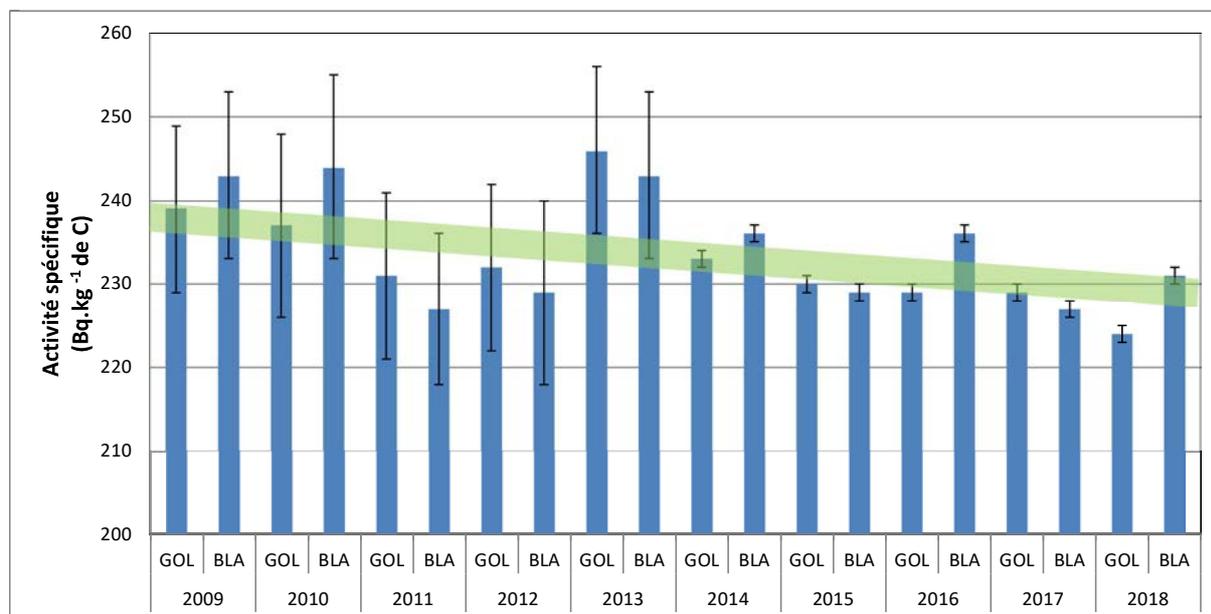


Figure 7-2. Activités spécifiques en ^{14}C mesurées dans les herbes de pâturage prélevées sous les vents dominants dans l'environnement terrestre des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Le bandeau vert représente le bruit de fond ambiant hors influence industrielle.

De 2009 à 2018, les activités de ^{14}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 $239 \pm 2 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de carbone en 2009 à une valeur proche de 227 Bq.kg^{-1} de carbone en 2018 [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 du C.N.P.E. de Golfech de 2000 et 2011 étaient cohérents avec ce constat.

En 2019, 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 ($< 3 \text{ Bq.L}^{-1}$), à l'exception de l'activité du TOL mesurée dans les bettes prélevés à proximité du C.N.P.E. de Golfech (proche de 6 Bq.L^{-1} d'eau de combustion). Cette valeur est légèrement supérieure au bruit de fond et elle témoigne de l'influence des rejets du C.N.P.E. sur le milieu terrestre environnant. Les autres activités sont conformes aux valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local [2,3].

7.2 Radioécologie du milieu aquatique en 2019

La Figure 7-3 (page 150), la Figure 7-4 (page 151) et la Figure 7-5 (page 152) présentent respectivement les activités des radionucléides artificiels, du ^3H (libre et/ou organiquement lié) et/ou du ^{14}C détectés ($>SD$) dans les sédiments, dans les végétaux aquatiques et dans la faune aquatique (poissons) prélevées en 2019 sur les stations étudiées, proches des C.N.P.E. de Golfech et Blayais (le ^3H libre est le seul émetteur bêta recherché dans l'estuaire aval). Les activités mesurées par spectrométrie gamma sont exprimées en Bq.kg^{-1} sec (sédiments, végétaux) et Bq.kg^{-1} frais (poissons), le ^3H libre en Bq.L^{-1} d'eau de lyophilisation, le ^3H organiquement lié en Bq.L^{-1} d'eau de combustion et le ^{14}C en Bq.kg^{-1} de carbone. Elles sont représentées en fonction des stations de prélèvements : 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.

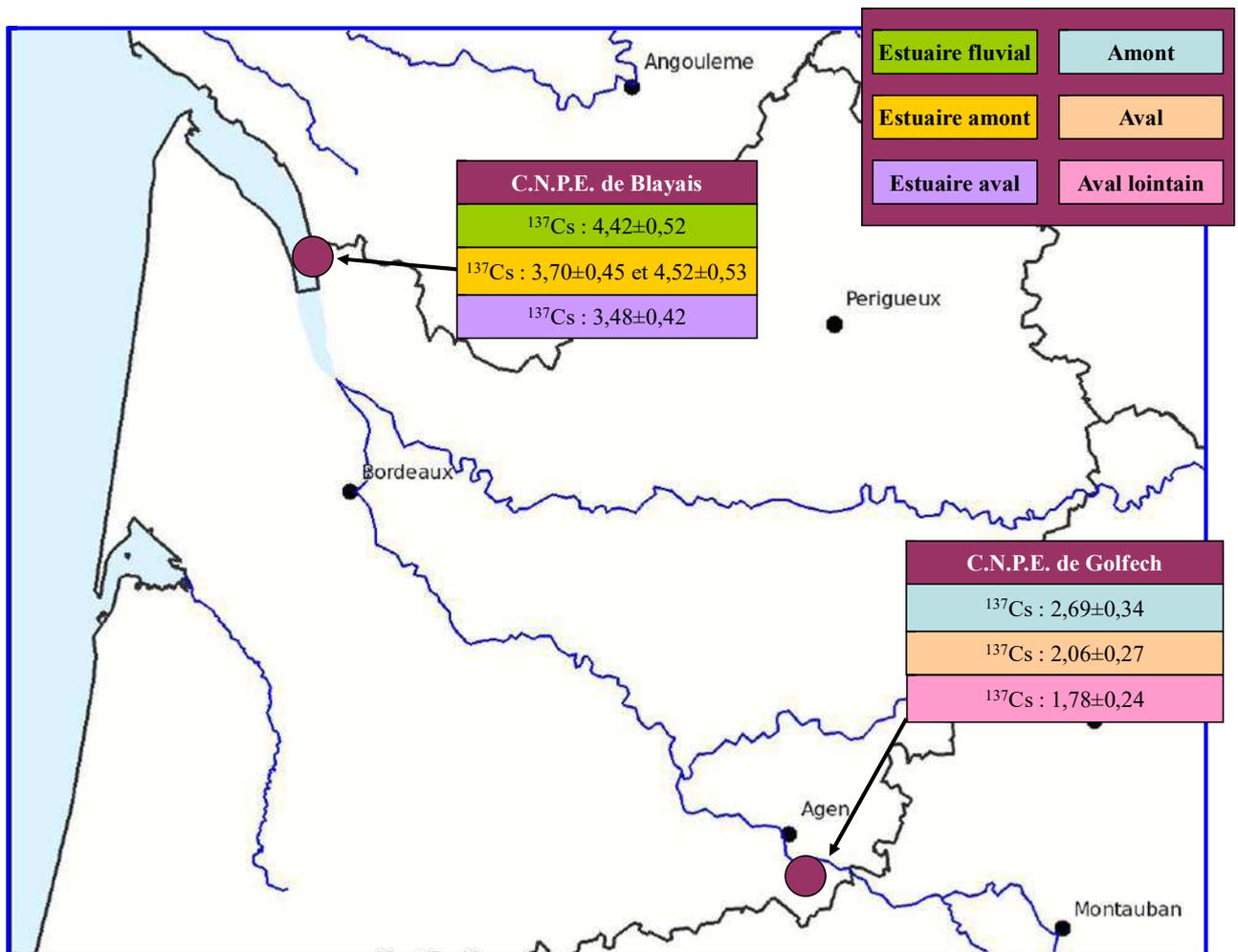


Figure 7-3. Synthèse des activités des radionucléides artificiels dans les sédiments prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

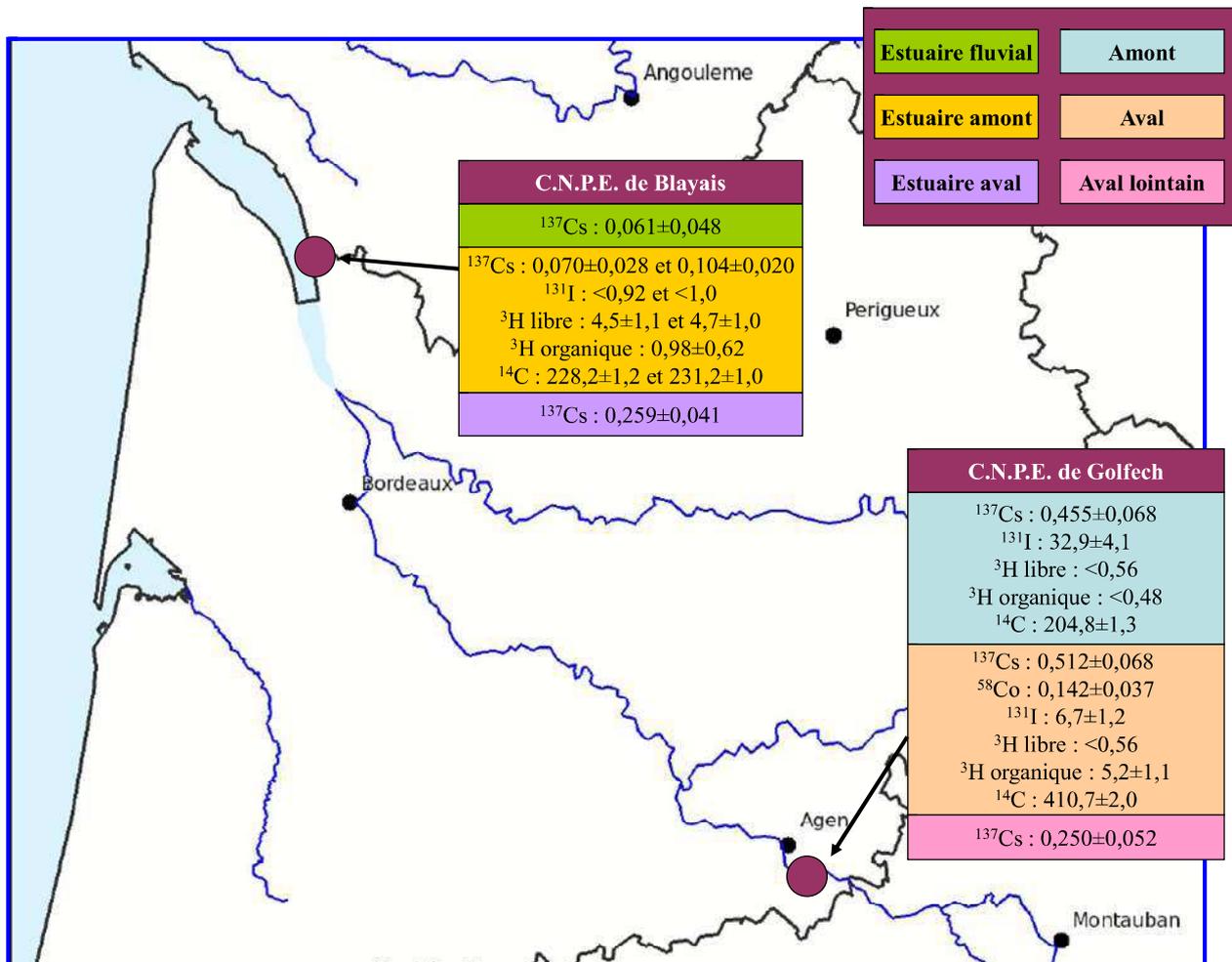


Figure 7-4. Synthèse des activités des radionucléides artificiels, du ^{14}C et du ^3H détectés dans les végétaux aquatiques prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

En 2019, le milieu aquatique présente des activités en ^{137}Cs , ^{58}Co et en ^{131}I .

Il a été établi que le marquage en ^{131}I est lié à des activités de médecine nucléaire pratiquées notamment au niveau de l'agglomération toulousaine.

Le ^{137}Cs est détecté dans les échantillons de sédiments (7/7) et de végétaux aquatiques (7/7) analysés en 2019 dans l'environnement proche des C.N.P.E. du bassin de la Garonne. Les activités mesurées en ^{137}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}Cs dans les sédiments et les végétaux aquatiques est liée en 2019 principalement aux retombées des anciens essais nucléaires militaires aériens et à celles de l'accident de Tchernobyl de 1986. Des traces de ^{58}Co sont détectées dans les phanérogames immergées (myriophylles) prélevées à l'aval proche du C.N.P.E. de Golfech. Sa présence est liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech. La détection de ^{134}Cs en 2011 dans les scirpes prélevés au niveau de Talmont dans l'estuaire aval de la Gironde et les mousses aquatiques prélevées à l'amont du C.N.P.E. de Golfech montrait le marquage lié aux retombées de l'accident de Fukushima. Sa présence en 2018 était en revanche liée aux rejets d'effluents liquides du C.N.P.E. de Golfech.

En 2019, le ^{137}Cs est détecté dans 2 des 4 échantillons de la faune aquatique. Aucun autre radionucléide d'origine artificielle n'est détecté dans ces échantillons. La présence de ces traces de ^{137}Cs est liée principalement aux retombées des anciens essais nucléaires militaires aériens et à celles de l'accident de Tchernobyl.

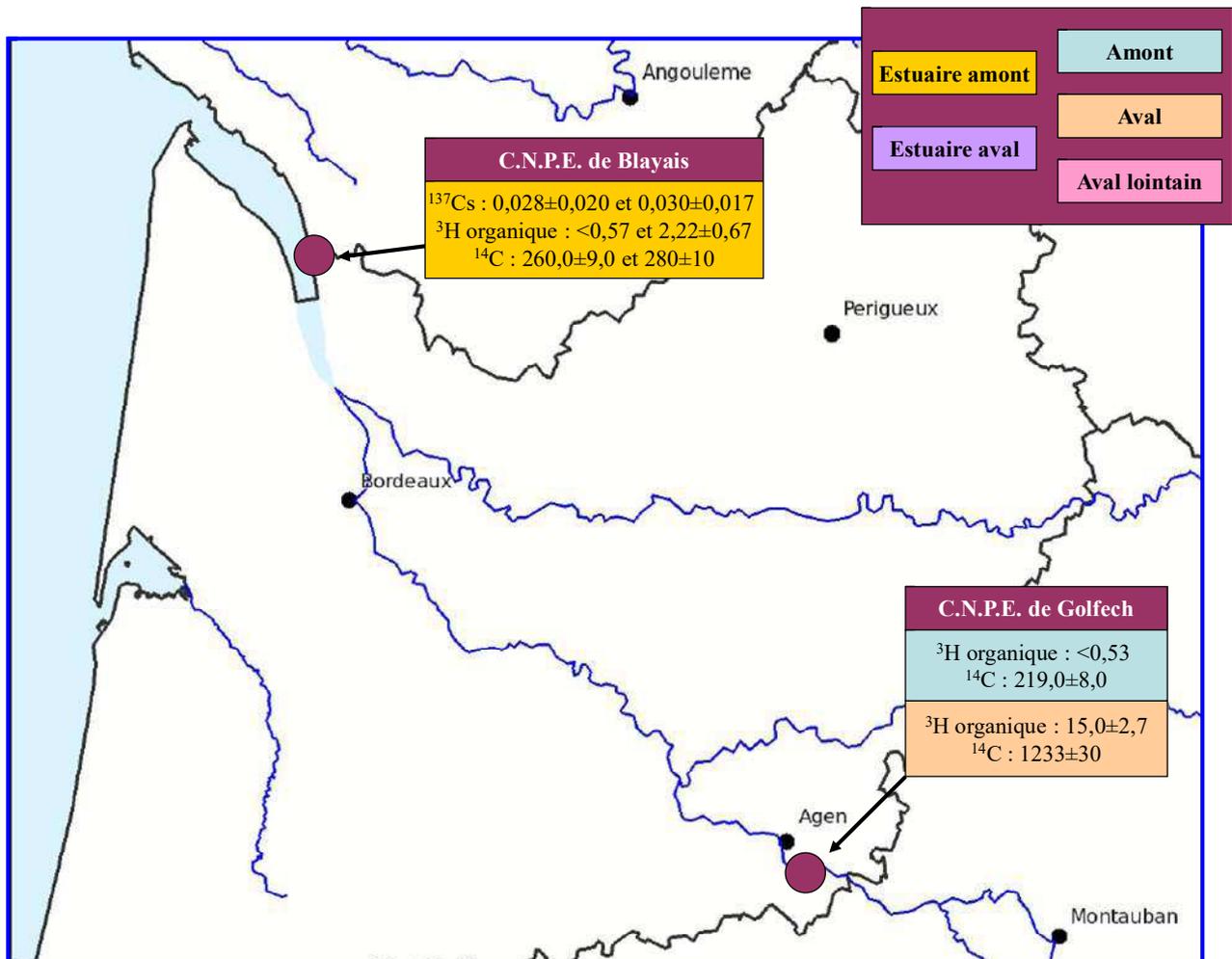


Figure 7-5. Synthèse des activités des radionucléides artificiels (en Bq.kg⁻¹ frais), du tritium organiquement lié (en Bq.L⁻¹ d'eau de combustion) et du carbone 14 (en Bq.kg⁻¹ de carbone) détectés dans les poissons prélevés en 2019 dans l'environnement des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

Dans les poissons, le ^3H libre a été mesuré de 2008 à 2019 et des analyses de ^3H organiquement lié sont intégrées au suivi radioécologique annuel depuis 2009. La Figure 7-6 (page 154) et la Figure 7-7 (page 155) 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.

En 2019, le ^3H libre n'a pas été analysé dans les poissons. 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 ^3H libre dans le milieu aquatique révèlent depuis 2008 des activités cohérentes avec le bruit de fond ambiant hors influence industrielle à l'exception des activités proches de $10\text{-}20 \text{ Bq.L}^{-1}$ mesurées dans les poissons en 2011 et 2016 (Figure 7-6, page 154) ainsi que dans les crevettes en 2017. La détection de ^3H 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 ^3H au sein de ces milieux récepteurs [4]. 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 2019 dans les eaux sont inférieures aux seuils de décision. Ces activités sont conformes aux valeurs attendues en dehors de tout apport industriel local [4]. 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 Bq.L^{-1} . La réglementation européenne relative à l'eau potable appliquée par la France fixe par ailleurs une référence de qualité de 100 Bq.L^{-1} , au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées pour rechercher la présence de radionucléides artificiels.

Les analyses de ^3H organiquement lié 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 155). Les activités mesurées sont cohérentes avec la valeur ambiante hors influence industrielle à l'exception de l'activité mesurée dans les carpes communes pêchés au niveau de St Sixte. Sur la période 2009-2019, les activités du ^3H 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 12 Bq.L^{-1} d'eau de combustion. Les résultats obtenus en 2019 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat. En 2019, les activités du ^3H (libre et organiquement lié) demeurent dans la variabilité environnementale à l'exception de l'activité du TOL mesurée dans les carpes pêchés à l'aval du C.N.P.E. de Golfech confirmant le marquage ponctuel constaté en 2010, 2011, 2016, 2017 et 2018.

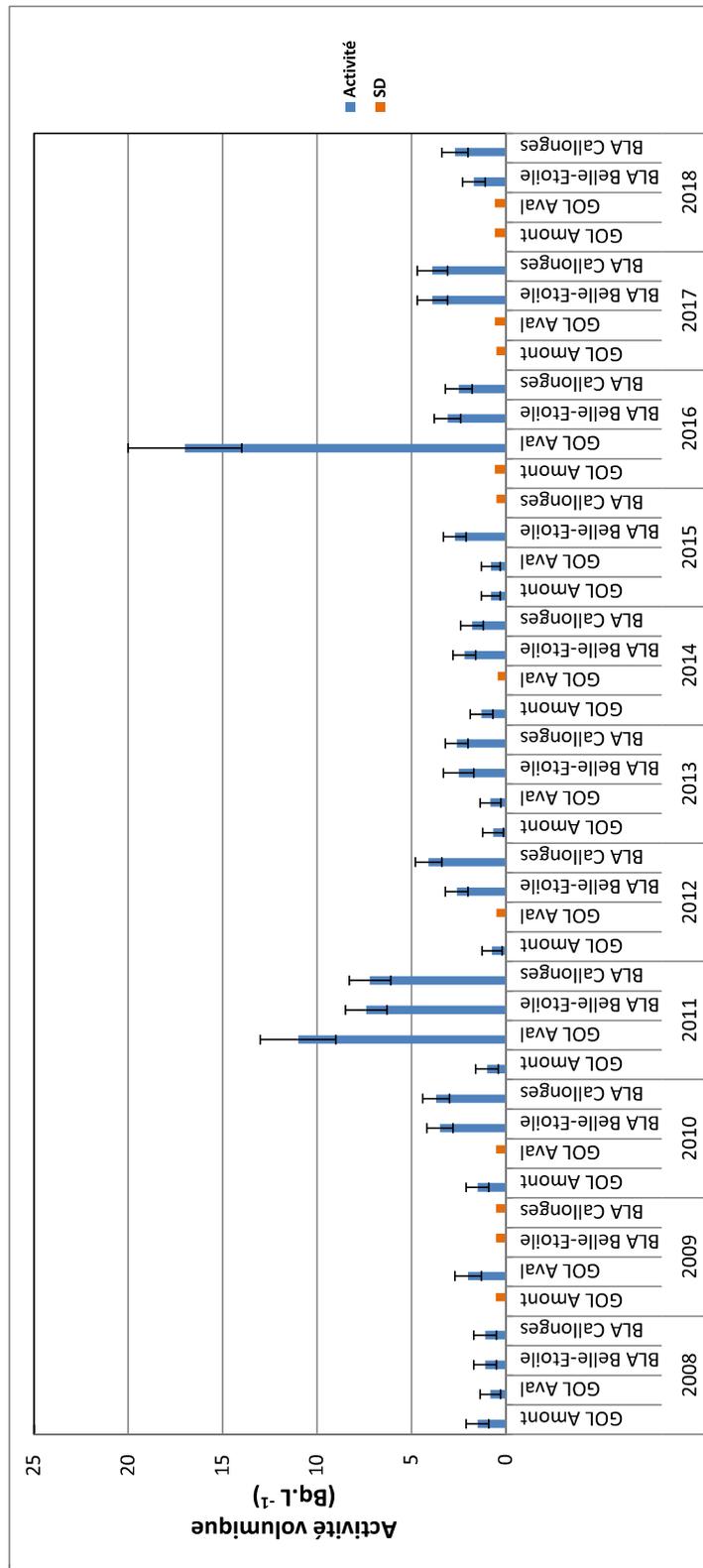


Figure 7-6. Activités volumiques du ³H libre mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

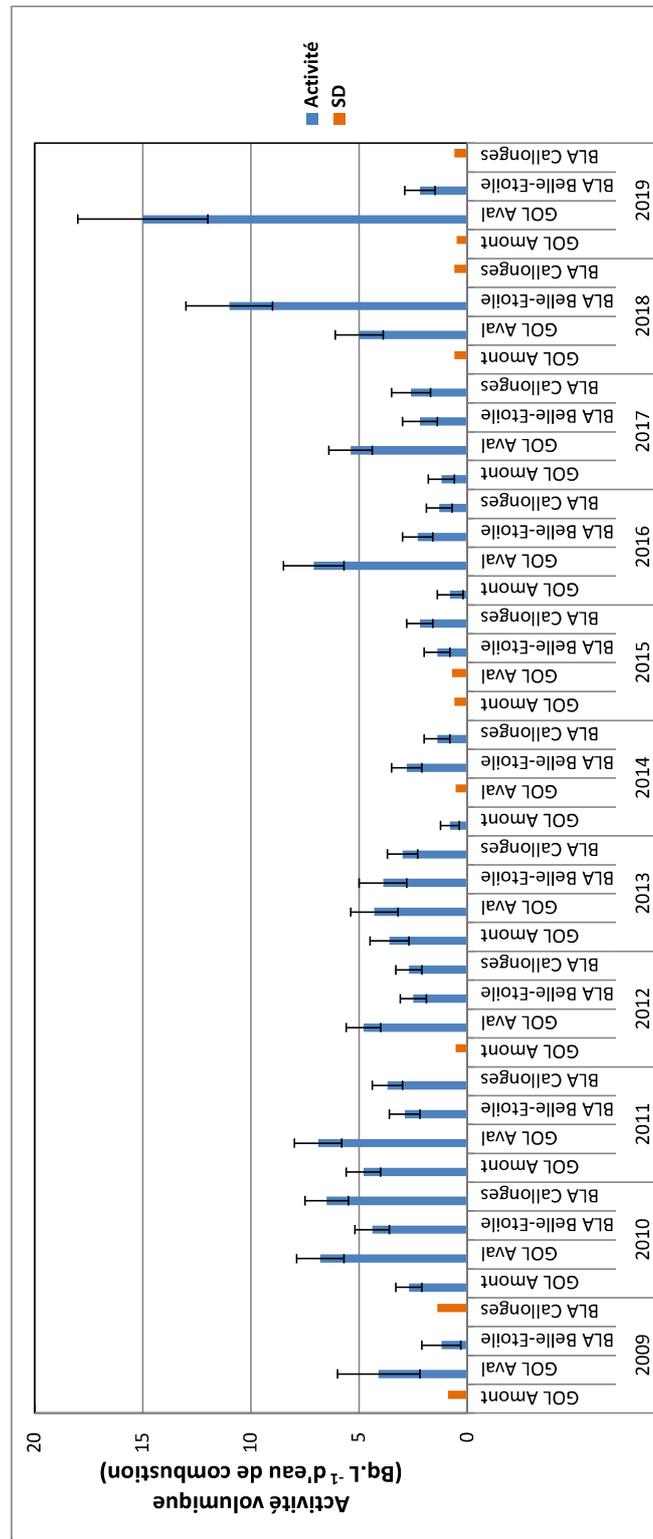


Figure 7-7. Activités volumiques du ³H organiquement lié mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

Depuis 2009, les activités spécifiques en ^{14}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 157). Le ^{14}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 Bq.kg⁻¹ de carbone [1] (Figure 7-8), 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 2009 et 2018 sont systématiquement supérieures à l'exception de 2014. Les résultats obtenus en 2019 dans les végétaux aquatiques confirment ce constat. Pour le C.N.P.E. du Blayais, les analyses de ^{14}C montrent depuis 2009 des activités supérieures à l'activité ambiante hors influence industrielle dans les deux lots de poissons analysés annuellement. Les résultats obtenus en 2019 dans les eaux de fleuve confirment ce constat. 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}C des C.N.P.E. du bassin de la Garonne sur le milieu aquatique environnant.

Enfin, en 2019, les analyses de ^{63}Ni et de ^{55}Fe dans les sédiments et/ou les végétaux aquatiques montrent des activités inférieures aux seuils de décision.

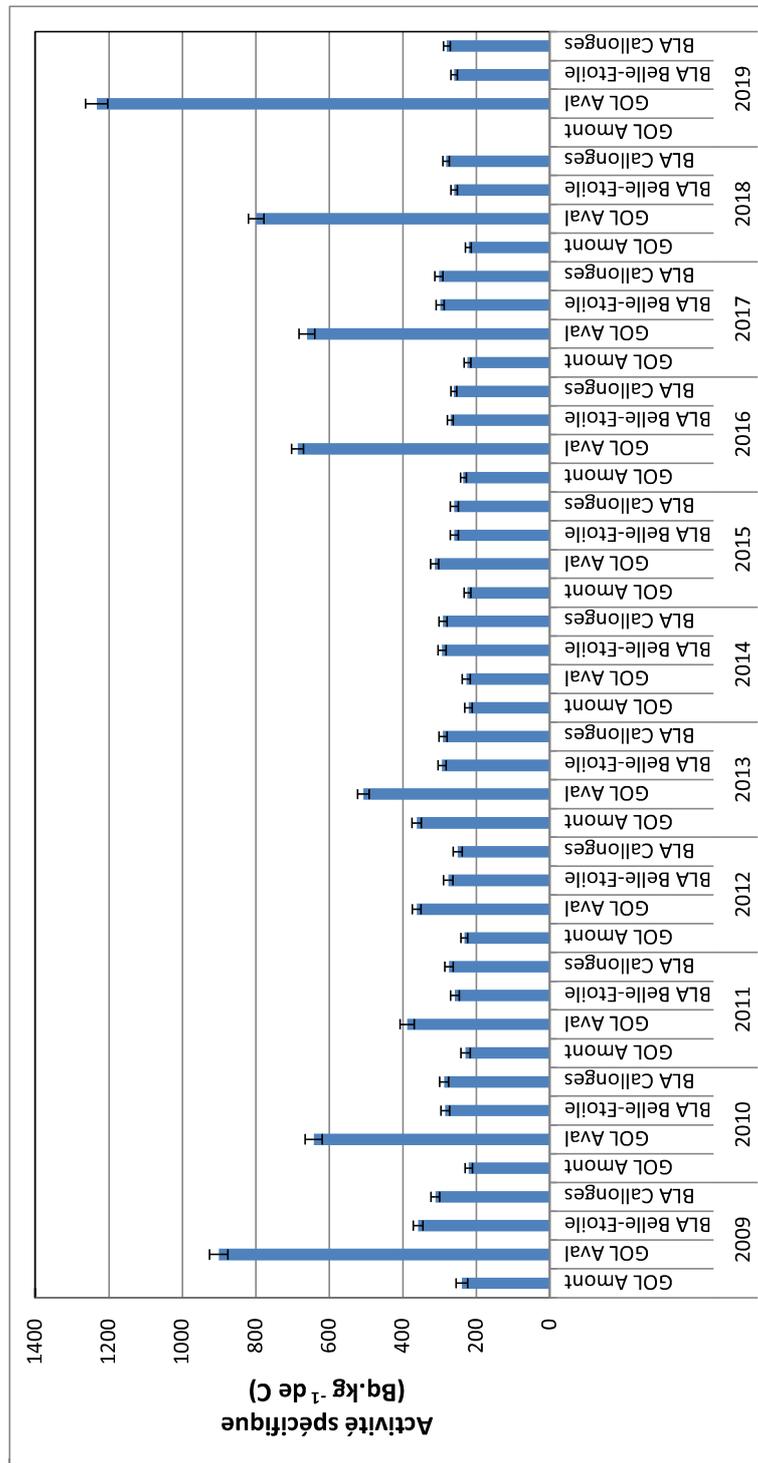


Figure 7-8. Activités spécifiques en ¹⁴C mesurées dans les poissons prélevés dans l'environnement aquatique des C.N.P.E. du bassin de la Garonne.

Bibliographie

- [1] IRSN. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport de mission 2018, 353 p., 2018.
- [2] Ménager M.T., Garnier-Laplace J. et Goyffon M. Toxicologie nucléaire environnementale et humaine. 748 p., Editions Tec&Doc, Lavoisier, 2009.
- [3] IRSN. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 74 p., 2017.
- [4] 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. 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 (crue, étiage), la distance à l'ouvrage de rejet, les arrivées d'affluents, les échanges éventuels avec la nappe phréatique ou encore la qualité physico-chimique de l'eau. 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, de lait et d'eau potable permettent d'évaluer les transferts de radionucléides à la chaîne alimentaire. Les salades figurent parmi les matrices les plus sensibles aux dépôts atmosphériques. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés également par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif ainsi que ceux incorporés par voie racinaire. Dans le cas où les animaux sont nourris pour partie avec ces fourrages locaux, le lait est un indicateur qui possède une représentativité spatiale étendue (surface sur laquelle les fourrages ont été produits). Les prélèvements de sols (sols 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}I , radioisotopes du césium, du cobalt, ^3H), 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. 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}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}K , ^{228}Ac , $^{234}\text{Th}/^{234\text{mPa}}$, ^{210}Pb , ^7Be pour les naturels et ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{54}Mn et ^{131}I pour les artificiels) et la détermination du tritium et du ^{14}C sur certains compartiments de l'environnement. Les périodes physiques de ces radionucléides sont fournies dans le Tableau 8-1 (page 163). Parmi les émetteurs gamma, l' ^{131}I est spécifiquement recherché dans les milieux terrestre et aquatique depuis 1997 ; il s'agit d'un élément volatil de courte période (8,02 jours) qui nécessite donc des modalités de mesures propres. Le tritium est quantifié depuis 2000 dans le lait et l'eau de boisson, certains végétaux aquatiques jusqu'en 2007 puis les poissons depuis 2008.

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}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 $0,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ en spectrométrie gamma, de 1 Bq.L^{-1} pour les analyses de tritium libre et de 1 Bq.L^{-1} d'eau de combustion dans le cas de la mesure du tritium organiquement lié. Dans le cas des analyses de carbone 14, la méthode basée sur la synthèse de benzène permet d'obtenir des incertitudes inférieures à 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}Cs mesurées dans les sédiments et les terres, elles doivent être normalisées en fonction de ces deux paramètres. Il s'agit de s'affranchir des hétérogénéités liées à la granulométrie et à la teneur en matières organiques en ramenant les échantillons à un échantillon de référence de granulométrie définie.

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

Radionucléide	Élément	Type de rayonnement mesuré	Période radioactive
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	Protactinium	γ	1,159 min
^{228}Ac	Actinium	γ	6,15 h
^{131}I	Iode	γ	8,0233 j
^{234}Th	Thorium	γ	24,10 j
^7Be	Beryllium	γ	53,22 j
^{58}Co	Cobalt	γ	70,85 j
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	Argent	γ	249,78 j
^{54}Mn	Manganèse	γ	312,19 j
^{134}Cs	Césium	γ	2,0644 a
^{60}Co	Cobalt	γ	5,2711 a
^3H	Tritium	β	12,312 a
^{210}Pb	Plomb	γ	22,23 a
^{137}Cs	Césium	γ	30,05 a
^{14}C	Carbone	β	5700 a
^{40}K	Potassium	γ	$1,2504 \cdot 10^9$ a

Tableau 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 traitées non utilisées dans le processus analytique sont conditionnées soit dans des flacons hermétiquement clos soit dans des sacs plastiques soudés et conservés dans un local propre et sec. Les échantillons d'eau sont conservés au frais. Les bioindicateurs sont conservés soit au congélateur (matière fraîche) soit dans un local propre et sec après traitement (séchage et flaconnage hermétique).

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

Les échantillons concernés sont :

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

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.

8.5.1.4. Eau

Pour les eaux de consommation, une purge de l'installation (robinet) de quelques minutes est réalisée avant le prélèvement conformément à la norme ISO 5667. La quantité prélevée est de 1 litre conditionné dans un flacon inerte rincé préalablement 3 fois avec la même eau que celle du prélèvement.

8.5.2. Milieu aquatique

8.5.2.1. Sédiment

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

8.5.2.2. Flore aquatique

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

Les natures de végétaux aquatiques définies dans le plan d'échantillonnage sont : des phanérogames semi-aquatiques (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.

8.5.2.3. 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 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 Bq.kg^{-1} frais à une activité exprimée en Bq.kg^{-1} sec.

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

La lyophilisation est utilisée en prévision des mesures de tritium libre, de tritium organiquement lié et de ^{14}C ainsi que pour la constitution de la banque d'échantillons. Après cette phase de séchage (étuve ou lyophilisation), une fraction de l'échantillon est placée dans des 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 (^3H libre). Une fraction de l'échantillon lyophilisé est calcinée suivant le protocole cité précédemment pour la mesure en spectrométrie gamma, le reste est conservé au dessiccateur.



Photo 6. Lyophilisateur

8.6.1.4. Eau

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

8.6.2. Milieu aquatique

8.6.2.1. Sédiment

Le traitement des sédiments est identique à celui des sols.

8.6.2.2. Flore aquatique

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

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

8.6.2.3. 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}K , l' ^{228}Ac de la chaîne naturelle du ^{232}Th , le ^{234}Th , le $^{234\text{m}}\text{Pa}$, le ^{210}Pb de la chaîne naturelle de l' ^{238}U et d'origine artificielle, notamment le ^{134}Cs , le ^{137}Cs , le ^{57}Co , le ^{58}Co , le ^{60}Co , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, le ^{54}Mn et l' ^{131}I .



Photo 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}Co et ^{137}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 ISO 9698. Le principe de la mesure consiste à mélanger une prise d'essai avec un liquide scintillant et à procéder à la mesure en scintillation liquide. Les électrons émis par le tritium réagissent avec le liquide scintillant et donnent naissance à des photons détectés à l'aide de détecteurs appropriés. En fonction du nombre d'événements enregistrés, du mouvement propre et de l'efficacité de détection, l'activité de la prise d'essai peut être déterminée.

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



Photo 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}C est basée sur la synthèse de benzène formé à partir du carbone présent dans l'échantillon. Quatre étapes principales mènent à la formation de benzène. Le carbone est d'abord extrait de l'échantillon dans une bombe à combustion sous forme de gaz carbonique. Ce CO_2 est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, produit de l'acétylène. Une catalyse permet enfin de polymériser l'acétylène en benzène.



Photo 10. Synthèse de benzène

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

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

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

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

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

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

L'incertitude associée à chaque mesure publiée correspond à la somme quadratique des incertitudes propres à chacun des paramètres élémentaires pouvant influencer le résultat. Le facteur d'élargissement est pris à $k=2$. Le Tableau 8-2 (page 173) présente pour chaque technique de mesure les différents paramètres d'incertitude pris en compte issus soit de l'application des normes de référence soit de l'expérience capitalisée par le laboratoire.

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

Tableau 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 2019 sont les suivants : le Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées (SUBATECH) pour les mesures de spectrométrie gamma et de tritium (libre et organiquement lié), le Laboratoire Radiologique Environnement et Expertises (LABRADOR) et le Centre de Datation par le Radiocarbonate (CDRC) pour les analyses de carbone 14 (^{14}C) par synthèse de benzène, le Plateau d'Isotopie de Normandie (PLATIN) pour la détermination des teneurs en carbone total et du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, l'Institut Départemental d'Analyse et de Conseil de Loire-Atlantique (INOVALYS) pour les mesures de granulométrie et de teneurs en matières organiques des sols et des sédiments et EUROFINs pour les mesures d'hydrogène, d'iode et de calcium.

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).

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

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

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

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

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

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 3 ingénieurs et 1 technicien (détail sur le site de l'IPNL : 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 trois laboratoires départementaux : Loire-Atlantique, Maine-et-Loire et Sarthe. Les domaines de mesure d'INOVALYS portent sur l'environnement, l'agroalimentaire et la santé. L'ensemble des activités est conduit sous Assurance Qualité et est accrédité par le COFRAC (n° d'accréditation 1-5753 pour INOVALYS Nantes).

INOVALYS regroupe environ 300 collaborateurs dont les trois quarts sont des ingénieurs, pharmaciens, vétérinaires ou techniciens hautement qualifiés (détail sur le site d'INOVALYS : www.inovalys.fr).

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 800 laboratoires dans 47 pays pour un effectif de 47000 personnes (détail sur le site d'EUROFINS <https://www.eurofins.com>).



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 8-1. Périodes radioactives des radionucléides d'origine naturelle et artificielle mesurés dans le cadre des suivis radioécologiques annuels.	163
Tableau 8-2. Paramètres pris en compte dans le calcul des incertitudes de mesures.....	173



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 α)

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

ANDRA

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

Argent 110 métastable (^{110m}Ag)

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

ASN

Autorité de sûreté nucléaire.

Atome

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

Autorisation de rejet

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

B

Becquerel (Bq)

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

Bêta (symbole β)

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

Bêta global

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

Bruit de fond radiologique de l'environnement

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

C

Carbone 14

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

Césium (Cs, numéro atomique 55)

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

C.N.P.E

Centre nucléaire de production d'électricité.

Cobalt (Co, numéro atomique 27)

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

Combustible nucléaire

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

Cycle du combustible

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

D

Déchet

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

Démantèlement

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

Dose efficace

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

E

Eau de combustion

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

EDF

Électricité de France.

Effluent

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

Émissaire

Exutoire des effluents rejetés par une installation.

Exposition

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

F

Fission

Éclatement du noyau d'un atome sous l'action de neutrons. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un fort dégagement de chaleur. C'est ce dernier qui est utilisé pour créer l'énergie électrique dans une centrale électronucléaire.

G

Gamma (symbole γ)

Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gaz rares

Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon, le xénon et le radon. Certains isotopes des gaz rares sont des produits de fission et sont donc radioactifs.

I

Incertitude de mesure

Marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique.

Iode (I, numéro atomique 53)

Corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodes radioactifs (129, 131, 132, 133, etc.) ont une durée de vie courte (ex. l'isotope 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode-129 dont la période est de près de 16 millions d'années.

IRSN

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Isotopes

Éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

K

K

Symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/L ou mg/kg (milligramme par litre ou par kilogramme). 1 gramme de potassium naturel a une activité (β/γ) de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif naturel de masse 40 (^{40}K).

L

Limite de détection (LD)

La plus petite valeur de la grandeur à mesurer pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Les données antérieures à 2009 sont présentées en fonction de la limite de détection.

M

Manganèse 54 (⁵⁴Mg)

Isotope radioactif du manganèse 55 dont la chimie de l'élément est liée à celle du fer et du cobalt. C'est un produit d'activation du fer stable des structures des réacteurs nucléaires, émis principalement par voie liquide avec les rejets des installations. Sa période radioactive est de 312.5 jours.

Matrice

Sous-partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin).
Exemples : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques...

MW

Mégawatt

N

Neutron

Particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome. C'est le neutron qui provoque la réaction de fission des noyaux dont l'énergie est utilisée dans les réacteurs nucléaires.

Noyau

Partie centrale des atomes, de charge positive. Dix mille fois plus petit que l'atome, il en contient pourtant quasiment toute la masse. Le noyau est un assemblage de protons et de neutrons liés par l'interaction forte.

P

Période radioactive (ou demi-vie)

Temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Phanérogame

Plante aquatique qui a des organes de fructification apparents dans la fleur et se reproduit par des graines.

Plutonium (Pu, numéro atomique 94)

Élément chimique transurien, d'origine artificielle. L'isotope le plus connu est le ²³⁹Pu, émetteur de rayonnement alpha, avec une période radioactive de 24 110 ans.

R

Radioactivité

Propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radioécologie

Etude des éléments radioactifs dans l'environnement. Elle a pour rôle de détecter la présence de radionucléides dans l'environnement, de rechercher leurs origines et de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes.

Radionucléide

Isotope radioactif d'un élément.

Exemples : ³H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; ¹⁴C : carbone-14, isotope radioactif du carbone.

Radioprotection

Ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs au regard de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Radon (Rn)

Gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (²¹⁹Rn, ²²⁰Rn, ²²²Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (²³⁵U, ²³²Th et ²³⁸U). Le ²²²Rn est souvent le plus important à considérer de par sa période radioactive plus longue : 3,8 jours.

Rayonnement

Transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (gamma) ou de particules (alpha, beta, neutrons) émis lors de la désintégration de radionucléides.

Rayonnement ionisant

Rayonnement susceptible d'arracher des électrons à la matière.

S

Seuil de décision (SD)

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

Sievert (Sv)

Unité légale d'équivalent de dose ou dose efficace qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée sur un organisme vivant. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable mais obtenue par le calcul. Elle dépend de l'énergie transmise aux tissus, du type de rayonnement et du tissu traversé.

Significatif (mesure ou résultat significatif)

Résultat de mesure supérieur au seuil de décision.

Spectrométrie

Analyse de l'intensité d'un rayonnement émis par une source en fonction de son niveau d'énergie. Cette méthode permet à la fois d'identifier les radionucléides et de quantifier leur « activité ».

Strontium (Sr, numéro atomique 38)

Élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

T

Thorium (Th, numéro atomique 90)

Appartient à la série des actinides, avec une période radioactive de plus de 10^{10} ans. Il est présent dans les chaînes de décroissance radioactive de l'uranium naturel. Le principal isotope est le ^{232}Th , émetteur de rayonnement alpha, qui donne naissance à de nombreux produits de filiation dont ^{228}Ac , émetteur de rayonnement gamma et beta.

Tritium

Isotope de l'hydrogène le moins abondant. C'est un émetteur de rayonnement β^- de très faible énergie avec une période radioactive de 12,3 ans. Il existe sous différentes formes chimiques : eau tritiée (HTO), tritium gazeux (HT) et tritium organiquement lié (TOL). Il est présent en permanence à l'état naturel dans l'environnement, et provient également des activités humaines.

U

Uranium (U, numéro atomique 92)

Élément chimique possédant trois isotopes naturels : l'uranium-234, l'uranium-235 et l'uranium-238. L'uranium-235 est le seul isotope fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie.



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

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

CNPE du Blayais
BP 27
33 820 Saint Ciers sur Gironde
05 33 98 8000