

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

BUGEY

2021

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 Bugey en 2021	5
I. Contexte	5
II. Le CNPE du Bugey	5
III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du Bugey	6
IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact	6
V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement	7
Partie II - Prélèvements d'eau	10
I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement	12
II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel	12
III. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique	12
IV. Milieu de prélèvement : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance	13
Partie III – Restitution et consommation d'eau	15
I. Restitution d'eau	15
II. Consommation d'eau	15
Partie IV - Rejets d'effluents	16
I. Rejets d'effluents à l'atmosphère	16
II. Rejets d'effluents liquides	30
III. Rejets thermiques	50
Partie V - Prévention du risque microbiologique	53
I. Bilan annuel des colonisations en circuit	53
II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés	54
Partie VI - Surveillance de l'environnement	55
I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement	55
II. Physico-chimie des eaux souterraines	61
III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface	62
IV. Physico-chimie et Hydrobiologie	65
V. Acoustique environnementale	73

Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation
74

Partie VIII - Gestion des déchets _____ **78**

I. Les déchets radioactifs _____ 78

II. Les déchets non radioactifs _____ 83

ABREVIATIONS _____ **85**

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE du Bugey Année 2021 _____ **86**

ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE du Bugey Année 2020 _____ **87**

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité du Bugey en 2021

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 2021 du CNPE du Bugey en matière d'environnement.

II. Le CNPE du Bugey

Implantée sur la commune de Saint-Vulbas, dans l'Ain, la centrale nucléaire du Bugey occupe une superficie de 100 hectares sur la rive droite du Rhône, à 40 km à l'Est de Lyon. Cette zone non cultivée a été choisie en 1965 en raison de ses caractéristiques géologiques. Les premiers travaux de construction du site du Bugey ont eu lieu à partir de 1967.

La centrale du Bugey emploie près de 1400 salariés EDF et fait appel à environ 600 salariés permanents d'entreprises prestataires. Pour réaliser les travaux lors des arrêts pour maintenance des unités en fonctionnement, la centrale demande l'appui d'intervenants supplémentaires. Selon la nature de l'arrêt, le nombre de ces intervenants varie de 600 à 2000.

La centrale du Bugey compte quatre unités de production de 900 MW chacune de la filière Réacteur à Eau Pressurisée (REP) : les unités 2 et 3 (INB n°78), refroidies directement par l'eau du Rhône, ont été mises en service en 1978 ; les unités 4 et 5 (INB n°89), mises en service en 1979, sont quant à elles refroidies à l'aide de deux tours de refroidissement chacune. La centrale du Bugey produit, en moyenne chaque année, près de 20 milliards de kWh, soit près de 6% de la production nucléaire française.

Le site du Bugey abrite aussi une unité de la filière UNGG (réacteur Bugey 1 – INB n°45), mise en service en 1972. Cette unité, définitivement arrêtée en mai 1994, est en cours de déconstruction. Le décret d'autorisation de démantèlement complet du réacteur du Bugey 1 a été publié dans le Journal officiel en novembre 2008 (Décret n°2008-1197 du 18 novembre 2008), permettant ainsi la poursuite du programme de déconstruction de Bugey 1.

Un Magasin Inter-Régional de stockage de combustible neuf destiné aux réacteurs du parc nucléaire français est également installé sur le site. Le MIR constitue l'installation nucléaire de base n°102.

Le site abrite également l'Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés (ICEDA), INB n°173, qui a fait l'objet du décret d'autorisation de création n°2010-402 du 23 avril 2010. Dans l'attente d'un site de stockage définitif prévu par la loi du 28 juin 2006, cette installation a pour but de conditionner et d'entreposer des déchets radioactifs, produits dans le cadre :

- du programme EDF de démantèlement des centrales nucléaires de première génération et du site de Creys-Malville ;
- de l'exploitation (notamment les barres de commande) des centrales nucléaires à eau pressurisée.

L'ICEDA a fait l'objet d'une autorisation de mise en service de l'ASN via la Décision n°2020-DC-0691 du 28 juillet 2020. Elle a officiellement été mise en service le 25 septembre 2020 avec la réception du 1^{er} colis de déchets issus de l'INB en démantèlement de Chooz A. L'ICEDA a obtenu l'accord de conditionnement (CODEP-DRC-2021-013808), délivré par l'ASN, le 19 juillet 2021. Cette autorisation a permis à l'ICEDA de réaliser le traitement des emballages de déchets de Chooz A reçus fin d'année 2020.

Les installations nucléaires de base du Bugey sont placées sous la responsabilité du directeur du CNPE du Bugey, à l'exception :

- des activités de déconstruction de l'INB n°45 (Bugey 1), dont la responsabilité a été transférée au chef de la structure Bugey 1
- des activités de conditionnement et d'entreposage de déchets radioactifs (INB n°173), dont la responsabilité est assurée par le directeur de site ICEDA.

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du Bugey

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2021, certaines entreprises situées au voisinage du CNPE du Bugey ont vu leur statut par rapport à la réglementation ICPE évoluer, et de nouvelles ICPE ont été mises en service. Cependant, aucun nouveau risque pour les installations n'a été induit.

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 est intégré dans les études d'impact.

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

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

La protection de l'environnement, sur le terrain comme en laboratoire, a toujours été une priorité pour les CNPE d'EDF. Comme pour tous les sites industriels, les exigences environnementales fixées par le CNPE du Bugey 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 Bugey. 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 Bugey 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 Bugey en 2021.

Typologie	Date	Description de l'évènement	Principales actions correctives
ESE9	08/04/21	Insuffisances dans la gestion des défauts de la rétention ultime 8TER. Aucun impact sur l'environnement	Mise en place d'une organisation pour garantir l'exhaustivité des analyses de risque avant intervention dans une rétention ultime et garantir le maintien en bon état des rétentions EIPR après réalisation des activités ou entreposages. Mise en place d'un suivi renforcé des entreposages dans les rétentions EIPR
ESE1	25/11/21	Présence de radioélément artificiel sur les préleveurs 0 KRT 804 ED (vestiaire chaud et ses voies de circulation périphériques) et 805 ED (atelier de décontamination) supérieur au seuil de décision sur la période du 15/11/2021 au 22/11/2021 Aucun impact sur l'environnement : Sur la période concernée, les valeurs de sonde gamma ambiant sous le vent dominant ne présentent pas de variation d'activité significative. Des prélèvements d'eau, de gravier et d'herbes ont été effectués à proximité du Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires Généraux. Ceux-ci n'ont révélé aucune présence de radioélément artificiel.	Mise en place un programme de contrôle annuel sur l'intégrité des gaines de ventilation entre les filtres THE et les chaines de mesure d'activité du local décontamination et ces attendants.
ESE6	29/11/21	Emission de fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques ou climatiques : cumul annuel d'émission de fluides frigorigènes supérieur ou égal à 100 kg sur le site suite à 10 émissions ayant eu lieu entre janvier et novembre 2021. Total émis en 2021 : 111,81 kg, soit 231,88 tonnes équivalent CO ₂ . Ces gaz n'ont aucun impact sur la couche d'ozone mais contribuent à l'effet de serre. L'impact environnemental est modéré, compte tenu des faibles quantités émises et de leur étalement dans le temps.	Consécutivement aux émissions, des actions correctives (vidange, isolation des organes concernés) ont été mises en œuvre (Réparation ou remplacements des matériels défaillants)

ESE2	30/12/2021	<p>Dépassement de la limite réglementaire du flux annuel ajouté au canal de rejet 2-3 des métaux totaux de 55 kg en 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021. Aucun impact sur l'environnement. La limite réglementaire concernant la concentration maximale ajoutée dans le canal de rejet a été respectée (0,006 mg/L) ainsi que le flux 24h ajouté (< 2,4 kg). De plus, le CNPE dispose d'une limite portée à 235kg, en cas d'opération de démantèlement sur Bugey 1. Le flux annuel 2021 est de 61 kg.</p>	<p>Dépôt d'une demande visant à réviser cette limite en métaux totaux inadaptée au fonctionnement du CNPE.</p>
------	------------	---	--

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE du Bugey a eu, durant l'année 2021, des matériels indisponibles tels que des dispositifs de mesure et de surveillance. Le CNPE a aussi réalisé des réparations des réservoirs d'entreposage d'effluents. Ces indisponibilités (fortuites mais surtout programmées pour réaliser la maintenance) n'ont pas eu d'incidence sur la qualité de la surveillance environnementale compte tenu de la redondance de nos matériels. Des remises en état rapides des matériels ont permis de limiter au maximum l'indisponibilité du matériel.

Durant l'année 2021, le CNPE du Bugey a observé des défaillances sur les pompes de recirculation des effluents primaires et les compresseurs des systèmes de traitement des effluents gazeux, ainsi que quelques inétanchéités de vannes sur les systèmes d'entreposage des effluents radioactifs liquides et gazeux, et des fuites sur le système de distribution de l'eau déminéralisée. Tous ces dysfonctionnements ont fait l'objet de traitement en 2021.

Le CNPE du Bugey n'a pas connu de dépassement du seuil 2 de cheminée du bâtiment des auxiliaires nucléaire en 2021.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

- le circuit primaire pour extraire la chaleur : c'est un circuit fermé parcouru par de l'eau sous pression (155 bars) et à une température de 300° C. L'eau passe dans la cuve du réacteur, capte la chaleur produite par la réaction de fission du combustible nucléaire et transporte cette énergie thermique vers le circuit secondaire au travers des générateurs de vapeur.
- le circuit secondaire pour produire la vapeur : au contact des milliers de tubes en «U» des générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire transmet sa chaleur à l'eau circulant dans le circuit secondaire, lui-aussi fermé. L'eau de ce circuit est ainsi transformée en vapeur qui fait tourner la turbine. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité. Après son passage dans la turbine, la vapeur repasse à l'état liquide dans le condenseur ; cette eau est ensuite renvoyée vers les générateurs de vapeur pour un nouveau cycle.
- un troisième circuit, appelé « circuit de refroidissement » : pour condenser la vapeur et évacuer la chaleur, le circuit de refroidissement comprend un condenseur, appareil composé de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide prélevée dans la rivière ou la mer. Au contact de ces tubes, la vapeur se condense. Ce circuit de refroidissement peut être :
 - o un circuit de refroidissement totalement ouvert : 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 le milieu, à une température légèrement plus élevée.
 - o un circuit de refroidissement 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 alors de l'ordre de 2 m³ par seconde.

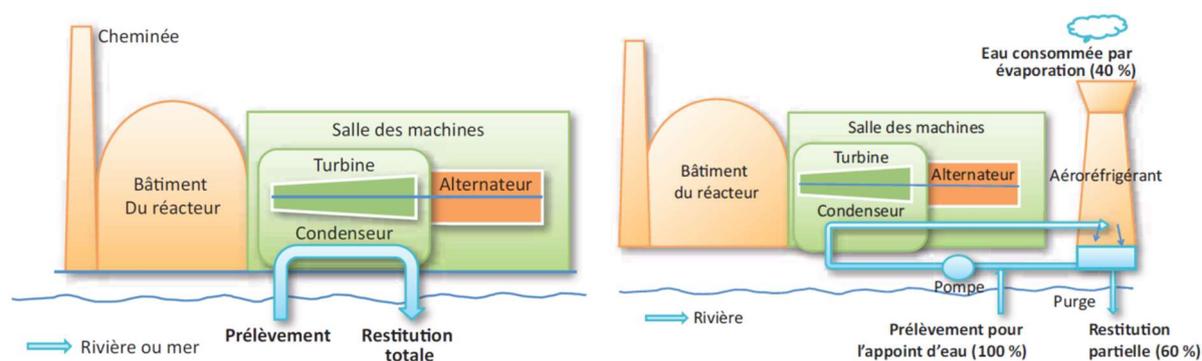


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (à gauche) et fermé (à droite) (Source : EDF)

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

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

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

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

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée au refroidissement de l'année 2021.

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	154
Février	168
Mars	244
Avril	258
Mai	266
Juin	266
Juillet	278
Août	265
Septembre	258
Octobre	265
Novembre	259
Décembre	266
TOTAL	2 947

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

Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel du prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel de l'année 2021.

	Prélèvement d'eau (en milliers de m ³)
Janvier	50,0
Février	53,8
Mars	47,5
Avril	30,8
Mai	41,6
Juin	58,0
Juillet	45,5
Août	36,1
Septembre	31,2
Octobre	31,4
Novembre	26,3
Décembre	31,9
TOTAL	484

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

Le cumul annuel des prélèvements d'eau potable destinée à usage domestique pour l'année 2021 est de 185 milliers de 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 2021

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de prélèvement des années 2019 à 2021 avec la valeur du prévisionnel 2021.

Année	Milieu	Volume (milliers de m ³)
2019	Eau douce superficielle (Rhône)	2 907 660
2020		1 868 767
2021		2 947 136
Prévisionnel 2021		2 950 000
2019	Eau douce souterraine	1,47
2020		1,44
2021		5,50
Prévisionnel 2021		3,5
2019	Eau douce du réseau	230
2020		232
2021		185
Prévisionnel 2021		(1)

(1) Pas de prévisionnel pour les prélèvements d'eau douce de réseau.

Commentaires : Le volume annuel d'eau douce superficielle prélevé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2021, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches.

Les prélèvements en eau douce souterraine depuis 2018 ont été effectués dans le cadre des travaux de création de puits de pompage en nappe phréatique, permettant au CNPE de disposer d'un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour refroidir les matériels de l'Îlot Nucléaire. Trois de ces puits sont en exploitation depuis septembre 2020. En 2021, le volume annuel d'eau douce souterraine dépasse le prévisionnel. En effet, 4 080 m³ ont été prélevés en avril 2021 pour le forage du puits de l'unité de production n°3. Ce volume n'était pas considéré dans l'estimation du prévisionnel annuel basé sur l'exploitation des 3 puits en fonctionnement.

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés en 2021 avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n° 2014-DC-0442.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement	Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	
Eau douce superficielle	Débit instantané	106	102	m ³ / s
	Volume journalier	9,1 millions	8,8 millions	m ³
	Volume annuel	3 300 millions	2 947 millions	m ³
Eau douce souterraine	Débit instantané	135*	81	m ³ / h
	Volume journalier	2 200*	200	m ³
	Volume annuel	46 000*	5 497	m ³

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

* Ces valeurs limites sont autorisées durant la phase de travaux et essais.

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

L'année 2021 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

Dans le cadre du retour d'expérience de l'événement survenu au CNPE de Fukushima-Daiichi, il a été décidé de mettre en place, sur l'ensemble des CNPE, un moyen complémentaire de pompage en eau d'ultime secours pour les matériels de l'îlot Nucléaire (bâches d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur et piscines du bâtiment combustible et du bâtiment réacteur). Sur le CNPE du Bugey, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique (1 puits par tranche). Les travaux ont démarré en 2018. Fin 2021, trois puits sur quatre sont en exploitation.

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

La restitution d'eau du CNPE du Bugey pour l'année 2021 est présentée dans le tableau ci-dessous.

		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels (hors rejets eaux usées)	Unités
Restitution mensuelle	Janvier	150 998	8,87	33,8	milliers de m ³
	Février	167 043	8,34	27,9	
	Mars	241 935	4,84	29,6	
	Avril	257 049	3,81	20,6	
	Mai	264 926	4,27	24,1	
	Juin	264 891	5,76	32,9	
	Juillet	275 842	5,25	31,1	
	Août	264 108	6,53	24,4	
	Septembre	256 723	3,40	20,3	
	Octobre	263 095	3,39	18,8	
	Novembre	257 420	2,40	16,5	
	Décembre	264 827	3,02	18,9	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	2 929 216			milliers de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	99,4			%

II. Consommation d'eau

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le cumul annuel de consommation d'eau de l'année 2021 est de 18 011 milliers de m³.

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

Partie IV - Rejets d'effluents

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

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

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

Les rejets d'effluents se présentent sous différentes formes :

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

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

I. Rejets d'effluents à l'atmosphère

1. Rejets d'effluents à l'atmosphère radioactifs

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

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

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

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

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

Pour les autres installations nucléaires du CNPE (l'unité en déconstruction Bugey 1 et l'ICEDA), les effluents sont issus de la ventilation des zones nucléaires et des procédés mis en œuvre dans l'installation. Les effluents sont canalisés, filtrés et surveillés en continu. Le rejet est réalisé par des cheminées dédiées de l'installation.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

par une étude réalisée de 1996 à 1999 sur l'ensemble du parc des CNPE d'EDF. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides comme l'iode, peu présent dans les rejets, figurent également dans cette liste, mais pour des raisons historiques.

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

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

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

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

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

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

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

¹ D'après le Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de l'IRSN : « Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir la mesure d'un échantillon pour que le 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. »

Pour les autres installations nucléaires du CNPE (l'unité en déconstruction Bugey 1 et l'ICEDA), le spectre de référence est rappelé ci-dessous.

Installation	Paramètres	Radionucléide
Bugey 1	Tritium	^3H
	Carbone 14	^{14}C
	Produits de fission et d'activation	^{60}Co
		^{55}Fe
		^{63}Ni
	Alpha	^{238}Pu
		^{239}Pu
		^{240}Pu
^{241}Am		
ICEDA	Tritium	^3H
	Carbone 14	^{14}C
	Produits de fission et d'activation	$^{108\text{m}}\text{Ag}$
		^{60}Co
		^{55}Fe
		^{63}Ni

c. Cumul mensuel

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

	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{85m} Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	^{133m} Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	2,40	3,48.10 ⁻³	-	4,47.10 ⁻⁴	2,68.10 ¹	1,85.10 ¹	-	2,25.10 ⁻⁴	1,10.10 ⁻³	4,29.10 ⁻⁵	6,01.10 ⁻⁵	4,24.10 ⁻⁵	4,91.10 ⁻⁵
Février	1,07	5,63.10 ⁻³	-	7,88.10 ⁻⁴	2,39.10 ¹	1,64.10 ¹	-	2,05.10 ⁻⁴	6,32.10 ⁻⁴	6,47.10 ⁻⁵	7,17.10 ⁻⁵	5,22.10 ⁻⁵	6,57.10 ⁻⁵
Mars	1,96	7,73.10 ⁻³	-	1,16.10 ⁻³	2,62.10 ¹	1,73.10 ¹	-	2,78.10 ⁻³	8,92.10 ⁻⁴	5,51.10 ⁻⁵	8,31.10 ⁻⁵	5,80.10 ⁻⁵	5,67.10 ⁻⁵
Avril	2,84	4,56.10 ⁻³	-	5,27.10 ⁻⁴	2,36.10 ¹	1,67.10 ¹	-	1,85.10 ⁻⁴	8,48.10 ⁻⁴	5,76.10 ⁻⁵	6,67.10 ⁻⁵	5,56.10 ⁻⁵	5,16.10 ⁻⁵
Mai	3,07	1,08.10 ⁻²	-	4,98.10 ⁻³	2,82.10 ¹	1,76.10 ¹	-	1,93.10 ⁻³	1,19.10 ⁻³	5,59.10 ⁻⁵	6,15.10 ⁻⁵	5,83.10 ⁻⁵	4,57.10 ⁻⁵
Juin	3,80	1,30.10 ⁻²	-	3,40.10 ⁻³	2,67.10 ¹	1,63.10 ¹	-	1,99.10 ⁻³	1,26.10 ⁻³	5,98.10 ⁻⁵	7,52.10 ⁻⁵	6,62.10 ⁻⁵	6,29.10 ⁻⁵
Juillet	9,96	8,95.10 ⁻³	-	3,90.10 ⁻³	3,00.10 ¹	1,86.10 ¹	-	1,60.10 ⁻⁴	8,19.10 ⁻⁴	4,13.10 ⁻⁵	5,53.10 ⁻⁵	4,01.10 ⁻⁵	4,32.10 ⁻⁵
Août	2,44	1,12.10 ⁻²	-	5,72.10 ⁻³	2,96.10 ¹	1,97.10 ¹	-	1,42.10 ⁻⁴	1,30.10 ⁻³	4,25.10 ⁻⁵	5,15.10 ⁻⁵	4,13.10 ⁻⁵	3,97.10 ⁻⁵
Septembre	2,04	7,96.10 ⁻³	-	4,72.10 ⁻³	2,57.10 ¹	1,65.10 ¹	-	1,66.10 ⁻³	1,07.10 ⁻³	5,34.10 ⁻⁵	5,91.10 ⁻⁵	5,46.10 ⁻⁵	5,75.10 ⁻⁵
Octobre	2,28	9,88.10 ⁻³	-	3,48.10 ⁻³	1,84.10 ¹	1,08.10 ¹	-	1,14.10 ⁻³	1,21.10 ⁻³	6,92.10 ⁻⁵	1,65.10 ⁻⁴	7,10.10 ⁻⁵	8,18.10 ⁻⁵
Novembre	2,32	7,15.10 ⁻³	9,16.10 ⁻⁴	5,85.10 ⁻³	8,49.10 ¹	4,36.10 ¹	4,05.10 ⁻³	1,71.10 ⁻⁴	8,45.10 ⁻⁴	4,73.10 ⁻⁵	5,20.10 ⁻⁵	4,65.10 ⁻⁵	4,27.10 ⁻⁵
Décembre	2,09	9,23.10 ⁻³	-	1,98.10 ⁻²	2,14.10 ²	2,75.10 ¹	2,97.10 ⁻³	5,28.10 ⁻⁴	8,20.10 ⁻⁴	4,88.10 ⁻⁵	6,22.10 ⁻⁵	5,48.10 ⁻⁵	5,53.10 ⁻⁵
TOTAL ANNUEL	36,27	9,94.10⁻²	9,16.10⁻⁴	5,45.10⁻²	5,58.10²	2,39.10²	7,02.10⁻³	1,11.10⁻²	1,20.10⁻²	6,38.10⁻⁴	8,63.10⁻⁴	6,41.10⁻⁴	6,52.10⁻⁴

	Volumes rejetés (m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,92.10 ⁸	4,77.10 ¹	5,12.10 ¹	4,17.10 ¹	1,33.10 ⁻³	1,95.10 ⁻⁴
Février	3,45.10 ⁸	4,14.10 ¹	3,83.10 ¹		8,37.10 ⁻⁴	2,54.10 ⁻⁴
Mars	3,64.10 ⁸	4,55.10 ¹	4,23.10 ¹		3,67.10 ⁻³	2,53.10 ⁻⁴
Avril	3,33.10 ⁸	4,31.10 ¹	4,22.10 ¹	7,93.10 ¹	1,03.10 ⁻³	2,32.10 ⁻⁴
Mai	3,84.10 ⁸	4,89.10 ¹	4,62.10 ¹		3,11.10 ⁻³	2,21.10 ⁻⁴
Juin	3,43.10 ⁸	4,71.10 ¹	4,69.10 ¹		3,25.10 ⁻³	2,64.10 ⁻⁴
Juillet	3,65.10 ⁸	5,86.10 ¹	4,63.10 ¹	8,51.10 ¹	9,80.10 ⁻⁴	1,80.10 ⁻⁴
Août	3,64.10 ⁸	5,18.10 ¹	6,25.10 ¹		1,45.10 ⁻³	1,75.10 ⁻⁴
Septembre	3,63.10 ⁸	4,43.10 ¹	9,12.10 ¹		2,73.10 ⁻³	2,25.10 ⁻⁴
Octobre	3,83.10 ⁸	3,15.10 ¹	5,37.10 ¹	1,54.10 ²	2,34.10 ⁻³	3,87.10 ⁻⁴
Novembre	3,39.10 ⁸	1,31.10 ²	5,16.10 ¹		1,02.10 ⁻³	1,88.10 ⁻⁴
Décembre	3,50.10 ⁸	2,43.10 ²	4,92.10 ¹		1,35.10 ⁻³	2,21.10 ⁻⁴
TOTAL ANNUUEL	4,33.10⁹	8,53.10²	6,22.10²	3,60.10²	2,31.10⁻²	2,79.10⁻³

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

Pour l'unité en déconstruction Bugey 1, les cumuls mensuels sont donnés dans le tableau suivant pour les produits de fission et d'activation.

	⁶⁰ Co (GBq)	⁶³ Ni (GBq)	⁵⁵ Fe (GBq)
Janvier	1,29.10 ⁻⁵	1,50.10 ⁻⁵	7,67.10 ⁻⁶
Février	1,15.10 ⁻⁵	1,66.10 ⁻⁵	9,50.10 ⁻⁶
Mars	1,81.10 ⁻⁵	1,92.10 ⁻⁵	7,94.10 ⁻⁶
Avril	1,40.10 ⁻⁵	1,48.10 ⁻⁵	6,98.10 ⁻⁶
Mai	1,27.10 ⁻⁵	1,41.10 ⁻⁵	1,09.10 ⁻⁵
Juin	1,54.10 ⁻⁵	1,70.10 ⁻⁵	1,01.10 ⁻⁵
Juillet	1,12.10 ⁻⁵	9,32.10 ⁻⁶	5,52.10 ⁻⁶
Août	1,10.10 ⁻⁵	1,77.10 ⁻⁵	1,05.10 ⁻⁵
Septembre	1,17.10 ⁻⁵	1,53.10 ⁻⁵	7,27.10 ⁻⁶
Octobre	1,55.10 ⁻⁵	2,11.10 ⁻⁵	1,98.10 ⁻⁵
Novembre	1,21.10 ⁻⁵	1,83.10 ⁻⁵	1,51.10 ⁻⁵
Décembre	1,08.10 ⁻⁵	1,59.10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁵
TOTAL ANNUEL	1,57.10⁻⁴	1,94.10⁻⁴	1,21.10⁻⁴

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)	Activités émetteurs Alpha (GBq)
Janvier	5,20.10 ⁷	1,54.10 ⁻²	1,49.10 ⁻¹	3,56.10 ⁻⁵	9,23.10 ⁻⁷
Février	4,62.10 ⁷	1,43.10 ⁻²		3,76.10 ⁻⁵	8,76.10 ⁻⁷
Mars	5,12.10 ⁷	1,75.10 ⁻²		4,52.10 ⁻⁵	8,63.10 ⁻⁷
Avril	5,01.10 ⁷	1,52.10 ⁻²	1,86.10 ⁻¹	3,58.10 ⁻⁵	8,70.10 ⁻⁷
Mai	5,13.10 ⁷	1,63.10 ⁻²		3,77.10 ⁻⁵	8,88.10 ⁻⁷
Juin	2,99.10 ⁸	1,82.10 ⁻²		4,26.10 ⁻⁵	9,55.10 ⁻⁷
Juillet	4,93.10 ⁷	1,97.10 ⁻²	3,82.10 ⁻¹	2,60.10 ⁻⁵	9,86.10 ⁻⁷
Août	4,98.10 ⁷	1,87.10 ⁻²		3,92.10 ⁻⁵	9,16.10 ⁻⁷
Septembre	4,89.10 ⁷	2,05.10 ⁻²		3,43.10 ⁻⁵	1,05.10 ⁻⁶
Octobre	5,10.10 ⁷	1,36.10 ⁻²	1,25.10 ⁻¹	5,64.10 ⁻⁵	8,70.10 ⁻⁷
Novembre	4,89.10 ⁷	1,52.10 ⁻²		4,55.10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁶
Décembre	5,19.10 ⁷	1,22.10 ⁻²		3,69.10 ⁻⁵	9,70.10 ⁻⁷
TOTAL ANNUEL	8,50.10⁸	1,97.10⁻¹	8,42.10⁻¹	4,73.10⁻⁴	1,12.10⁻⁵

Pour l'ICEDA, les cumuls mensuels sont donnés dans le tableau suivant pour les produits de fission et d'activation.

	⁶⁰ Co (GBq)	^{108m} Ag (GBq)	⁶³ Ni (GBq)	⁵⁵ Fe (GBq)
Janvier	2,15.10 ⁻⁵	1,52.10 ⁻⁵	2,79.10 ⁻⁵	1,29.10 ⁻⁵
Février	2,67.10 ⁻⁵	1,57.10 ⁻⁵	2,33.10 ⁻⁵	2,18.10 ⁻⁵
Mars	1,80.10 ⁻⁵	1,55.10 ⁻⁵	2,61.10 ⁻⁵	1,03.10 ⁻⁵
Avril	2,27.10 ⁻⁵	1,60.10 ⁻⁵	2,59.10 ⁻⁵	1,02.10 ⁻⁵
Mai	2,63.10 ⁻⁵	1,50.10 ⁻⁵	2,42.10 ⁻⁵	1,81.10 ⁻⁵
Juin	1,98.10 ⁻⁵	1,62.10 ⁻⁵	3,00.10 ⁻⁵	1,46.10 ⁻⁵
Juillet	1,73.10 ⁻⁵	1,15.10 ⁻⁵	1,76.10 ⁻⁵	7,61.10 ⁻⁶
Août	1,25.10 ⁻⁵	1,20.10 ⁻⁵	2,53.10 ⁻⁵	1,34.10 ⁻⁵
Septembre	1,65.10 ⁻⁵	1,36.10 ⁻⁵	2,49.10 ⁻⁵	1,09.10 ⁻⁵
Octobre	2,26.10 ⁻⁵	1,67.10 ⁻⁵	2,88.10 ⁻⁵	3,10.10 ⁻⁵
Novembre	1,96.10 ⁻⁵	1,27.10 ⁻⁵	2,44.10 ⁻⁵	1,36.10 ⁻⁵
Décembre	1,78.10 ⁻⁵	1,22.10 ⁻⁵	2,42.10 ⁻⁵	1,47.10 ⁻⁵
TOTAL ANNUUEL	2,41.10⁻⁴	1,72.10⁻⁴	3,03.10⁻⁴	1,72.10⁻⁴

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	7,65.10 ⁷	1,94.10 ⁻²	2,35.10 ⁻²	7,73.10 ⁻⁵
Février	6,81.10 ⁷	1,87.10 ⁻²		8,75.10 ⁻⁵
Mars	6,93.10 ⁷	1,52.10 ⁻²		6,99.10 ⁻⁵
Avril	6,81.10 ⁷	1,52.10 ⁻²	1,53.10 ⁻¹	7,47.10 ⁻⁵
Mai	7,38.10 ⁷	1,89.10 ⁻²		8,36.10 ⁻⁵
Juin	5,68.10 ⁷	1,59.10 ⁻²		8,06.10 ⁻⁵
Juillet	5,30.10 ⁷	1,77.10 ⁻²	2,04.10 ⁻¹	5,41.10 ⁻⁵
Août	5,57.10 ⁷	2,13.10 ⁻²		6,32.10 ⁻⁵
Septembre	5,85.10 ⁷	1,70.10 ⁻²		6,60.10 ⁻⁵
Octobre	5,95.10 ⁷	1,44.10 ⁻²	1,09.10 ⁻¹	9,90.10 ⁻⁵
Novembre	5,64.10 ⁷	1,44.10 ⁻²		7,03.10 ⁻⁵
Décembre	6,24.10 ⁷	1,54.10 ⁻²		6,89.10 ⁻⁵
TOTAL ANNUUEL	7,58.10⁸	2,04.10⁻¹	4,90.10⁻¹	8,95.10⁻⁴

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 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
2019	777	822	468	0,036	0,003
2020	613	705	363	0,021	0,004
2021	853	622	360	0,023	0,003
Prévisionnel 2021	800	800	600	0,05	0,004

Commentaires : Les rejets à l'atmosphère en tritium, carbone 14, iodes et PF-PA sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021. Pour ce qui est des gaz rares, l'augmentation des rejets depuis novembre 2021 s'explique par la présomption d'un défaut de gainage sur l'unité de production n°4.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour l'unité en déconstruction Bugey 1 et pour l'ICEDA.

Installation	Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
		Tritium	Carbone 14	Autres produits de fission et d'activation	Emetteurs Alpha
Bugey 1	2019	0,48	0,64	$4,76 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
	2020	0,30	0,56	$5,10 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
	2021	0,20	0,84	$4,73 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$
	Prévisionnel 2021	0,50	1	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$
ICEDA	2020	0,072	0,027	$4,78 \cdot 10^{-4}$	-
	2021	0,20	0,490	$8,95 \cdot 10^{-4}$	-
	Prévisionnel 2021	8	0,5	$2 \cdot 10^{-3}$	-

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021.

e. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° 2014-DC-0443 pour les tranches REP.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Réacteurs n°2-3-4 et 5	Activité annuelle rejetée (GBq)	60 000	853
	Réacteurs n°2-3	Débit instantané (Bq/s)	$5 \cdot 10^7$	$1,15 \cdot 10^5$
	Réacteurs n°4-5	Débit instantané (Bq/s)	$5 \cdot 10^7$	$5,80 \cdot 10^5$
Carbone 14	Réacteurs n°2-3-4 et 5	Activité annuelle rejetée (GBq)	2 200	360
Tritium	Réacteurs n°2-3-4 et 5	Activité annuelle rejetée (GBq)	8 000	622
	Réacteurs n°2-3	Débit instantané (Bq/s)	$4,4 \cdot 10^6$	$1,69 \cdot 10^4$
	Réacteurs n°4-5	Débit instantané (Bq/s)	$4,4 \cdot 10^6$	$3,27 \cdot 10^4$
Iodes	Réacteurs n°2-3-4 et 5	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,2	0,023
	Réacteurs n°2-3	Débit instantané (Bq/s)	$5 \cdot 10^2$	3,61
	Réacteurs n°4-5	Débit instantané (Bq/s)	$5 \cdot 10^2$	0,549
Autres produits de fission et produits d'activation	Réacteurs n°2-3-4 et 5	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,28	$2,79 \cdot 10^{-3}$
	Réacteurs n°2-3	Débit instantané (Bq/s)	$1,7 \cdot 10^2$	0,440
	Réacteurs n°4-5	Débit instantané (Bq/s)	$1,7 \cdot 10^2$	0,129

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2014-DC-0443 pour les autres installations : l'unité en déconstruction Bugey 1 et l'ICEDA, ainsi que pour la totalité du site (tranches REP, Bugey 1 et l'ICEDA).

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur maximale
Gaz rares	Global site	Débit instantané (Bq/s)	1.10 ⁸	6,03.10 ⁵
Carbone 14	Bugey 1	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,5	0,84
	ICEDA	Activité annuelle rejetée (GBq)	2	0,49
Tritium	Global site	Débit instantané (Bq/s)	1.10 ⁷	4,50.10 ⁴
	Bugey 1	Activité annuelle rejetée (GBq)	100	0,20
		Débit instantané (Bq/s)	1,1.10 ⁵	11
	ICEDA	Activité annuelle rejetée (GBq)	1 000	0,20
		Débit instantané (Bq/s)	1,1.10 ⁶	16,4
Iodes	Global site	Débit instantané (Bq/s)	1.10 ⁵	3,61
Autres produits de fission et produits d'activation	Global site	Débit instantané (Bq/s)	1.10 ³	0,192
	Bugey 1	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,4	4,73.10 ⁻⁴
		Débit instantané (Bq/s)	4,8.10 ²	0,63
	ICEDA	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,15	1,02.10 ⁻³
		Débit instantané (Bq/s)	1,8.10 ²	2,35.10 ⁻²
Alpha	Bugey 1	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,5.10 ⁻⁴	1,12.10 ⁻⁵

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n°2014-DC-0443. Les débits instantanés ont respecté les valeurs de la décision ASN n°2014-DC-0443 tout au long de l'année 2021.

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 est donnée dans le tableau suivant.

	Volume (m ³)	Rejets de vapeur du circuit secondaire		Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides		Autres rejets	
		Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)	Tritium (Bq)	Iodes (Bq)
Janvier	2,12.10 ⁴	0	0	2,39.10 ⁷	0	0	0
Février	3,06.10 ⁴	1,42.10 ⁸	0	3,93.10 ⁷	0	11,4	0
Mars	2,21.10 ⁴	0	0	2,83.10 ⁷	0	0	0
Avril	2,27.10 ⁴	0	0	2,72.10 ⁷	0	0	0
Mai	2,74.10 ⁴	0	0	4,86.10 ⁷	0	0	0
Juin	3,87.10 ⁴	0	0	7,08.10 ⁷	0	0	0
Juillet	3,14.10 ⁴	0	0	4,67.10 ⁷	0	0	0
Août	3,01.10 ⁴	0	0	6,86.10 ⁷	0	34,6	0
Septembre	1,94.10 ⁴	0	0	5,98.10 ⁷	0	0	0
Octobre	2,01.10 ⁴	0	0	7,57.10 ⁷	0	0	0
Novembre	1,95.10 ⁴	0	0	4,81.10 ⁷	0	0	0
Décembre	1,94.10 ⁴	0	0	4,29.10 ⁷	0	0	0
TOTAL ANNUEL	3,03.10⁵	1,42.10⁸	0	5,80.10⁸	0	46	0

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

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

- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SOx) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est équipé de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions de fluides frigorigène. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour les limiter.

- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SOx) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) et des diesels d'ultime secours (DUS), ayant consommé 146,4 tonnes de carburant (GNR), et de la turbine à combustion (TAC) ayant consommé 12,7 tonnes de kérosène, au total sur les 4 tranches pour 2021 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes + DUS	TAC	TOTAL
SOx	kg	3	76	79

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2021, 103 m³ de calorifuges ont été renouvelés dans les enceintes des bâtiments réacteurs n° 4 et 5.

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

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	1,13.10 ⁻²	2,67.10 ⁻⁴
		Monoxyde de carbone	1,05.10 ⁻²	2,49.10 ⁻⁴

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

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

Paramètre	Unité	TOTAL
Ammoniac	kg	266
Morpholine		98

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

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

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

Paramètre	Masse en kg	Tonne équivalent CO ₂
Chloro-fluoro-carbone (CFC)	0	0
Hydrogéo-chloro-fluor-carbone (HCFC)	0	0
Hydrogéo-fluoro-carbone (HFC)	111,8	232
Hexafluorure de soufre (SF6)	8,4	192
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO₂		424

Dans le respect de la réglementation relative aux systèmes d'échanges de quota d'émissions de gaz à effet de serre, le CNPE déclare chaque année les émissions de CO₂ provenant de l'activité de combustion de combustibles dans les installations dont la puissance thermique totale de combustion est supérieure à 20 MW. Pour l'année 2021, les émissions liées à cette activité représentent 504 tonnes équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigène et SF6 et de la combustion des diesels de secours, représente $4,62 \cdot 10^{-2}$ g CO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 20,1 TWh sur l'année 2021.

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

L'année 2021 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

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

Le CNPE du Bugey n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejets d'effluents à l'atmosphère en 2021.

II. Rejets d'effluents liquides

1. Rejets d'effluents liquides radioactifs

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

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

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

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

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

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

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

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

Pour les autres installations nucléaires (déconstruction notamment), des effluents liquides radioactifs peuvent être générés par les procédés mis en œuvre. Ces effluents sont

récoltés, stockés, traité et contrôlés avant rejet. Les rejets sont surveillés en continu et réalisés en concertation avec les autres rejets pour l'ensemble du CNPE.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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.* »

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

Pour les autres installations (l'unité de déconstruction Bugey 1 et l'ICEDA), le tableau ci-dessous est un rappel du spectre de référence.

Installation	Paramètres	Radionucléide
Bugey 1	Tritium	^3H
	Produits de fission et d'activation	^{58}Co
		^{137}Cs
		^{63}Ni
		^{55}Fe
ICEDA	Pas de rejets liquides	

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 (GBq)	⁵⁴ Mn (GBq)	⁶³ Ni (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	^{110m} Ag (GBq)	^{123m} Te (GBq)	¹²⁴ Sb (GBq)	¹²⁵ Sb (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)	⁵¹ Cr (GBq)	⁵⁹ Fe (GBq)	⁹⁵ Zr (GBq)	⁹⁵ Nb (GBq)	⁹⁹ Mo (GBq)	^{99m} Tc (GBq)	^{108m} Ag (GBq)	¹⁰⁹ Cd (GBq)
Janvier	1,9610 ⁻³	2,09.10 ⁻³	2,04.10 ⁻²	8,74.10 ⁻³	3,2810 ⁻²	4,75.10 ⁻²	2,45.10 ⁻³	5,86.10 ⁻³	1,01.10 ⁻²	2,10.10 ⁻³	2,35.10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0	0
Février	2,1310 ⁻³	2,24.10 ⁻³	9,17.10 ⁻³	8,72.10 ⁻³	5,4310 ⁻²	1,12.10 ⁻¹	2,11.10 ⁻³	8,44.10 ⁻³	1,07.10 ⁻²	2,19.10 ⁻³	2,91.10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0	0
Mars	1,5710 ⁻³	1,94.10 ⁻³	9,19.10 ⁻³	1,20.10 ⁻²	6,3510 ⁻²	8,13.10 ⁻²	1,33.10 ⁻³	4,16.10 ⁻³	5,00.10 ⁻³	1,69.10 ⁻³	1,87.10 ⁻³	0	0	5,90.10 ⁻⁴	5,90.10 ⁻⁴	7,92.10 ⁻⁵	7,92.10 ⁻⁵	4,28.10 ⁻⁴	0
Avril	1,0710 ⁻³	1,66.10 ⁻³	1,97.10 ⁻²	7,11.10 ⁻³	4,8710 ⁻²	5,09.10 ⁻²	8,00.10 ⁻⁴	2,69.10 ⁻³	3,20.10 ⁻³	1,14.10 ⁻³	1,28.10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0	0
Mai	1,0810 ⁻³	1,66.10 ⁻³	1,54.10 ⁻²	5,72.10 ⁻³	4,0910 ⁻²	5,31.10 ⁻²	8,40.10 ⁻⁴	1,51.10 ⁻³	3,29.10 ⁻³	1,12.10 ⁻³	1,30.10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	1,58.10 ⁻⁴	0
Juin	1,8510 ⁻³	2,21.10 ⁻³	8,06.10 ⁻³	4,73.10 ⁻³	4,5010 ⁻²	8,61.10 ⁻²	1,71.10 ⁻³	1,96.10 ⁻³	5,67.10 ⁻³	1,91.10 ⁻³	2,20.10 ⁻³	0	0	0	0	8,47.10 ⁻⁵	8,47.10 ⁻⁵	0	0
Juillet	1,5510 ⁻³	1,53.10 ⁻³	8,93.10 ⁻³	6,22.10 ⁻³	2,5810 ⁻²	5,80.10 ⁻²	1,13.10 ⁻³	1,66.10 ⁻³	4,65.10 ⁻³	1,61.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³	0	0	0	0	8,31.10 ⁻⁵	8,31.10 ⁻⁵	0	0
Août	1,8110 ⁻³	1,93.10 ⁻³	1,44.10 ⁻²	9,46.10 ⁻²	1,5310 ⁻²	2,51.10 ⁻²	1,39.10 ⁻³	2,16.10 ⁻³	5,27.10 ⁻³	1,90.10 ⁻³	2,06.10 ⁻³	0	0	0	0	2,55.10 ⁻⁴	2,55.10 ⁻⁴	0	0
Septembre	1,3010 ⁻³	1,19.10 ⁻³	2,28.10 ⁻²	1,31.10 ⁻¹	3,8110 ⁻²	9,24.10 ⁻²	8,79.10 ⁻⁴	1,57.10 ⁻³	3,81.10 ⁻³	1,31.10 ⁻³	1,50.10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0	3,65.10 ⁻³
Octobre	9,25.10 ⁻⁴	8,89.10 ⁻⁴	1,73.10 ⁻²	8,06.10 ⁻²	1,8210 ⁻²	3,07.10 ⁻²	6,88.10 ⁻⁴	1,05.10 ⁻³	2,68.10 ⁻³	9,90.10 ⁻⁴	1,05.10 ⁻³	0	0	0	0	1,13.10 ⁻⁴	1,13.10 ⁻⁴	0	0
Novembre	6,05.10 ⁻⁴	7,39.10 ⁻⁴	1,70.10 ⁻²	5,92.10 ⁻²	1,4010 ⁻²	1,31.10 ⁻²	4,32.10 ⁻⁴	7,05.10 ⁻⁴	1,77.10 ⁻³	6,67.10 ⁻⁴	9,90.10 ⁻⁴	0	9,74.10 ⁻⁴	0	0	0	0	0	0
Décembre	7,01.10 ⁻⁴	6,92.10 ⁻⁴	9,35.10 ⁻³	2,85.10 ⁻²	1,0110 ⁻²	2,52.10 ⁻²	5,01.10 ⁻⁴	7,61.10 ⁻⁴	2,06.10 ⁻³	7,49.10 ⁻⁴	8,14.10 ⁻⁴	9,14.10 ⁻⁴	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ANNUUEL	1,65.10⁻²	1,88.10⁻²	1,72.10⁻¹	4,47.10⁻¹	4,07.10⁻¹	6,76.10⁻¹	1,43.10⁻²	3,25.10⁻²	5,82.10⁻²	1,73.10⁻²	2,02.10⁻²	9,14.10⁻⁴	9,74.10⁻⁴	5,90.10⁻⁴	5,90.10⁻⁴	6,15.10⁻⁴	6,15.10⁻⁴	5,86.10⁻⁴	3,65.10⁻³

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	3,47.10 ⁴	1,76.10 ³	5,41.10 ⁻¹	1,96.10 ⁻³	1,34.10 ⁻¹
Février	3,32.10 ⁴	2,59.10 ³	6,08.10 ⁻¹	2,13.10 ⁻³	2,13.10 ⁻¹
Mars	2,89.10 ⁴	1,89.10 ³	3,82.10 ⁻¹	1,57.10 ⁻³	1,84.10 ⁻¹
Avril	2,03.10 ⁴	1,58.10 ³	8,50.10 ⁻¹	1,07.10 ⁻³	1,37.10 ⁻¹
Mai	2,55.10 ⁴	3,48.10 ³	6,27.10 ⁻¹	1,08.10 ⁻³	1,25.10 ⁻¹
Juin	3,36.10 ⁴	5,65.10 ³	1,10	1,85.10 ⁻³	1,60.10 ⁻¹
Juillet	3,14.10 ⁴	3,70.10 ³	6,57.10 ⁻¹	1,55.10 ⁻³	1,12.10 ⁻¹
Août	2,49.10 ⁴	5,53.10 ³	8,70.10 ⁻¹	1,81.10 ⁻³	1,65.10 ⁻¹
Septembre	1,94.10 ⁴	4,63.10 ³	6,26.10 ⁻¹	1,30.10 ⁻³	2,98.10 ⁻¹
Octobre	1,74.10 ⁴	5,51.10 ³	6,73.10 ⁻¹	9,25.10 ⁻⁴	1,54.10 ⁻¹
Novembre	1,70.10 ⁴	2,99.10 ³	2,99.10 ⁻¹	6,05.10 ⁻⁴	1,10.10 ⁻¹
Décembre	1,93.10 ⁴	3,33.10 ³	4,04.10 ⁻¹	7,01.10 ⁻⁴	7,96.10 ⁻²
TOTAL ANNUEL	3,06.10⁵	4,26.10⁴	7,64	1,65.10⁻²	1,87

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

Le cumul mensuel des rejets d'effluents radioactifs liquides pour l'installation en déconstruction Bugey 1 est donnée dans le tableau suivant :

	⁵⁵ Fe (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	⁶³ Ni (MBq)	⁹⁰ Sr (MBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	-	-	-	-	-
Février	5,35.10 ⁻²	0	1,98.10 ⁻¹	1,66	4,36.10 ⁻¹
Mars	-	-	-	-	-
Avril	-	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-	-
Juin	-	-	-	-	-
Juillet	-	-	-	-	-
Août	1,26.10 ⁻¹	1,96.10 ⁻²	1,99.10 ⁻¹	4,20.10 ⁻¹	3,65.10 ⁻¹
Septembre	-	-	-	-	-
Octobre	-	-	-	-	-
Novembre	5,23.10 ⁻²	0	9,88.10 ⁻²	2,85.10 ⁻²	5,47.10 ⁻²
Décembre	-	-	-	-	-
TOTAL ANNUEL	2,32.10⁻¹	1,96.10⁻²	4,96.10⁻¹	2,11	8,56.10⁻¹

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (GBq)	Activités Autres PF et PA (GBq)
Janvier	-	-	-
Février	99	1,09.10 ⁻³	2,35.10 ⁻³
Mars	-	-	-
Avril	-	-	-
Mai	-	-	-
Juin	-	-	-
Juillet	-	-	-
Août	178	5,33.10 ⁻³	1,13.10 ⁻³
Septembre	-	-	-
Octobre	-	-	-
Novembre	95	6,8.10 ⁻⁴	2,34.10 ⁻⁴
Décembre	-	-	-
TOTAL ANNUEL	372	7,09.10⁻³	3,71.10⁻³

Commentaires : les rejets liquides de l'installation de Bugey 1 sont ponctuels, il n'y en a pas tous les mois.

L'ICEDA ne produit pas d'effluents radioactifs liquides.

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour les tranches en fonctionnement.

	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)			
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF
2019	5,68.10 ⁴	1,64.10 ¹	1,56.10 ⁻²	1,44
2020	3,53.10 ⁴	1,62.10 ¹	1,59.10 ⁻²	1,50
2021	4,26.10 ⁴	7,64	1,65.10 ⁻²	1,87
Prévisionnel 2021	6.10 ⁴	2,5.10 ¹	2,00.10 ⁻²	1,80

Commentaires : Les rejets radioactifs liquides sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejet de l'année 2021 avec les valeurs du prévisionnel 2021 pour l'installation en déconstruction Bugey 1.

Installation	Année	Tritium (MBq)	Autres PA et PF (MBq)
Bugey 1	2019	12,5	0,9
	2020	-	-
	2021	7,09	3,71
	Prévisionnel 2021	30	1

Pas de rejets liquides sur Bugey 1 en 2020.

Commentaires : Le prévisionnel de rejets en « autres PF/PA » a été dépassé en 2021 pour Bugey 1, sans que la limite ne soit dépassée. La différence entre les rejets prévus et les rejets réels provient d'une mesure significative de Strontium 90 dans une des 4 bâches d'effluents liquides rejetées en 2021. Aucune activité sur l'installation de Bugey 1 ne justifie un rejet supérieur au prévisionnel, le Sr90 est un isotope radioactif produit au niveau du combustible, que l'on ne retrouve que sous forme de trace dans les circuits radioactifs lors du démantèlement. Les activités de démantèlement de Bugey 1 en 2021 ne génèrent pas d'effluents liquides, les rejets liquides de l'installation de Bugey 1 sont constitués d'eaux d'infiltration. On attribue donc cette analyse de Sr90 à une mesure ponctuelle anormale sur un réservoir rejeté en février 2021. L'activité des 3 autres réservoirs rejetés plus tard dans l'année est normale et conforme au prévisionnel.

e. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n°2014-DC-0443 pour les tranches en fonctionnement.

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
	Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	90 000	$4,26 \cdot 10^4$
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	260	7,64
Iodes	Activité annuelle rejetée (GBq)	0.4	$1,65 \cdot 10^{-2}$
Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	36	1,87

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par la décision ASN n° n°2014-DC-0443 pour l'installation en déconstruction Bugey 1.

Installation	Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet
		Prescriptions	Valeur	Valeur (GBq)
Bugey 1	Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,2	$7,09 \cdot 10^{-3}$
	Autres PA et PF	Activité annuelle rejetée (GBq)	0,01	$3,71 \cdot 10^{-3}$

Commentaires : Les limites réglementaires de rejets ont été respectées.

f. Surveillance des eaux de surface

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

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux de surface pour l'année 2021 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 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire	Valeur moyenne mesurée en 2021	Valeur maximale mesurée en 2021	Limite réglementaire
Eau filtrée	Activité bêta globale	1,24.10 ⁻¹ Bq/L	3,19.10 ⁻¹ Bq/L	2 Bq/L	-	-	-
	Tritium	2,92.10 ¹ Bq/L	9,62.10 ¹ Bq/L	280 Bq/L	9,02.10 ¹ Bq/L	1,1.10 ¹ Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	1,77 mg/L	3,20 mg/L	-	-	-	-
Matières en suspension	Activité bêta globale	6,61.10 ⁻² Bq/L	1,03 Bq/L	2 Bq/L	-	-	-

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

Commentaires : Les mesures de surveillance dans les eaux de surface pour l'année 2021 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.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les principales substances utilisées sont :

- l'acide borique (H_3BO_3) : le bore contenu dans cet acide est « avide » des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. C'est une substance neutrophage, qui permet donc le contrôle de la réaction de fission et donc le pilotage du réacteur. Ce bore est dissous dans l'eau du circuit primaire.
- la lithine (LiOH) : ce produit est utilisé pour maintenir le pH du circuit primaire. En effet, le bore est sous forme acide. Pour éviter les effets de corrosion liés à cet acide, de la lithine est ajoutée à l'eau du circuit primaire afin d'ajuster le pH à celui de moindre corrosion. La concentration en lithine est donc directement liée à celle du bore.
- l'hydrazine (N_2H_4) : ce produit est utilisé principalement dans le circuit secondaire comme un agent anti-oxydant. Il permet d'éliminer l'oxygène dissous dans le mélange eau-vapeur, et ainsi maintenir là aussi un pH de moindre corrosion du circuit secondaire.
- La morpholine (C_4H_9NO), l'éthanolamine (C_2H_7NO) et l'ammoniaque (NH_4OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du retour d'expérience interne et étranger. L'éthanolamine (C_2H_7NO), utilisée sur quelques CNPE, constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sècheurs-surchauffeurs de la turbine. Son utilisation est en cours de déploiement sur Bugey.
- le phosphate trisodique (Na_3PO_4) : comme l'hydrazine, le phosphate est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires.
- les détergents : ces produits sont régulièrement utilisés pour le nettoyage des locaux industriels ; qu'ils soient en ou hors zone contrôlée. Ils sont également utilisés à la laverie du CNPE pour le nettoyage des tenues d'intervention.

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

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

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

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

- des composés liés à la fabrication de la monochloramine sur CNPE, tels que le sodium, les chlorures et l'ammonium issus respectivement de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) et de l'ammoniaque (NH₄OH),
- des composés issus de la réaction du chlore de la monochloramine avec les matières organiques présentes dans l'eau circulant dans les circuits de refroidissement, tels que les AOX (dérivés organo-halogénés),
- des nitrites et nitrates liés à la décomposition de la monochloramine et à l'oxydation de l'azote réduit (ammonium).

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

Les autres installations nucléaires du site (l'unité en déconstruction Bugey 1 notamment) ne contribuent aux rejets d'effluents chimiques du site que pour une très faible part des rejets de métaux totaux issus de la corrosion des circuits.

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

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

Les principaux effets connus sont également rappelés ci-après.

- La morpholine a des propriétés irritantes (respiratoire, oculaire et cutané) et corrosives. Une Valeur Toxicologique de Référence (VTR) chronique par voie orale de 0,12 mg/kg/j a été établie par l'ANSES en 2019. Une mise à jour de l'évaluation de risque sanitaire suite à la prise en compte de cette VTR pour la morpholine a été réalisée. Elle conclut à une absence de risque sanitaire pour les populations riveraines et à des concentrations ajoutées faibles dans l'environnement.
- Les produits de dégradation de la morpholine sont constitués de composés carbonés : ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de composés azotés : diéthanolamine, éthanolamine, méthylamine, pyrrolidine, diéthylamine, éthylamine, N-nitrosomorpholine. Il s'agit de substances qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances à l'exception de la N-nitrosomorpholine.
- De plus, la morpholine peut notamment être transformée in vivo en Nnitrosomorpholine en présence de nitrites. Une VTR chronique par voie orale pour la N-nitrosomorpholine de 4 (mg/kg/j)⁻¹ a été établie par l'ANSES en 2012.
- De même, la pyrrolidine peut être transformée in vivo en N-nitrosopyrrolidine. Il s'agit d'une substance formée à partir de la réaction de nitrosation d'un sous-produit de la morpholine, la pyrrolidine. Une VTR chronique par voie orale pour la Nnitrosopyrrolidine de 2,1 (mg/kg/j)⁻¹ a été établie par l'US EPA en 1987. Une mise à jour de l'évaluation de risque sanitaire suite à la prise en compte de cette substance a été réalisée. Elle conclut à une absence de risque sanitaire pour les populations riveraines et à des concentrations ajoutées faibles dans l'environnement.

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

b. Règles spécifiques de comptabilisation

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

c. Rejets d'effluents liquides chimiques via le canal de rejet 2/3

i. Cumul mensuel

Le cumul mensuel des rejets chimiques transitant par le canal de rejet 2/3 est donnée dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Morpholine (kg)	Hydrazine (kg)	Lithine (kg)	Détergents (kg)	Azote (kg)	Phosphates (kg)	Sodium (kg)	Chlorures (kg)	Métaux totaux (kg)	Sulfates (kg)	MES (kg)	DCO (kg)
Janvier	5,19.10 ²	6,34.10 ¹	1,43.10 ⁻¹	6,10.10 ⁻¹	5,85	1,22.10 ²	4,46.10 ¹	5,60.10 ³	5,90.10 ²	4,50	1,40.10 ⁴	2,80	2,40.10 ²
Février	9,71.10 ²	8,03.10 ¹	1,52.10 ⁻¹	5,80.10 ⁻¹	3,34	1,25.10 ²	5,61.10 ¹	5,50.10 ³	7,10.10 ²	7,20	1,40.10 ⁴	-	1,20.10 ²
Mars	5,03.10 ²	6,47.10 ¹	1,12.10 ⁻¹	-	3,01	1,97.10 ²	3,23.10 ¹	5,00.10 ³	6,00.10 ²	4,20	1,30.10 ⁴	-	1,90.10 ²
Avril	2,56.10 ²	6,22.10 ¹	6,88.10 ⁻²	-	2,72	3,12.10 ²	5,33.10 ¹	2,83.10 ³	1,20.10 ²	3,30	6,39.10 ³	2,50	8,03.10 ¹
Mai	2,59.10 ²	5,45.10 ¹	1,29.10 ⁻¹	-	3,08	3,32.10 ²	3,48.10 ¹	3,25.10 ³	1,61.10 ²	7,26	7,58.10 ³	11,9	1,72.10 ²
Juin	9,18.10 ²	8,55.10 ¹	2,17.10 ⁻¹	-	3,44	3,42.10 ²	1,05.10 ¹	5,12.10 ³	2,14.10 ²	6,50	1,10.10 ⁴	-	1,27.10 ²
Juillet	1,16.10 ³	7,17.10 ¹	1,28.10 ⁻¹	-	4,24	4,22.10 ²	2,56.10 ¹	4,43.10 ³	1,96.10 ²	6,03	1,02.10 ⁴	37,8	2,47.10 ²
Août	2,14.10 ²	5,25.10 ¹	1,80.10 ⁻¹	-	4,60	2,95.10 ²	2,44.10 ¹	3,40.10 ³	1,48.10 ²	4,07	7,94.10 ³	-	2,16.10 ²
Septembre	8,68.10 ¹	6,29.10 ¹	1,27.10 ⁻¹	-	2,60	3,63.10 ²	6,13.10 ¹	3,53.10 ³	1,33.10 ²	2,73	8,10.10 ³	-	2,48.10 ²
Octobre	6,62.10 ¹	3,96.10 ¹	7,28.10 ⁻²	-	2,22	3,36.10 ²	1,56.10 ¹	2,74.10 ³	1,12.10 ²	2,51	6,24.10 ³	-	5,46.10 ¹
Novembre	6,10.10 ¹	3,44.10 ¹	6,38.10 ⁻²	-	2,03	2,94.10 ²	1,05.10 ¹	2,31.10 ³	1,01.10 ²	9,95	5,36.10 ³	13,8	8,58.10 ¹
Décembre	5,50.10 ¹	3,74.10 ¹	8,78.10 ⁻²	-	2,26	3,02.10 ²	2,13.10 ¹	3,41.10 ³	1,51.10 ²	2,99	7,91.10 ³	-	1,05.10 ³
TOTAL ANNUUEL	5,07.10³	7,09.10²	1,48	1,19	3,94.10¹	3,44.10³	3,90.10²	4,71.10⁴	3,24.10³	6,12.10¹	1,12.10⁵	-*	2,83.10³

*Pour le paramètre MES une mesure ponctuelle est effectuée chaque trimestre. Il n'y a pas de cumul annuel.

	Al (kg)	Cr (kg)	Cu (kg)	Fe (kg)	Mn (kg)	Ni (kg)i	Pb (kg)	Zn (kg)
Janvier	3,47.10 ⁻¹	8,67 .10 ⁻²	1,35	1,64	3,36.10 ⁻¹	8,67 .10 ⁻²	3,47 .10 ⁻²	5,95.10 ⁻¹
Février	4,31.10 ⁻¹	8,29 .10 ⁻²	4,51	1,12	3,11.10 ⁻¹	8,29 .10 ⁻²	3,31 .10 ⁻²	5,14.10 ⁻¹
Mars	2,89.10 ⁻¹	7,24 .10 ⁻²	2,22	8,05.10 ⁻¹	1,68.10 ⁻¹	1,28.10 ⁻¹	2,89 .10 ⁻²	5,34.10 ⁻¹
Avril	4,44.10 ⁻¹	5,07 .10 ⁻²	7,44.10 ⁻¹	1,38	9,46 .10 ⁻²	1,14.10 ⁻¹	4,36 .10 ⁻²	4,36.10 ⁻¹
Mai	6,15.10 ⁻¹	6,37 .10 ⁻²	2,82	2,74	1,70.10 ⁻¹	6,37 .10 ⁻²	2,55 .10 ⁻²	7,66.10 ⁻¹
Juin	3,36.10 ⁻¹	8,41 .10 ⁻²	1,64	3,43	2,08.10 ⁻¹	9,85 .10 ⁻²	3,36 .10 ⁻²	6,63.10 ⁻¹
Juillet	1,02	7,85 .10 ⁻²	1,53	2,08	1,96.10 ⁻¹	2,07.10 ⁻¹	3,14 .10 ⁻²	8,98.10 ⁻¹
Août	5,81.10 ⁻¹	6,23 .10 ⁻²	9,90.10 ⁻¹	1,67	1,68.10 ⁻¹	6,23 .10 ⁻²	2,49 .10 ⁻²	5,12.10 ⁻¹
Septembre	1,94.10 ⁻¹	4,86 .10 ⁻²	8,61.10 ⁻¹	9,52.10 ⁻¹	1,42.10 ⁻¹	9,45 .10 ⁻²	1,94 .10 ⁻²	4,13.10 ⁻¹
Octobre	2,43.10 ⁻¹	4,55 .10 ⁻²	3,49.10 ⁻¹	1,14	2,73.10 ⁻¹	7,09 .10 ⁻²	1,82 .10 ⁻²	3,72.10 ⁻¹
Novembre	1,76	4,25 .10 ⁻²	4,89.10 ⁻¹	4,11	2,72	6,77 .10 ⁻²	4,91 .10 ⁻²	7,10.10 ⁻¹
Décembre	6,21.10 ⁻¹	4,82 .10 ⁻²	3,52.10 ⁻¹	1,15	3,18.10 ⁻¹	7,69 .10 ⁻²	1,93 .10 ⁻²	4,06.10 ⁻¹
TOTAL ANNUUEL	6,88	7,66.10⁻¹	1,79.10¹	2,22.10¹	5,11	1,15	3,62.10⁻¹	6,82

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 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021 pour les tranches en fonctionnement.

Substances	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Acide borique	kg	1,09.10 ⁴	1,06.10 ⁴	5,07.10 ³	12 000
Morpholine	kg	8,91.10 ²	5,89.10 ²	7,09.10 ²	900
Hydrazine	kg	1,8	1,56	1,48	2,2
Lithine	kg	7,81	5,83	1,19	(1)
Détergents	kg	3,54.10 ¹	4,02.10 ¹	3,94.10 ¹	50
Azote	kg	4,25.10 ³	2,76.10 ³	3,44.10 ³	6 500
Phosphates	kg	7,56.10 ²	6,33.10 ²	3,90.10 ²	800
Sodium	kg	6,75.10 ⁴	6,17.10 ⁴	4,71.10 ⁴	80 000
Chlorures	kg	7,42.10 ³	6,91.10 ³	3,24.10 ³	8 000
Métaux totaux	kg	7,16.10 ¹	6,14.10 ¹	6,12.10 ¹	(1)
Sulfates	kg	1,69.10 ⁵	1,56.10 ⁵	1,12.10 ⁵	200 000
DCO	kg	1,95.10 ³	2,54.10 ³	2,83.10 ³	(1)

Commentaires : RAS. (1) Pas de prévisionnel pour ces paramètres.

iii. Comparaison aux limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites de rejets fixées par les décisions ASN n°2014-DC-0442 et n°2014-DC-0443 pour les tranches en fonctionnement.

Substances	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée (mg/L)	Valeur maximale calculée (mg/L)	Flux 24h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé
Acide borique	3	$2,66 \cdot 10^{-1}$	2 100	$6,63 \cdot 10^2$	500	$1,18 \cdot 10^2$	23 000	$5,07 \cdot 10^3$
Morpholine	0,28	$9,30 \cdot 10^{-3}$	27	9,84	(1)	-	2 090	$7,09 \cdot 10^2$
Hydrazine	0,006	$6,26 \cdot 10^{-5}$	2,2	$5,62 \cdot 10^{-2}$	(1)	-	32	1,48
Détergents	0,36	$6,10 \cdot 10^{-4}$	135	$7,99 \cdot 10^{-1}$	60	$2,00 \cdot 10^{-1}$	8 000	$3,94 \cdot 10^1$
Azote	0,3	$6,93 \cdot 10^{-2}$	120	$4,31 \cdot 10^1$	(1)	-	8 900	$3,45 \cdot 10^3$
Phosphates	0,24	$1,26 \cdot 10^{-2}$	100	$2,35 \cdot 10^1$	40	4,37	1 550	$3,90 \cdot 10^2$
Sodium	1,8	$7,57 \cdot 10^{-1}$	820	$6,86 \cdot 10^2$	(1)	-	(1)	$4,72 \cdot 10^4$
Chlorures	0,11	$7,11 \cdot 10^{-2}$	150	$6,23 \cdot 10^1$	(1)	-	(1)	$3,24 \cdot 10^3$
Métaux totaux	0,006	$3,63 \cdot 10^{-4}$	2,4	1,34	(1)	-	55	$6,26 \cdot 10^{1*}$
Sulfates	8,9	1,85	3 000	$1,65 \cdot 10^3$	(1)	-	(1)	$1,12 \cdot 10^5$
MES	0,25	$1,67 \cdot 10^{-2}$	120	$1,72 \cdot 10^1$	(1)	-	(1)	$6,88 \cdot 10^1$
DCO	0,79	$3,23 \cdot 10^{-2}$	450	$1,19 \cdot 10^2$	(1)	-	(1)	$2,80 \cdot 10^3$

(1) Pas de limite réglementaire pour ces paramètres.

L'article 5.3.1 de la décision ASN n°2017-DC-0588 demande une évaluation de la quantité annuelle de lithine rejetée. En 2021, la quantité de lithine rejetée par le CNPE du Bugey est évaluée à 1,2 kg.

Commentaires : *Le dépassement du flux annuel de métaux totaux en 2021 a été déclaré via une montée d'indice de l'ESE déclaré chaque année pour le dépassement du flux annuel, dont les causes sont identiques depuis 2015, année de la mise en application des décisions rejets en vigueur sur le site (sous dimensionnement de la limite). Un dossier de demande de modification de cette limite est en cours d'instruction.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques via le canal 4/5

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques liées au traitement contre le tartre et au traitement biocide du CNPE du Bugey pour l'année 2021.

i. Cumul mensuel

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

	Chlorures (kg)	Sodium (kg)	AOX (kg)	THM (kg)	CRT (kg)	Ammonium (kg)	Nitrites (kg)	Nitrates (kg)	Chlore libre (kg)	Sulfates (kg)	DCO (kg)	Antitartre organique (kg)	
Janvier	(1)	3,43.10 ³	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(3)	3,26.10 ⁴	3,00.10 ⁴	
Février		3,15.10 ³									2,99.10 ⁴	2,75.10 ⁴	
Mars		2,31.10 ³									2,19.10 ⁴	2,02.10 ⁴	
Avril	7,11.10 ²	2,13.10 ³	0		3,89.10 ¹	2,35.10 ¹	0	6,49.10 ²			1,58.10 ⁴	1,46.10 ⁴	
Mai	5,41.10 ³	7,16.10 ³	1,45.10 ²		9,37.10 ¹	1,77.10 ²	4,32	4,09.10 ³			3,47.10 ⁴	3,19.10 ⁴	
Juin	8,69.10 ³	8,28.10 ³	1,38.10 ²		1,42.10 ²	1,97.10 ²	0	5,07.10 ³			2,32.10 ⁴	2,14.10 ⁴	
Juillet	8,79.10 ³	1,06.10 ⁴	1,74.10 ¹		2,97.10 ²	2,39.10 ²	1,38.10 ²	4,82.10 ³			4,49.10 ⁴	4,13.10 ⁴	
Août	3,06.10 ³	3,45.10 ³	1,00.10 ²		1,62.10 ²	7,00.10 ¹	8,21	1,27.10 ³			1,31.10 ⁴	1,20.10 ⁴	
Septembre	3,81.10 ³	4,25.10 ³	3,24		1,33.10 ²	2,27.10 ¹	0	4,00.10 ²			1,56.10 ⁴	1,44.10 ⁴	
Octobre	(1)	1,87.10 ³	(1)		(1)	(1)	(1)	(1)			(1)	1,77.10 ⁴	1,63.10 ⁴
Novembre		2,47.10 ³										2,35.10 ⁴	2,16.10 ⁴
Décembre		4,04.10 ³										3,83.10 ⁴	3,53.10 ⁴
TOTAL ANNUEL	3,05.10⁴	5,31.10⁴	4,04.10²		8,66.10²	7,29.10²	2,20.10²	2,32.10⁴		3,11.10⁵	2,87.10⁵		

(1) Pas de traitement biocide sur ces mois

(2) Pas de chloration massive sur l'année

(3) Pas de chloration massive ni de traitement antitartre à l'acide sur l'année

ii. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

Les limites réglementaires relatives aux rejets des substances chimiques liées au traitement biocide sont réglementées par la décision ASN n°2014-DC-0443.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets d'effluents liquides chimiques de l'année 2021 avec les valeurs des années précédentes et celles du prévisionnel 2021.

Paramètres	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Chlorures	kg	4,54.10 ⁴	5,80.10 ⁴	3,01.10 ⁴	60 000
Sodium		5,37.10 ⁴	7,17.10 ⁴	5,31.10 ⁴	70 000
AOX		4,98.10 ²	9,34.10 ¹	4,04.10 ²	700
THM		Pas de traitement par chloration massive			
CRT		6,5.10 ¹	1,49.10 ³	9,31.10 ²	1 500
Ammonium		8,86.10 ²	8,76.10 ²	7,29.10 ²	1 000
Nitrites		2,8.10 ¹	2,66.10 ²	2,20.10 ²	800
Nitrates		4,16.10 ⁴	5,26.10 ⁴	2,32.10 ⁴	50 000
Chlore libre (si chloration massive)		Pas de traitement par chloration massive			
Sulfates (si chloration massive)		Pas de traitement par chloration massive ni de traitement antitartre à l'acide sur ces années			
DCO		3,54.10 ⁵	3,32.10 ⁵	3,11.10 ⁵	(1)
Antitartre organique		3,54.10 ⁵	3,06.10 ⁵	2,87.10 ⁵	400 000

(1) Pas de prévisionnel établi pour cette substance

iii. Comparaison aux limites et au prévisionnel

Le tableau ci-dessous présente les rejets annuels relatifs au traitement biocide à la monochloramine pour chaque type de substance chimique.

Paramètres	Limite	Rejet		Limite	Rejet	Limite	Rejet
	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/L)	Valeur maximale (mg/L)	Valeur moyenne (mg/L)	Flux 24h ajouté (kg)	Valeur maximale (kg)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel (kg)
Chlorures	1,7	9,0.10 ⁻¹	2,6.10 ⁻¹	1 490	9,36.10 ²	180 000	3,05.10 ⁴
Sodium	1,7	7,2.10 ⁻¹	2,0.10 ⁻¹	1 480	7,48.10 ²	380 000	5,31.10 ⁴
AOX	0,05	2,77.10 ⁻²	< 1.10 ⁻³	40	2,30.10 ¹	1 500	4,04.10 ²
THM	0,2	(1)	(1)	10	(1)	(3)	(1)
CRT	0,14	4.10 ⁻²	1.10 ⁻²	120	3,80.10 ¹	13 000	9,31.10 ²
Ammonium	0,36*	1,7.10 ⁻¹	5.10 ⁻²	100	2,35.10 ¹	(3)	7,29.10 ²
Nitrites				100	1,84.10 ¹	(3)	2,20.10 ²
Nitrates				1 370	6,45.10 ²	(3)	2,32.10 ⁴
Chlore libre (si chloration massive)	0,1	(1)	(1)	(3)	(1)	(3)	(1)
Sulfates (si chloration massive ou traitement acide)	29	(2)	(2)	25 000	(2)	520 000	(2)
DCO	4,5	2,80	1,29	3 900	2,78.10 ³	(3)	3,11.10 ⁵
Antitartre organique	3,5	2,60	1,19	3 000	2,56.10 ³	(3)	2,87.10 ⁵

(1) Pas de chloration massive sur l'année 2021

(2) Pas de chloration massive ni de traitement antitartre à l'acide sur l'année 2021

(3) Pas de limite réglementaire pour ces paramètres

Commentaires : *Valeur exprimée en azote total.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques dans le réseau d'eaux pluviales (SEO)

i. Rejets chimiques liquides pour les ouvrages Wi : comparaison aux limites

Les réseaux d'égouts (W) situés à proximité des matériels utilisant des hydrocarbures sont équipés de dispositifs de traitement appropriés tels que des déshuileurs.

Des contrôles sont réalisés périodiquement à la sortie du système de traitement afin de s'assurer que la concentration en hydrocarbures ne soit pas supérieure aux limites réglementaires fixées dans la décision n°2014-DC-0443 de l'ASN du 15 juillet 2014.

Des mesures trimestrielles en hydrocarbures et de pH sont réalisées sur l'ensemble des Wi.

Paramètre	Unité	Période	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	Limites de rejet
Hydrocarbures	mg/L	Trimestre 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5 mg/L (pour W1/W4/W5/W7) 10 mg/L (pour W2/W3/W6)
		Trimestre 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		Trimestre 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
		Trimestre 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
pH	-	Trimestre 1	8,3	8,0	8,0	8,1	8,0	8,3	8,1	(1)
		Trimestre 2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,3	8,2	
		Trimestre 3	8,0	8,1	8,2	8,1	8,0	8,2	8,3	
		Trimestre 4	8,3	8,0	8,2	7,9	8,0	8,2	8,3	

(1) Pas de limite pour ce paramètre

Commentaires : RAS.

Certains Wi font l'objet, chaque semestre, de mesures sur les paramètres suivants :

Paramètre	Unité	Période	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
DCO	mg/L	Semestre 1	7,7	< 5	(1)	13	(1)	< 5	(1)
		Semestre 2	< 8	< 6		< 6			
MES	mg/L	Semestre 1	22	25	(1)	44	(1)	59	(1)
		Semestre 2	< 2	16		66		38	
DBO ₅	mg/L	Semestre 1	< 3	< 3	(1)	< 3	(1)	< 3	(1)
		Semestre 2	< 3	< 3		< 3		< 3	

(1) Pas de mesure réalisée sur ces Wi

Commentaires : RAS

ii. Rejets chimiques liquides pour les décanteurs déshuileurs

Sur les parties de l'installation où de l'huile est entreposée ou utilisée, des systèmes de traitement ont également été mis en place. Ils font l'objet de contrôles trimestriels pour s'assurer du respect de la limite fixée dans la décision n°2014-DC-0442 de l'ASN du 15 juillet 2014.

Paramètre	Lieu de prélèvement	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Limite
Hydrocarbures	Parking nord 1	< 0,1	0,1	<0,1	<0,1	10 mg/L
	Parking sud 1	< 0,1	< 0,1	3,4	<0,1	
	Parking sud 2	< 0,1	< 0,1	0,2	<0,1	
	Parking sud 3	< 0,1	0,2	0,1	<0,1	
	Parking sud 4	< 0,1	0,7	< 0,1	<0,1	
	Parking direction	< 0,1	< 0,1	4,1	3,2	
	Station-service 1	0,1	0,1	< 0,1	<0,1	
	Station-service 2	< 0,1	< 0,1	< 0,2	<0,1	
	Garage (1)	2,4	3,5	1,4	0,8	
	Huilerie	< 0,1	0,2	0,2	<0,1	
	Bâche à fuel	0,3	0,2	1,2	0,3	
	LTP/LTS TR2/3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1	
	LTP/LTS TR4/5	0,3	0,1	< 0,1	0,3	
	LTA TR2/3	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
	LTA TR4/5	0,1	0,5	< 0,1	< 0,1	
	LGX Bugey 1	0,2	0,1	< 0,1	< 0,1	
	FARN 1	< 0,1	< 0,1	0,5	1,4	
	FARN 2	< 0,1	0,1	< 0,1	0,2	
	Aire de dépotage	< 0,1	0,1	0,3	4,4	
	Magasin relais	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	
ICEDA (7 SEO 7063 DH)	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1		
ICEDA (7 SEO 7005 DH)	0,1	< 0,1	0,8	< 0,1		
ICEDA (7 SEO 7042 DH)	0,2	< 0,1	0,3	< 0,1		

(1) Le prélèvement est réalisé directement dans la fosse. Cette installation est un débourbeur.

Commentaires : RAS.

Le système de traitement de la station de transit des déchets conventionnels fait l'objet d'un suivi particulier. Ce suivi répond à une prescription fixée par la décision n°2014-DC-0442 de l'ASN du 15 juillet 2014.

Lieu de prélèvement	Unité	Rejet effectif – Valeur maximale enregistrée en 2021
Station de transit des déchets conventionnels	Hydrocarbures	4,4 mg/L
	DCO	290 mg/L
	pH	8

Commentaires : RAS.

f. Rejets d'effluents liquides chimiques en sortie de la station d'épuration

Les eaux usées d'origine domestique (sanitaires, eaux vannes) sont collectées par un réseau particulier puis dirigées vers une station d'épuration (STEP) avant rejet. Cinq stations sont présentes sur le site du Bugey.

Les paramètres suivants sont contrôlés, notamment pour le contrôle du respect des limites fixées par la décision n°2014-DC-0443 de l'ASN du 15 juillet 2014.

Paramètres	Concentration maximale en sortie d'installation (mg/L)		Valeur maximale Flux 24h ajouté (kg)	
	Limite de rejet	Rejet effectif	Limite de rejet	Rejet effectif
DCO	300	95	20	4,26
DBO ₅	100	11	10	0,62
MES	100	44	15	1,84
Phosphore total	(1)	-	0,5	0,5
Azote global	(1)	-	2	1,97

(1) Pas de limite pour ces paramètres

Commentaires : RAS.

Paramètres	Cumul annuel (kg)	Limite flux annuel (kg)	Prévisionnel 2021 (kg)
Phosphore total	401	(1)	600
Azote global	2 294	(1)	3 500

(1) Pas de limite pour ces paramètres

Commentaires : RAS.

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

Des travaux de maintenance sur les puisards et les rétentions ont eu lieu afin de garantir l'étanchéité du système de traitement des effluents radioactifs liquides.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Certains Générateurs de Vapeur (GV) du parc REP français présentent un encrassement et un colmatage lié au dépôt au fil du temps des produits de corrosion issus du circuit secondaire. Afin de maintenir un niveau de propreté satisfaisant, des nettoyages chimiques préventifs sont réalisés périodiquement : un tel nettoyage a été réalisé du 15/08/2021 au 25/08/2021 pour le réacteur n°5. Cette opération génère des effluents liquides chimiques : ces effluents sont stockés et traités par le CNPE puis rejetés conformément aux limites réglementaires. Cette opération n'a eu aucune incidence perceptible sur l'environnement.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE du Bugey et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2014-DC-0443.

Le CNPE du Bugey réalise en continu des mesures de températures en amont, au rejet et en aval du CNPE et un suivi des rejets thermiques conformément aux autorisations de rejet en vigueur. Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2021 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température moyenne journalière mesurée à l'amont (°C)			Echauffement moyen journalier (°C)	Température moyenne journalière calculée à l'aval (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Max	Min	Moy
Janvier	6,82	4,37	5,81	0,40	6,88	4,56	5,99
Février	8,38	5,09	7,18	1,14	9,47	5,23	7,45
Mars	10,72	7,40	8,53	4,35	13,00	9,16	10,53
Avril	14,11	9,91	11,42	6,02	19,10	12,84	15,09
Mai	15,32	10,66	11,94	2,50	16,41	11,78	13,39
Juin	21,84	15,44	18,54	1,81	22,74	16,78	19,78
Juillet	21,34	13,42	18,09	1,77	22,49	14,07	19,16
Août	21,77	16,14	19,24	4,71	24,79	17,32	21,37
Septembre 01-15	21,25	19,76	20,57	4,70	25,54	22,34	24,01
Septembre 16 -30	20,42	17,74	18,85	5,06	23,77	20,76	22,23
Octobre	18,24	12,53	14,04	6,11	23,60	16,80	18,98
Novembre	12,18	7,22	9,35	6,12	15,67	10,29	13,57
Décembre	7,80	5,34	6,33	5,33	11,63	7,65	8,88

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques doivent respecter les limites fixées à l'article EDF-BUG-161 de la décision ASN n°2014-DC-0443.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Température moyenne journalière aval calculée	°C	Du 1 ^{er} mai au 15 septembre : 26°C	25,54
		Du 16 septembre au 30 avril : 24°C	23,77
Echauffement moyen journalier	°C	Du 1 ^{er} mai au 15 septembre : 5°C	4,71
		Du 16 septembre au 30 avril : 7°C	6,12

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

3. Suivi de tendance des débits du Rhône et des rejets thermiques

Le graphique ci-après est présenté en réponse à la prescription [EDF-BUG-143] de la décision n°2014-DC-0442, il représente le débit moyen du Rhône sur la période estivale 2021 (en bleu foncé) ainsi que les températures moyennes observées chaque jour dans le Rhône à l'amont du CNPE (en bleu clair). La courbe rouge représente la température moyenne journalière calculée à l'aval, sur laquelle porte la limite de 26°C (24°C à partir du 16/09).

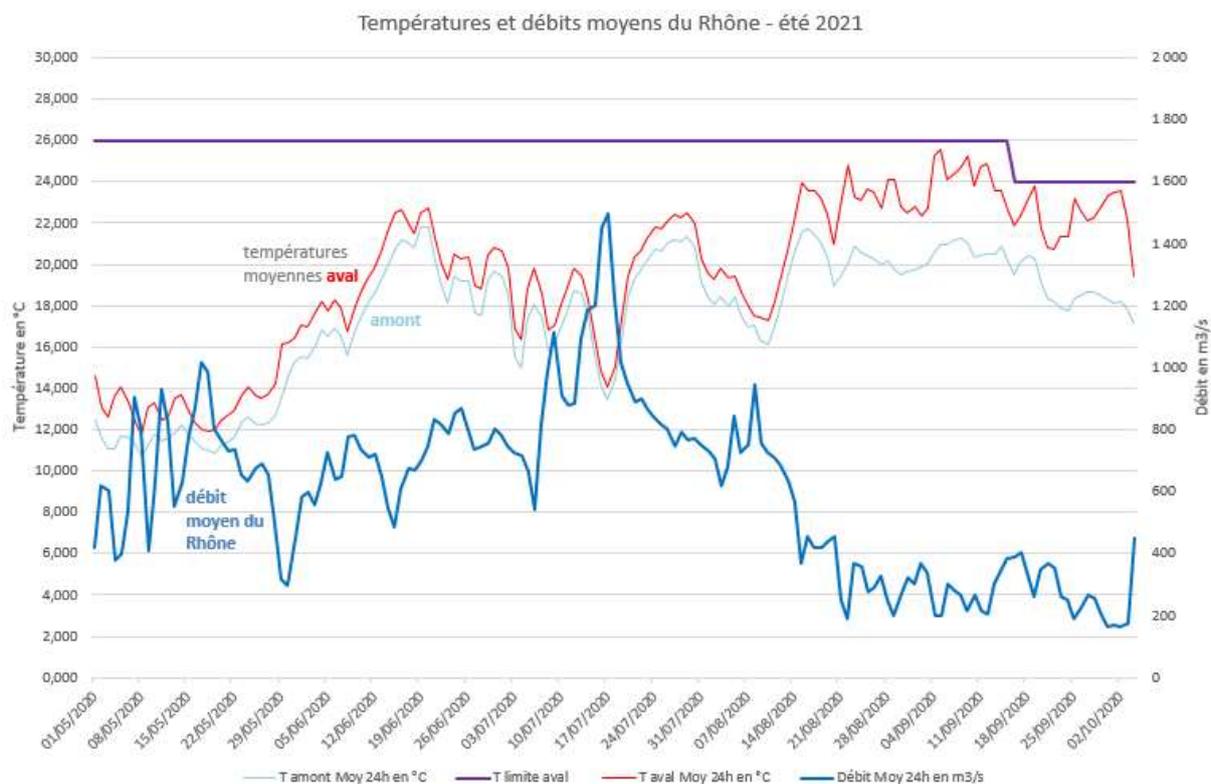


Figure 2: Températures et débits moyens du Rhône – été 2021 (Source : EDF)

4. En conditions climatiques exceptionnelles

Aucun épisode caniculaire nécessitant l'utilisation des limites en conditions climatiques exceptionnelles n'a eu lieu en 2021.

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

L'année 2021 n'a pas été concernée par des actions de maintenance (hors maintenance programmée) et aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

Partie V - Prévention du risque microbiologique

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

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

Afin de limiter ces proliférations, le CNPE du Bugey applique un traitement biocide à l'eau des circuits de refroidissement depuis l'année 2002. Dans l'objectif de limiter l'impact sur l'environnement de ce traitement par injection de monochloramine, le CNPE du Bugey développe depuis plusieurs années une méthodologie de traitement séquentiel au lieu d'une injection continue. Cette méthode permet de maîtriser le risque microbiologique tout en diminuant de façon notable les quantités de produits chimiques rejetés.

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

I. Bilan annuel des colonisations en circuit

Les valeurs maximales observées en 2021 en *Legionella pneumophila* mesurées en bassin et en *Naegleria fowleri* calculées en aval dans le fleuve sont présentées dans le tableau ci-dessous.

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

Paramètre	Valeur maximale observée en 2021	Seuil d'action
<i>Legionella pneumophila</i>	100 UFC / L mesuré en bassin	10 000 UFC / L
<i>Naegleria fowleri</i>	9 Nf / L calculé dans le Rhône	100 <i>N.fowleri</i> / L

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

II. Synthèse des traitements biocides et rejets associés

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

La stratégie de traitement préventif estival communiquée en début d'année consistait en un traitement continu, suivi d'un traitement séquentiel. Le traitement séquentiel consiste en une injection continue de 4 à 7 heures par jour. Le traitement est démarré et arrêté sur des critères basés sur les niveaux de colonisations en amibes *Naegleria fowleri* et en légionelles *Legionella pneumophila*.

Données d'ensemble de la campagne de traitement 2021 :

Paramètres	Unités de production			
	File 4.1	File 4.2	File 5.1	File 5.2
Date de démarrage et d'arrêt de la période de vaccination	Pas de vaccination			29/04/2021 au 11/05/2021
Date de démarrage et d'arrêt du traitement préventif	30/06/2021 au 20/09/2021	29/06/2021 au 20/09/2021	29/04/2021 au 20/07/2021	21/06/2021 au 20/07/2021
Date d'arrêt de Tranche (début et fin)	Couplage après VD le 24 juin 2021		Arrêt pour VD le 22 juillet 2021	
Nombre de jour de traitement continu	11	13	12	13
Nombre de jour de traitement séquentiel	68	66	70	17
Date de mise en œuvre du traitement renforcé	Pas de chloration massive ni traitement renforcé en 2021			
Nombre de jours de Chloration massive				
CRT moyen sortie condenseur (mg/L)	0,24	0,24	0,24	0,24
Consommation réelle d'eau de Javel (m3)	176,5			
Consommation réelle d'ammoniaque (m3)	29,6			

Les approvisionnements en réactifs se sont déroulés comme prévu et n'ont pas posé de difficulté particulière.

Partie VI - Surveillance de l'environnement

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

Ainsi, le CNPE réalise annuellement, sous le contrôle de l'ASN, de l'ordre de 25 000 analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et publiés par EDF sur le site internet du CNPE (EDF Bugey <https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-bugey>).

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.

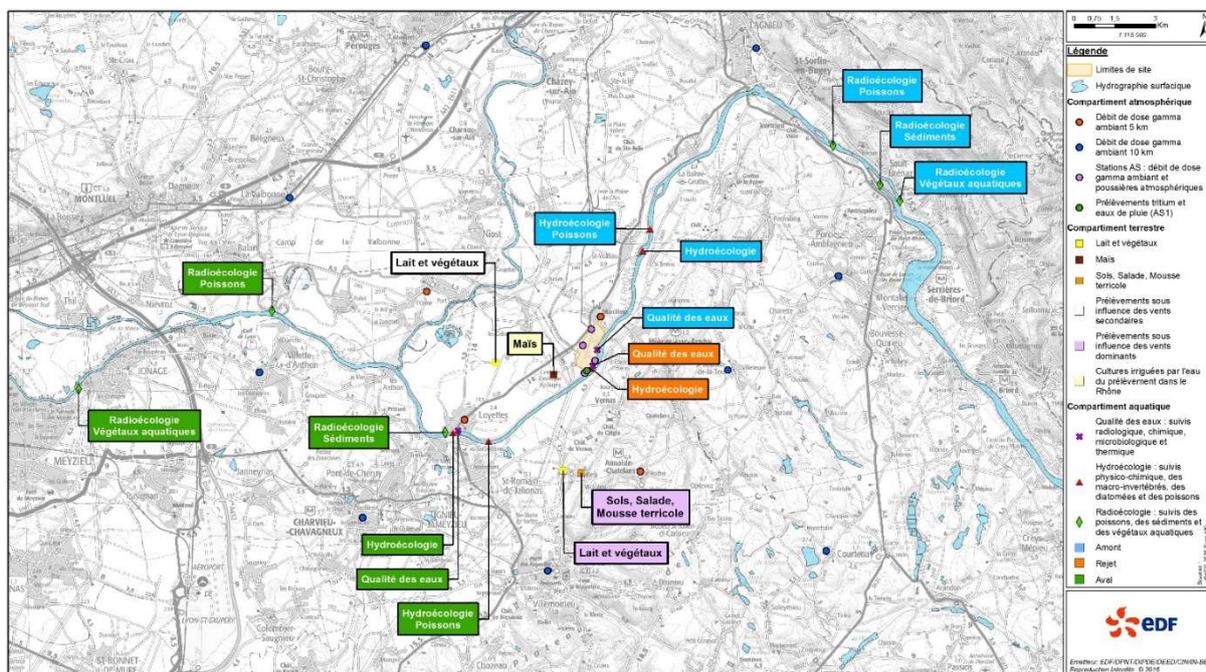


Figure 3 : Surveillance de la radioactivité dans l'environnement autour du CNPE du Bugey (source : EDF)

1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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

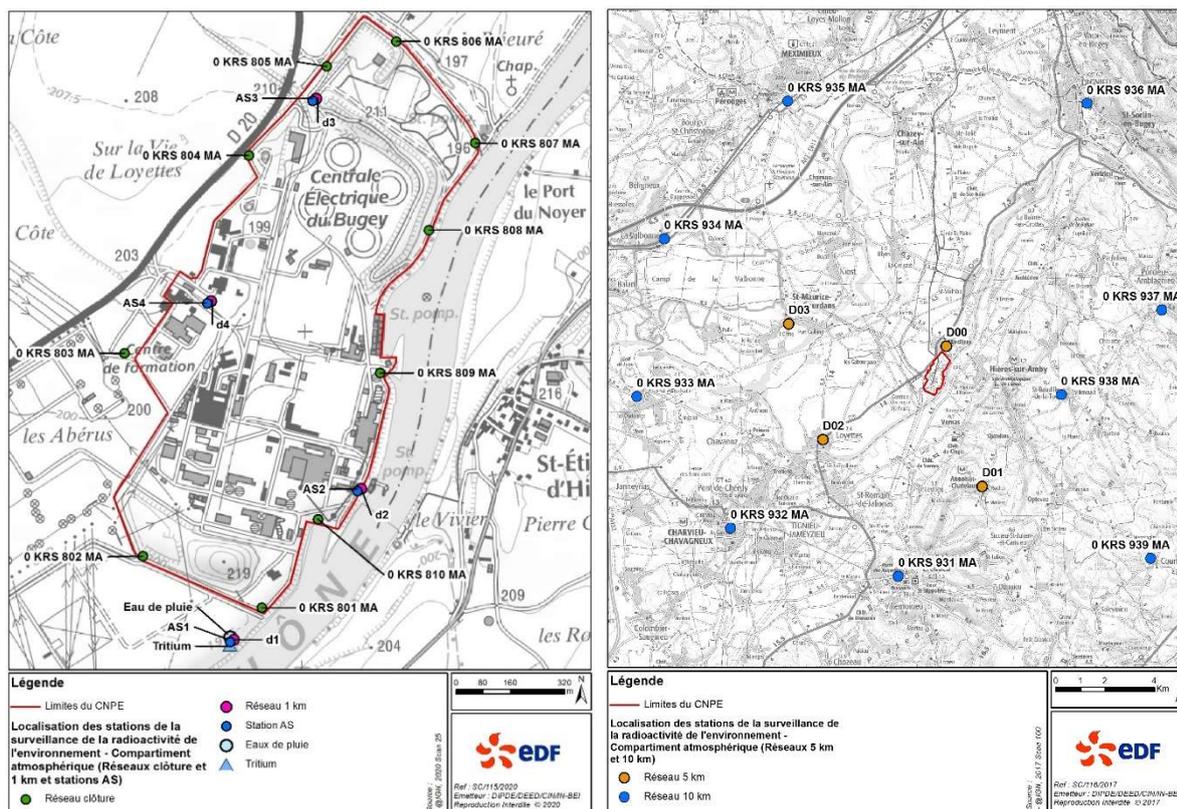


Figure 4 : Localisation des stations de la surveillance de la radioactivité de l'environnement – Compartiment atmosphérique (source : EDF)

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 2021 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 2021 (nSv/h)	Débit de dose max année 2021 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2020 (nSv/h)	Débit de dose moyen année 2019 (nSv/h)
Clôture	$8,38.10^1$	$8,73.10^1$	$8,72.10^1$	$1,00.10^2$
1 km	$8,59.10^1$	$1,08.10^2$	$9,72.10^1$	$9,5.10^1$
5 km	$8,69.10^1$	$9,48.10^1$	$1,03.10^2$	$1,03.10^2$
10 km	$9,21.10^1$	$9,49.10^1$	$9,67.10^1$	$1,04.10^2$

Commentaires : Pour les quatre réseaux, les débits de dose moyens enregistrés pour l'année 2021 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 alpha globale et 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 alpha globale, bêta globale et tritium sont réalisées.

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment atmosphérique pour l'année 2021 sont donnés dans le tableau suivant.

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire	
Poussières atmosphériques	Alpha globale (Bq/m ³)	< 4,23.10 ⁻⁵	< 2,2.10 ⁻⁴	(1)	
	Bêta globale (Bq/m ³)	< 7,38.10 ⁻⁴	2,36.10 ⁻³	0,01	
	Spectrométrie gamma (Bq/m ³)	⁵⁸ Co	< 1,90.10 ⁻⁵	< 7,10.10 ⁻⁵	(1)
		⁶⁰ Co	< 1,66.10 ⁻⁵	< 6,40.10 ⁻⁵	
		¹³⁴ Cs	< 1,57.10 ⁻⁵	< 6,70.10 ⁻⁵	
		¹³⁷ Cs	< 1,35.10 ⁻⁵	< 5,50.10 ⁻⁵	
		⁴⁰ K	< 2,74.10 ⁻⁴	< 8,90.10 ⁻⁴	
	Spectrométrie alpha (Bq/m ³)	²⁴¹ Am	< 4,55.10 ⁻⁷	< 2,70.10 ⁻⁶	
		²⁴⁴ Cm	< 3,05.10 ⁻⁸	< 1,40.10 ⁻⁷	
		²³⁸ Pu	< 6,30.10 ⁻⁸	< 2,20.10 ⁻⁷	
²³⁹ Pu		< 5,21.10 ⁻⁸	< 2,20.10 ⁻⁷		
Tritium atmosphérique (Bq/m ³)		< 1,32.10 ⁻¹	< 1,97.10 ⁻¹	50	
Eau de pluie	Alpha globale (Bq/L)	< 2,18.10 ⁻²	< 4,0.10 ⁻²	(1)	
	Bêta globale (Bq/L)	< 1,19.10 ⁻¹	< 3,0.10 ⁻¹		
	Tritium (Bq/L)	< 4,33	< 6,04		

(1) Pas de limite réglementaire pour ces paramètres

Commentaires : Les mesures de surveillance du compartiment atmosphérique pour l'année 2021 sont cohérentes en moyenne avec les valeurs du bruit de fond. Les mesures de l'activité bêta globale et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

3. Surveillance du milieu terrestre

Les résultats des mesures réalisées sur le compartiment terrestre pour l'année 2021 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)	⁵⁸ Co	Mensuelle	3,57.10 ⁻¹	4,30.10 ⁻¹
	⁶⁰ Co		3,42.10 ⁻¹	4,30.10 ⁻¹
	¹³⁴ Cs		3,11.10 ⁻¹	3,90.10 ⁻¹
	¹³⁷ Cs		3,23.10 ⁻¹	4,60.10 ⁻¹
	⁴⁰ K		6,42.10 ²	8,20.10 ²
Lait (Bq/L)	⁵⁸ Co	Mensuelle	3,66.10 ⁻¹	4,40.10 ⁻¹
	⁶⁰ Co		3,93.10 ⁻¹	4,30.10 ⁻¹
	¹³⁴ Cs		3,82.10 ⁻¹	4,20.10 ⁻¹
	¹³⁷ Cs		3,81.10 ⁻¹	4,10.10 ⁻¹
	⁴⁰ K		4,85.10 ¹	5,80.10 ¹

Commentaires : Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2020 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

4. Surveillance du milieu aquatique

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2020 sont présentés dans le rapport du suivi radioécologique annuel, présenté en **annexe 2**.

5. Surveillance des eaux souterraines

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

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Tritium	Bq/L	1,82.10 ¹
Bêta global	Bq/L	3,24.10 ⁻¹
⁴⁰ K	mg/L	7,40

Commentaires : Suite à l'ESE déclaré en 2017, une surveillance complémentaire a été mise en place sur le CNPE du Bugey. Cette surveillance complémentaire concerne aujourd'hui 14 piézomètres surveillés à la fréquence mensuelle, hebdomadaire et, en fonction des résultats, si besoin, 3 fois par semaine. Les résultats de cette surveillance complémentaire sont présentés dans le tableau suivant.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Tritium	Bq/L	3,96.10 ²

Commentaires : L'élévation de la concentration en tritium sur ce piézomètre est due à une remobilisation d'une poche de marquage de l'ESE déclaré en 2017.

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 36 piézomètres du CNPE.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	8,5
Conductivité	μS / cm	1 500*
Hydrocarbures	mg / L	0,3
DCO		20
Azote total		1,8
Métaux totaux, dont :		5,7
<i>Aluminium</i>		5,53
<i>Arsenic</i>		0,011
<i>Cadmium</i>		< 0,001
<i>Chrome</i>		0,009
<i>Cuivre</i>		0,021
<i>Mercure</i>		< 0,01
<i>Plomb</i>		0,029
<i>Zinc</i>		0,107
Phosphates		0,18
Nitrates		66
Chlorures		38
Sulfates	23	
Sodium	24	

Commentaires :

*Cette valeur élevée en conductivité, détectée sur le piézomètre 0SEZ150PZ en décembre 2021, n'est pas considérée comme représentative du fait des difficultés de prélèvement (faible réalimentation en eau sur ce piézomètre).

Lors de la campagne Etat Zéro des Sols réalisée dans le cadre du réexamen périodique (RCRi), des marquages au sol ont été détectés au niveau de trois zones sur l'ensemble du CNPE. Dans ce cadre une surveillance renforcée sur des piézomètres situés en aval et en amont de ces 3 zones a été mise en place par le CNPE du Bugey.

Cette surveillance complémentaire a été mise en place sur 11 piézomètres surveillés à fréquence mensuelle pour les hydrocarbures. Les résultats de cette surveillance complémentaire sont présentés dans le tableau suivant.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
Hydrocarbures	mg/L	< 0,3*

Commentaires : *La valeur est ponctuelle et n'a pas été confirmée lors des mois suivants. La valeur moyenne sur 2021 est de 0,1 mg/L.

III. Chimie et physico-chimie des eaux de surface

1. Physico-chimie en continu

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

Les tableaux suivants présentent les résultats du suivi sur l'année 2021 pour les stations à l'amont et à l'aval du site. Il s'agit des valeurs moyennes obtenues.

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	10,98	11,14	11,55	10,82	9,42	8,17	8,50	8,46	7,98	9,56	10,10	11,05
Conductivité (µS/cm)	372	348	346	329	325	292	300	304	305	335	360	372
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,1	8,0	8,0	8,2	8,0	8,0	7,9	7,9
Température (°C)	5,81	7,18	8,53	11,43	11,96	18,66	18,09	19,21	19,71	14,03	9,35	6,34

Commentaires : RAS

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Oxygène dissous (mg/L)	11,19	11,15	11,24	10,28	9,41	8,31	8,93	9,00	7,89	8,95	9,23	10,47
Conductivité (µS/cm)	376	346	328	311	318	289	299	296	297	326	342	348
pH	8,1	8,1	8,2	8,2	7,9	7,8	8,0	8,1	8,0	8,0	7,9	8,0
Température (°C)	6,42	8,71	14,10	19,28	16,53	22,58	21,43	24,31	26,85	22,53	17,63	12,63

Commentaires : RAS

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

2. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE fait réaliser par le laboratoire indépendant, en amont et en aval, des mesures de certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. La fréquence des analyses est mensuelle, à l'exception des ions majeurs et de certains paramètres de minéralisation (Ca, Mg, K, TAC, TH), ainsi que de la chlorophylle, seulement analysés de manière trimestrielle. Les résultats de ces campagnes de mesures sont présentés dans le rapport de surveillance réalisé par ALAREP, disponible sur demande auprès du CNPE, dont la synthèse reprenant l'interprétation de ces résultats est présentée ci-après (IV.1).

3. Chimie des eaux de surface

Les rejets chimiques résultant du fonctionnement du CNPE sont issus :

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

Ces rejets font l'objet d'une surveillance des concentrations présentes dans le milieu récepteur. A cet effet, des mesures de substances chimiques sont effectuées trimestriellement dans le fleuve en amont et en aval du CNPE. Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux deux stations amont et aval sur l'année 2021.

Paramètres Station amont		Unité	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Bore		mg/L	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$
Métaux totaux	Fraction brute		1,29	$5,91.10^{-2}$	$3,09.10^{-1}$	$5,19.10^{-1}$
	Fraction dissoute		$4,10.10^{-2}$	$1,47.10^{-2}$	$2,70.10^{-2}$	$2,60.10^{-2}$
Hydrazine			$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$
Morpholine			$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$
Détergents			< 2	< 2	< 2	< 2
Hydrocarbures			$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^1$	$< 1.10^{-1}$
AOX		mg/L	(1)	$< 1,1.10^1$	$< 1,0.10^1$	(1)
AOX dont acides chloroacétiques			(1)	< 5	< 5	(1)
Chlore résiduel total			(1)	$2,51.10^{-2}$	$5,00.10^{-2}$	$4,00.10^{-2}$
THM			(2)	(2)	(2)	(2)

Paramètres Station aval		Unité	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Bore			$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$
Métaux totaux	Fraction brute		1,36	$3,88.10^{-2}$	$6,44.10^{-1}$	$5,92.10^{-1}$
	Fraction dissoute		$4,22.10^{-2}$	$1,64.10^{-2}$	$4,76.10^{-2}$	$2,90.10^{-2}$
Hydrazine			$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$	$< 5.10^{-3}$
Morpholine			$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$
Détergents		mg/L	< 2	< 2	< 2	< 2
Hydrocarbures			$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$	$< 1.10^{-1}$
AOX			(1)	$1,00.10^1$	$< 1,0.10^1$	(1)
AOX dont acides chloroacétiques			(1)	< 5	< 5	(1)
Chlore résiduel total			(1)	$< 5.10^{-2}$	$< 5.10^{-2}$	$4,00.10^{-2}$
THM			(2)	(2)	(2)	(2)

(1) Pas de traitement biocide sur le trimestre

(2) Pas de chloration massive sur le trimestre

Commentaires : RAS

Le détail des métaux est présenté dans les tableaux suivants :

Station amont	Paramètres	Unité	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Fraction soluble	Aluminium	mg/L	$1,5.10^{-2}$	$3,5.10^{-3}$	$1,10.10^{-2}$	$1,0.10^{-2}$
	Chrome		$3,0.10^{-4}$	$1,0.10^{-4}$	$1,00.10^{-4}$	$2,0.10^{-4}$
	Cuivre		$6,7.10^{-4}$	$4,1.10^{-4}$	$4,10.10^{-3}$	$7,5.10^{-4}$
	Fer		$2,3.10^{-2}$	$8,7.10^{-3}$	$8,80.10^{-3}$	$1,2.10^{-2}$
	Manganèse		$6,0.10^{-4}$	$8,0.10^{-4}$	5.10^{-4}	$< 5,00.10^{-4}$
	Nickel		$9,0.10^{-4}$	$7,0.10^{-4}$	$1,00.10^{-3}$	$7,0.10^{-4}$
	Plomb		$< 5.10^{-5}$	$< 5,00.10^{-5}$	$< 5,00.10^{-5}$	$< 5,00.10^{-5}$
Fraction brute	Zinc		$< 1.10^{-3}$	$< 1.10^{-3}$	$1,46.10^{-3}$	$1,7.10^{-3}$
	Aluminium		$4,0.10^{-1}$	$2,1.10^{-2}$	$8,7.10^{-2}$	$1,6.10^{-1}$
	Chrome		$1,2.10^{-3}$	$2,0.10^{-4}$	$4,0.10^{-4}$	$4,0.10^{-4}$
	Cuivre		$2,6.10^{-3}$	$5,4.10^{-4}$	$1,8.10^{-3}$	$1,3.10^{-3}$
	Fer		$8,2.10^{-1}$	$3,1.10^{-2}$	$2,1.10^{-1}$	$3,4.10^{-1}$
	Manganèse		$5,1.10^{-2}$	$5,2.10^{-3}$	$6,9.10^{-3}$	$1,4.10^{-2}$
	Nickel		$2,0.10^{-3}$	$7,0.10^{-4}$	$1,1.10^{-3}$	$1,1.10^{-3}$
Plomb		$1,8.10^{-3}$	$7,0.10^{-5}$	$5,1.10^{-4}$	$5,9.10^{-4}$	
Zinc		$6,6.10^{-3}$	$< 1.10^{-3}$	$2,4.10^{-3}$	$2,9.10^{-3}$	

Station aval	Paramètres	Unité	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
Fraction soluble	Aluminium	mg/L	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
	Chrome		$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	Cuivre		$8,2 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$
	Fer		$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
	Manganèse		$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
	Nickel		$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
	Plomb		$< 5 \cdot 10^{-5}$	$< 5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$< 5,00 \cdot 10^{-5}$
	Zinc		$< 1 \cdot 10^{-3}$	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Fraction brute	Aluminium	$4,0 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	
	Chrome	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	
	Cuivre	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	
	Fer	$8,2 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	
	Manganèse	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	
	Nickel	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	
	Plomb	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$< 5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	
	Zinc	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	

Commentaires : RAS

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance physico-chimique et hydrobiologique à un organisme reconnu dans le domaine, ARALEP. Sont distinguées la surveillance pérenne, réalisée annuellement, des surveillances en conditions climatiques exceptionnelles (CCE), ne permettant pas de respecter les limites applicables aux rejets thermiques, alors que les réacteurs en circuit ouverts (unités de production n°2 et 3) sont déjà à l'arrêt et que RTE requiert le fonctionnement de la centrale à un niveau de puissance minimal (cf exigence [BUG-161-II] de la décision ASN n°2014-DC-0443).

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

1. Surveillance pérenne

La synthèse du rapport de surveillance, réalisée par le bureau d'études ALAREP, est présentée ci-dessous.

RESUME

Objectifs de la surveillance

Commencé en 1978 le programme de surveillance physico-chimique et biologique du Rhône dans le secteur du Bugey a pour objectifs de suivre l'évolution du milieu récepteur (l'hydrosystème Rhône) et de déceler une évolution anormale d'un ou de plusieurs compartiments qui proviendrait des activités du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Bugey (EDF).

Cette surveillance est basée sur :

- la description des conditions environnementales générales (débit et température de l'eau) et de l'habitat des sites d'échantillonnage des communautés aquatiques ; analyse des écarts de température entre l'amont du CNPE et l'aval (sonde EDF de Loyettes) ;
- des analyses de la qualité physico-chimique de l'eau (échantillonnages mensuels, voire trimestriels pour certains ions majeurs et paramètres de minéralisation ainsi que pour les pigments chlorophylliens – 5 stations) ;
- la surveillance des communautés d'invertébrés benthiques et de diatomées (4 campagnes – 5 stations) ;
- la surveillance de la communauté piscicole (4 campagnes – 7 stations).

Les stations d'échantillonnage se regroupent en trois secteurs : Amont, Rejet et Aval du CNPE, dont l'emprise totale s'étend sur 13 km entre Saint-Vulbas (amont ile de la Fenièrre, PK 50.5) et Loyettes (aval pont, PK 37.5).

Conditions environnementales

L'amont du CNPE de Bugey est un habitat assez courant avec une hétérogénéité des profondeurs. A l'aval du CNPE de Bugey les conditions d'habitat sont légèrement moins courantes qu'à l'amont mais avec une diversité de profondeur comparable. Les conditions d'habitat de la station rejet sont plus lentes.

L'hydrologie du Rhône à Bugey en 2021 se caractérise par une hydraulité légèrement positive (coefficient annuel de 1,09). Le débit journalier moyen a été de 501 m³ s⁻¹, s'échelonnant de 149 m³ s⁻¹ à 1847 m³ s⁻¹ en valeur horaire. La dernière valeur, enregistrée en toute fin d'année, est proche d'une période de retour de la crue décennale. L'année hydrologique 2021 a en effet été marquée par une succession de crues et d'épisodes de hautes eaux assez inédits depuis plusieurs années : outre cette dernière crue, deux crues de retour compris entre 2 et 5 ans ont été enregistrées début février et mi-juillet, tandis qu'un épisode de hautes eaux du niveau de la crue annuelle s'est produit mi-mai, durant l'APAVÉR (i.e. chasses du Haut-Rhône). Ces différents événements ont corrélativement entraîné le dépôt de quantités de limon plus ou moins importantes.

La température 2021 du Rhône à Bugey en amont du CNPE donnée par les enregistrements en continu des SMP EDF est de l'ordre de la valeur inter-annuelle depuis 1980 (12,5°C vs 12,3, soit un coefficient de thermicité de 1,02). Elle s'est échelonnée de 4,3°C à 22,2 en valeur horaire. La valeur 2021 est sensiblement inférieure à la moyenne de la chronique des années 2000 (12,7°C). Si les trois dernières années constituaient des années records en termes de dépassement de la température 20°C, ce seuil n'a été dépassé que

durant 44 jours en 2021, soit moitié moins qu'en 2018 mais très légèrement plus que la moyenne depuis le début de la chronique générale (40 jours).

Le fonctionnement du CNPE se caractérise par le redémarrage des tranches 2 et 3, en arrêt pour maintenance décennale l'année précédente, durant le premier trimestre. La tranche 4 a été à l'arrêt globalement sur l'ensemble du premier semestre tandis que la tranche 5 a, à son tour, été arrêtée totalement courant juillet et l'était toujours en fin d'année.

Physico-chimie

Le constat 2021 reste « classique » : en dehors du phénomène thermique (delta T moyen de nos 12 mesures voisin de 7,5°C en aval immédiat du canal de rejet et de 3°C à Loyettes RD), récurrent d'une année sur l'autre, l'ensemble des autres paramètres montrant peu de discriminations entre les stations. Le fonctionnement et la qualité physico-chimique de l'eau n'apparaissent pas altérés par cet échauffement. Les différences entre stations sont le plus souvent dues à des conditions précises : rejet des STEP de Saint-Vulbas en amont RD et de Saint-Romain-de-Jalionas en aval RG (conductivité et nitrates pour les deux, chlorures et sodium pour la première plus particulièrement) ; influence des phénomènes hydrologiques sur les particules en suspension (138 mg/l en moyenne pour les MES pour les trois dates de juin à août et 105 NFU pour la turbidité).

Concernant le paramètre température, la valeur moyenne enregistrée lors des 12 dates de mesures (mesures ponctuelles instantanées) est significativement inférieure aussi bien à celle de l'an dernier en amont (11,5 vs 13,5°C) que par rapport aux dernières valeurs décennales (13,1°C). Elle se situe également en-dessous de celle de l'ensemble de la chronique de suivi depuis 1980 (12,2°C).

Les valeurs unitaires les plus élevées des différents composés restent essentiellement liées à l'hydrologie via les phénomènes de concentration-dilution et/ou à la production primaire. L'ensemble des stations présente une très bonne qualité des eaux au sens de l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié 27 juillet 2018 permettant d'évaluer l'état chimique des masses d'eau, et/ou du SEQ-Eau pour les paramètres considérés uniquement par celui-ci, en dehors des quelques phénomènes ponctuels mentionnés précédemment.

Diatomées

En 2021, la richesse diatomique globale est de 153 taxons et la richesse unitaire est en moyenne de 37,2 taxons par station, soit sensiblement les moyennes de la chronique d'étude (respectivement 153 et 38,0 taxons). La richesse globale s'inscrit dans une tendance à la hausse depuis 2017. L'année 2021 se démarque aussi par une excellente homogénéité amont/aval (35,9 vs 34,3 taxons en moyenne), la station rejet restant « classiquement » la plus élevée (46,0 taxons en moyenne). L'impact potentiellement négatif de l'APAVÉR n'est pas visible sur ce descripteur.

La note IBD moyenne est de 15,6 (valeur inter-annuelle moyenne 15,1). Elle est similaire en amont et en aval (15,7), très légèrement supérieure à celle du rejet (15,4). Les notes IPS présentent une tendance à être légèrement inférieures à celles de l'IBD, ce qui est une tendance naturelle de cet indice (IPS moyen 14,8). L'indice IDS/E est élevé (3,6 en moyenne) et montre une altération globale modérée.

Depuis la prise en compte de ce descripteur en 2015, l'analyse des peuplements diatomiques du Rhône à Bugey montre une situation très homogène qui se confirme en 2021 et semble se renforcer à certains égards. Cette homogénéité des résultats est à la fois spatiale (entre les stations) et temporelle (depuis le début du suivi). Que l'analyse se base sur les indices, les classes de qualité ou les espèces dominantes, les variations observées restent dans des écarts globalement faibles, indépendamment des conditions hydrologiques et/ou d'échantillonnage. Le fléchissement de la qualité dans le secteur du rejet se confirme également, même si l'écart est toujours réduit, et dont les causes restent récurrentes : impact direct de la température du rejet, présence d'une couche limoneuse importante et permanente recouvrant les substrats en aval immédiat.

La plupart des espèces dominantes (i.e. > 5%) sont ubiquistes et cosmopolites. La cohorte de celles-ci sur les critères d'abondance et d'occurrence en 2021 est très similaire aux années précédentes. Elles constituent le fond diatomique constant du Rhône à Bugey. *Achnantheidium delmontii* (ADMO), espèce invasive et couramment rencontrée depuis le début du suivi, reste l'espèce dominante. La saisonnalité très nette de son développement est confirmée en 2021, en lien possible avec la température de l'eau. Le profil écologique (au sens de l'IBD) des espèces dominantes est homogène et montre une qualité d'eau globalement bonne (classe 5/7). Les espèces dominantes et sub-dominantes (>2%) sont tolérantes aux nutriments et beaucoup moins à la matière organique, résultat conforme celui de l'indice IDS/E et à la chimie du secteur.

Cette année présente donc certaines singularités mais confirme aussi les principales tendances : une richesse en aval immédiat du rejet du CNPE plus élevée et significativement plus faible dans le secteur amont (RG et RD). Les peuplements apparaissent globalement bien équilibrés (indice J') et diversifiés (indice H'). Le niveau de richesse atteint est cohérent avec celui des années précédentes. La tendance à l'homogénéité des notes IBD dans ce secteur du Rhône traduit une qualité de l'eau au sens IBD elle aussi globalement homogène et relativement indifférente au rejet du CNPE, aux fluctuations du milieu ou aux problématiques d'échantillonnage liées au marnage important dans ce secteur.

Macroinvertébrés

L'étude IBGA-DCE 2021 de la macrofaune benthique du Rhône aux environs du CNPE du Bugey a permis d'échantillonner 81 taxons (aux limites systématiques de la méthode, à savoir *a maxima* le Genre), soit 64 taxons en amont (Saint-Vulbas), 68 en aval immédiat du rejet et 65 taxons en aval (Loyettes). Les substrats artificiels déposés en zone intermédiaire sont toujours la technique d'échantillonnage permettant la capture du plus grand nombre de taxons (74) par opposition aux dragages du chenal (40 taxons) et aux filets littoraux (57 taxons).

La baisse constante de la richesse totale semble se stabiliser cette année, en particulier au rejet et en aval où l'on note une légère augmentation par rapport à l'an dernier. La richesse totale moyenne sur la période 2015-2021 décroît progressivement de l'amont vers l'aval et, selon la technique d'échantillonnage, elle est en moyenne supérieure en zone rivulaire (plus protégée) et plus faible dans le chenal (directement soumis au stress hydraulique). Les substrats artificiels déposés en zone intermédiaire, et échantillonnant aussi bien la faune en place que celle en dérive, sont les plus biogènes.

Une baisse tant qualitative (richesse taxonomique) que quantitative (effectifs) est notée ces trois dernières années avec la décroissance constante de la richesse totale depuis le maximum de 110 unités enregistré en 2016 et la diminution continue et généralisée des effectifs. Cette perte taxonomique est d'environ 30% tandis que les effectifs moyens par bords toutes techniques confondues sont cette année moitié moindres (2744 individus vs 5183 en 2019). Si les substrats artificiels déposés en zone intermédiaire, et échantillonnant aussi bien la faune en place que celle en dérive, restent la technique d'échantillonnage la plus biogène et productive, les dragages du chenal sont directement soumis au stress hydraulique inhérent à ce compartiment du fleuve, tandis que la zone rivulaire est fortement impactée par les marnages journaliers liés aux éclusées énergétiques en provenance de l'amont et ainsi peu propice à l'installation durable de peuplements benthiques invertébrés diversifiés et abondants, et cela quelle que soit la station.

Outre les chutes accélérées de la richesse et des effectifs, ces dernières années restent marquées du point de vue taxonomique par la très forte abondance des Crustacés exotiques parmi lesquels *Jaera istri*, apparu en 2017, et *Dikerogammarus villosus* abritent chacun cette année environ 30% des individus, tandis que les Gammarus natifs ne sont plus représentés que par quelques individus. De manière similaire aux années précédentes, quelques taxons concentrent une majorité d'individus, *Jaera*, *Dikerogammarus*, les Chironomes et les Oligochètes représentent ainsi 90% de l'abondance totale. Parmi les 15 taxons sub-résidants > 0,1% à dominants, 6 d'entre eux sont exotiques (2 Crustacés, 2 Mollusques, 2 Vers), représentant 65% des individus. Deux taxons représentatifs du Rhône restent toutefois « classiquement » présents parmi ceux-ci : le Mollusque *Ancylus fluviatilis* et le Trichoptère *Psychomyia pusilla*. L'ensemble de ces 15 taxons abrite 99% de l'abondance 2021.

Parallèlement à cela, on assiste à une chute marquée des effectifs des Insectes appartenant aux métriques EPT (plus représentatifs de conditions lotiques et abritant des taxons plutôt sensibles) et OCH (plutôt représentatifs de conditions lenticules), alors que leur richesse taxonomique reste relativement stable. Ces deux groupes, bien qu'abritant près de 50% de la richesse, n'accueillent que 2% de l'abondance alors que ce chiffre se montait encore à 15% en 2018.

Les substrats artificiels, technique d'échantillonnage utilisée depuis les origines du suivi, en dépit d'un changement de type de substrat à partir de 2015 afin de satisfaire à la méthode DCE (multiplaques Verneaux vs sisal-pierres IBGA) permettent d'appréhender l'évolution temporelle long terme. La tendance générale à l'accroissement de la richesse taxonomique au fil de la chronique de suivi depuis l'origine de celui-ci s'arrête brutalement en 2019 où la richesse chute brutalement quelle que soit la station. Bien que jamais descripteur d'une sensibilité importante des taxons les plus représentatifs, le Groupe Faunistique Indicateur (GFI) était durant plusieurs années représenté par des taxons des groupes intermédiaires, groupes 5 ou 6 (/9) (Hydroptilidae, Heptageniidae, Ephemeridae), soit des taxons plutôt ubiquistes, voire modérément sensibles pour les derniers. De façon identique au paramètre précédent, le niveau de sensibilité moyen du GFI a chuté depuis 2019, très souvent donné dorénavant par les Mollusques (GFI = 2/9). Cette baisse peut s'expliquer par une réduction de l'abondance des taxons les plus sensibles (qui ne sont alors plus pris en considération par la méthode de calcul IBGN), soit dans les cas extrêmes par leur disparition des substrats artificiels, totale ou ponctuelle certaines années (cf taxons du groupe 7 en particulier tels que les Plécoptères Leuctridae ou les Trichoptères Glossosomatidae et/ou

Goeridae). Longtemps globalement synonymes d'une qualité biologique moyenne au sens de l'IQBP, voire très ponctuellement bonne à la station amont, les notes indicielles, issues du croisement des deux informations précédentes, se sont nettement dégradées à partir de 2019 passant en classe de qualité médiocre, voire même mauvaise pour la station aval, suite logique des constats faits pour les deux paramètres précédents. Si ces notes restent médiocres cette année, la station aval RG repasse malgré tout en qualité moyenne (note de 10/20), présentant ainsi une qualité biologique significativement supérieure à celle de la RD échauffée (environ +3°C en moyenne cette année par rapport à l'amont, valeur qui est de l'ordre de la moyenne décennale).

En termes de qualité biologique DCE, le bon potentiel biologique est atteint quelles que soient la station et la date lorsqu'on considère aussi bien les échantillons filets+dragages seuls que l'ensemble des 12 échantillons. L'apport des substrats artificiels permet aux stations rejet et aval d'atteindre la classe très bon en novembre. La station aval retrouve ainsi le bon potentiel qu'elle n'atteignait plus ces deux dernières années alors qu'il était systématiquement atteint jusqu'en 2018.

D'un point de vue méthodologique, la comparaison de la méthode originelle (substrats artificiels et calcul de l'IQBP) et de la méthode DCE permet de mettre en évidence l'apport des différents compartiments (dérive pour les substrats, zone rivulaire pour les filets, chenal pour les dragages) et leur complémentarité. La contribution la plus importante à la note indicielle est apportée par les substrats artificiels échantillonnant le compartiment intermédiaire et la contribution la plus importante à la richesse taxonomique est amenée par la combinaison filets+dragages (i.e. le compartiment rives+chenal).

Poissons

L'image globale du peuplement piscicole du Rhône dans le secteur du Bugey donnée par l'analyse des données issues des pêches de 2021 montre une richesse spécifique plutôt élevée de 28 espèces. Seulement 13 espèces sont systématiquement capturées depuis 2000. Ce fond ichtyologique est ainsi composé de cyprinidés rhéophiles (vairon, vandoise, goujon, chevaine, hotu, barbeau fluviatile et spirilin), de cyprinidés lénitophiles (gardon, brème bordelière et ablette) et de trois espèces principalement piscivores (perche fluviatile, brochet et silure). Les 15 autres espèces qui constituent le peuplement échantillonné sont très peu abondantes (< 10 individus/ha). Ce peuplement est relativement riche compte tenu du potentiel de 32 espèces (i.e. nombre d'espèces capturées depuis 2000) et plutôt équilibré (diversité $H' = 2,0$ et équitabilité $J' = 0,61$). Le nombre total de poissons capturés en 2021 est de 5 504 individus (soit 1 198 ind/ha) et la biomasse estimée totale capturée de 129 kg (26 kg/ha).

En 2021, l'image de la structure du peuplement en abondance par espèce et par campagne de pêche est proche de la structure en biomasse du fait d'une grande majorité de Petits individus (66%) et de la faible abondance de gros individus qui participent de manière importante à la biomasse. Une grande proportion de Petits individus est une image normale d'un peuplement de poissons surtout si, comme dans le cadre de cette étude, l'échantillonnage se concentre le long des berges, habitat principal de jeunes poissons de l'année. Cette structure de peuplement n'est habituellement pas stable dans le temps (i.e. entre campagnes) puisque les individus de l'année sont généralement capturés à partir du mois d'août au plus tôt. En 2021, suite à la forte de crue du début février, de nombreux Petits individus semblent avoir dévalés de l'amont du CNPE et ont été capturés lors de la campagne de mars. A l'inverse,

en août et octobre, après des conditions défavorables pendant la reproduction (hautes eaux, APAVER), le nombre de Petits individus a été anormalement bas. Une légère remontée des abondances a été observée en décembre après que les Petits individus nés tardivement aient atteint une longueur suffisante pour être capturés.

La domination du spiralin dans la composition de l'abondance totale est toujours aussi importante que les années précédentes. Avec celui-ci, 12 espèces ont une abondance supérieure à 5 individus/Ha : le chevaine, le hotu, l'ablette, la brème bordelière, le barbeau fluviatile, le gardon, le goujon, le silure, la tanche, la perche, la perche-soleil et la bouvière. Cette image de la structure du peuplement (en abondance et en biomasse) s'observe aussi bien par campagne, par type de station (amont, aval) et même par station malgré une forte variabilité par espèce. Le recrutement 2021 n'a pas été bon pour l'ensemble des espèces. A l'échelle de la station 10,3 espèces ont été capturées en moyenne, avec une abondance de 179 à 2 555 ind/ha pour les stations 6G et 7 respectivement. Nous observons une forte variabilité des effectifs capturés par Ha pour une campagne donnée pour toutes les stations ainsi que pour une station donnée d'une campagne à l'autre. Cette variabilité spatiale et temporelle des abondances par espèce se retrouve encore à l'échelle des taxons. La variabilité spatiale et temporelle de la composition du peuplement en biomasse est très similaire à ce que révèle l'abondance. Cependant, la capture de quelques gros individus (> 1 kg) peut localement (une station lors d'une campagne) engendrer une très forte biomasse.

Pour évaluer si la structure du peuplement de poissons du Rhône diffère entre l'amont et l'aval du CNPE de Bugey nous pouvons résumer les informations issues de notre échantillonnage de 2021 comme suit :

- L'abondance annuelle est supérieure à l'aval : 2 523 ind/ha vs 911 ind/ha à l'amont.
- L'abondance par campagne confirme le résultat précédent : les abondances de l'aval sont systématiquement supérieures à celles de l'amont lors de chacune des campagnes.
- Sur les 28 espèces capturées, 19 sont plus abondantes à l'aval (66 %) alors que 9 sont plus abondantes à l'amont (34 %).
- Lors de chacune des campagnes, la majorité des espèces ont une abondance supérieure à l'aval : pour les quatre campagnes respectivement, le pourcentage d'espèces plus abondantes à l'aval est de 67 %, 65 %, 63 % et 58 %.
- Lors de chacune des quatre campagnes, les abondances des Petits et des Grands individus sont systématiquement supérieures à l'aval.
- Sur l'ensemble de l'année, la majorité des espèces ont une abondance des Petits et des Grands individus plus élevée à l'aval qu'à l'amont (respectivement 7 vs 1 espèce pour les Petits et 10 vs 2 espèces pour les Grands, les autres espèces ayant une abondance sensiblement identique à l'amont et à l'aval).
- Lors de chacune des quatre campagnes le résultat précédent est confirmé pour chacune des espèces : pour les Grands individus, le pourcentage d'espèces plus abondantes à l'aval qu'à l'amont est de 82%, 55%, 78% et 91% et, pour les Petits individus, il est de 67%, 75%, 78% et 83%.

En conclusion, avec les conditions hydrométéorologiques particulières de l'année 2021, l'aval du CNPE de Bugey semble légèrement plus attractif que l'amont pour l'ichtyofaune bien qu'il soit difficile d'établir la part, dans ce résultat, des différences mésologiques entre l'aval et l'amont.

Conclusion

L'influence du fonctionnement du CNPE de Bugey reste principalement notable au travers du réchauffement engendré en rive droite à l'aval immédiat du site, un échauffement résiduel étant toujours présent à Loyettes en dépit des phénomènes de mélange et de dilution en cours. Le fonctionnement 2021 se caractérise surtout par l'arrêt des réacteurs R4 et R5 au second semestre. Le fonctionnement et la qualité physico-chimique de l'eau ne restent aucunement altérés par l'échauffement engendré par les divers rejets chimiques et thermiques du CNPE.

Du point de vue biologique, l'analyse des peuplements diatomiques du Rhône à Bugey montre une situation très homogène sur les dernières années. Cette homogénéité est à la fois spatiale et temporelle. Les variations observées restent dans des écarts globalement faibles, indépendamment des conditions hydrologiques et/ou d'échantillonnage, aussi bien vis-à-vis des indices que des espèces dominantes. Aucun impact significatif du rejet n'est mis en évidence sur le peuplement diatomique et les analyses ne mettent pas en évidence de plus grande fragilité de ce compartiment et/ou la présence de certaines espèces polluo-tolérantes dans des conditions plus pénalisantes.

Une baisse tant qualitative (richesse taxonomique) que quantitative (effectifs) des peuplements de macroinvertébrés est notée ces dernières années avec la décroissance constante de la richesse totale aux différentes stations (perte taxonomique d'environ 30%) et la diminution continue et généralisée des effectifs (moitié moindre en moyenne par bocal cette année). Il reste toutefois difficile de trancher et d'apporter une explication définitive et satisfaisante, les influences étant multiples (thermie en RD, conditions hydrodynamiques en RG à la station aval, par exemple) et agissant en synergie dans ce type de milieu aménagé et soumis à de multiples stress anthropiques (aménagement physique, éclusées énergétiques, rejets thermiques, etc.). A cela s'ajoute la part de plus en plus grandissante des taxons invasifs qui représentent cette année plus de 65% des individus et le resserrement du pool de taxons constituant la base du peuplement de macroinvertébrés de ce secteur du Rhône puisque 15 taxons abritent 99% de l'abondance totale en 2021.

Même si cette année l'aval du CNPE de Bugey semble légèrement plus attractif que l'amont pour l'ichtyofaune, les conditions hydrométéorologiques particulières de l'année 2021, liées à la forte variabilité spatiale et temporelle des abondances et biomasses par espèce et par taxon, récurrente au fil des années, font qu'il reste difficile, comme le descripteur précédent, d'établir la part, dans ce résultat, et des différences mésologiques et thermiques entre l'aval et l'amont.

Enfin, il faut garder à l'esprit que dans un milieu aménagé et soumis à de nombreux stress anthropiques comme le Rhône (aménagement physique, éclusées énergétiques, rejets thermiques, opérations régulières de chasse des sédiments, etc.), (i) les influences sont multifactorielles et agissent en synergie et (ii) les fluctuations inter-annuelles inhérentes à tout écosystème sont d'autant plus exacerbées. Cela a en particulier été le cas cette année avec des conditions hydroclimatologiques, mais aussi sédimentaires, particulières. Si cela permet de décrire et de suivre des tendances, celles-ci ne sont aucunement définitives mais au contraire particulièrement évolutives d'une année sur l'autre.

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles

La prescription [EDF-BUG-126] de la décision modalités n°2014-DC-0442 prévoit qu'une surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydrobiologique spécifique soit réalisée en cas de dépassement des valeurs limites applicables aux rejets en conditions climatiques normales (cf exigence [EDF-BUG-161] de la décision n°2014-DC-0443).

En 2021, le CNPE du Bugey n'a pas recouru à cette surveillance.

V. Acoustique environnementale

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

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

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

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

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

La Mission Communication du CNPE du Bugey réalise des informations, par le biais du numéro vert du CNPE mais aussi en s'adressant directement aux mairies dans un rayon de 2 km (Saint-Vulbas, Loyettes, Vernas, Hières sur Amby), lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

Le numéro vert permet de retrouver toute l'actualité du CNPE du Bugey, 24 heures sur 24 : 0800 00 01 02.

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

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

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

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

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

À partir des activités annuelles rejetées par radionucléide, une dose 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 site ;
- ils vivent toute l'année à proximité de leur lieu d'habitation (non prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...);
- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du site est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;

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** ».

- on considère que l'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration), et donc qu'aucune rétention de radionucléides n'a été effectuée lors de procédés de traitement ;
- la pêche de poissons dans les fleuves à l'aval des sites est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

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

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

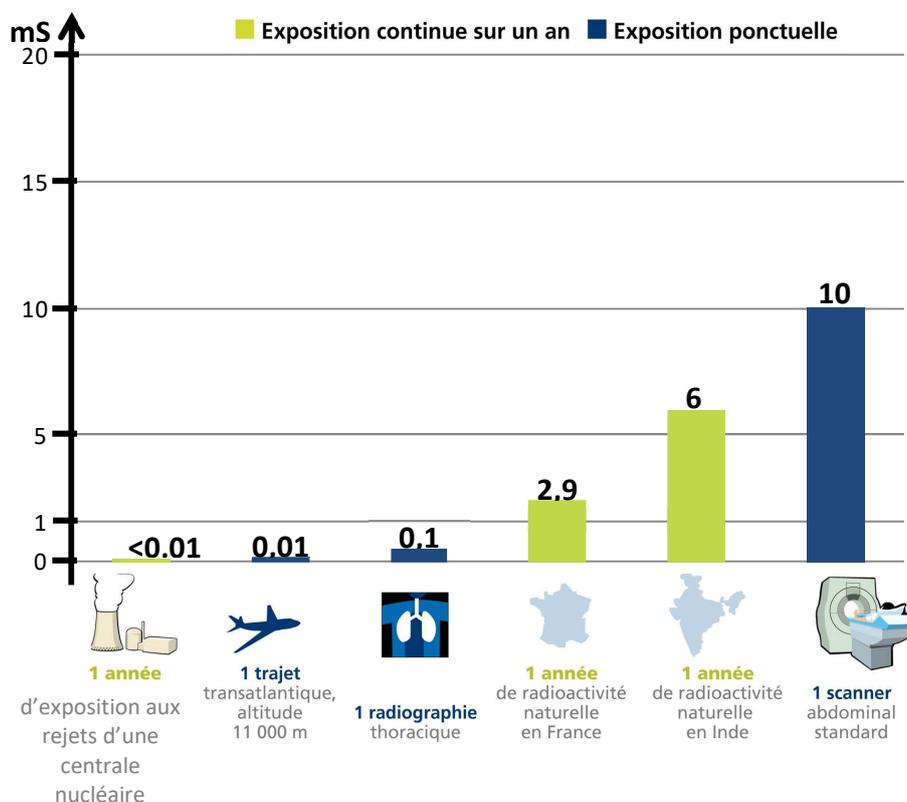


Figure 5 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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 6 ci-après.

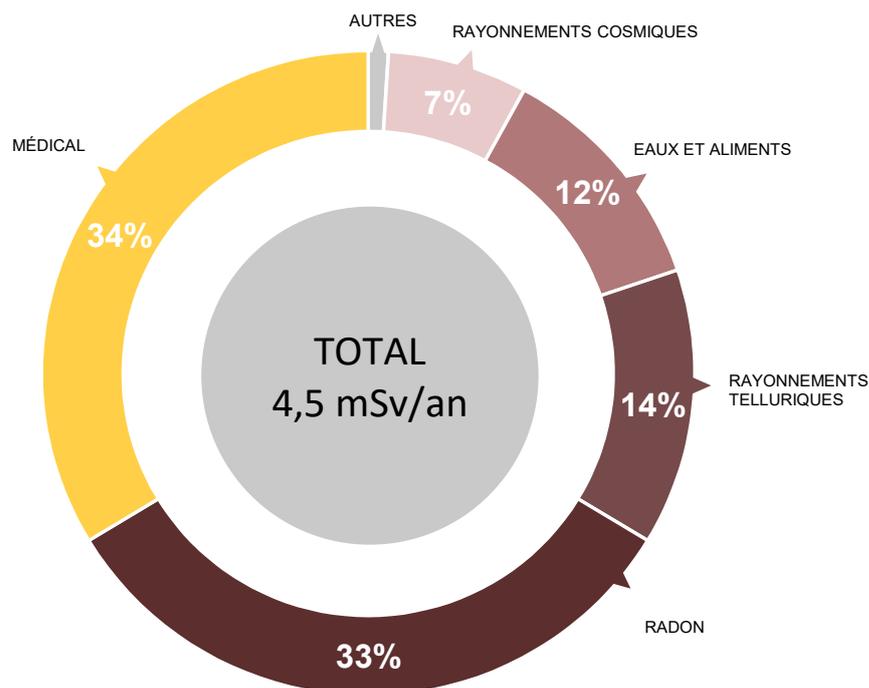


Figure 6 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

Les tableaux suivants fournissent les valeurs de dose efficace totale calculées à partir des rejets radioactifs réels de l'année 2021 effectués par le site du Bugey, pour la personne représentative. Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés du site.

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Rejets d'effluents liquides	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
Total	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Rejets d'effluents liquides	s.o.	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$
Total	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$
Rejets d'effluents liquides	s.o.	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Total	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$

Les valeurs de doses calculées sont inférieures à $1 \cdot 10^{-4}$ mSv/an pour l'adulte et l'enfant de 10 ans et $1 \cdot 10^{-3}$ mSv/an 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 2021 sont plus de 1 000 fois inférieures à la limite d'exposition fixée à 1 mSv par an pour la population, par l'article R1333-11 du Code de la Santé Publique. L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du site est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne les déchets de haute et moyenne activité « à vie longue », la solution industrielle de gestion à long terme retenue par la loi du 28 juin 2006 est celle du stockage géologique (projet Cigéo, en cours de conception). Les déchets déjà existants sont entreposés en toute sûreté sur leur lieu de production et commencent progressivement à être transférés à l'ICEDA (Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés) en service depuis septembre 2020.

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

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

2. Le transport des déchets

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

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

DE LA CENTRALE AUX CENTRES DE TRAITEMENT ET DE STOCKAGE

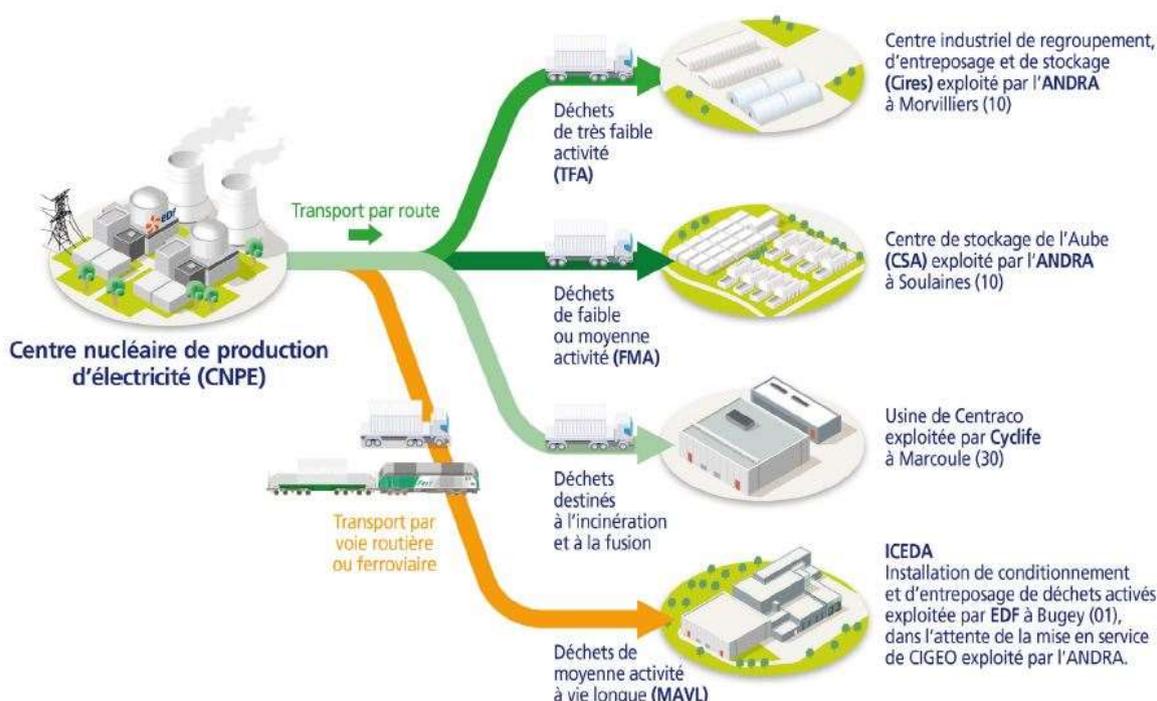


Figure 7 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposées au 31/12/2021

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2021 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Bugey

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	391 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	23 tonnes	Effluents du lessivage chimique, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	58 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	220 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 2021 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Bugey

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Type d'emballage
TFA	71 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	88 colis	Coques béton
FMAVC	377 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	6 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2021 pour les 4 réacteurs en fonctionnement du CNPE du Bugey.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	130
CSA à Soulaines	719
Centraco à Marcoule	4141
ICEDA au Bugey	0

En 2021, 4 990 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco, Andra ou ICEDA).

Le tableau suivant présente les quantités de déchets en attente de conditionnement au 31 décembre 2021 pour l'unité Bugey 1 en déconstruction.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021
TFA	24 tonnes
FMAVC (Liquides)	8 tonnes
FMAVC (Solides)	17 tonnes
FAVL	0 tonnes
MAVL	0 objets

Le tableau suivant présente les quantités de déchets conditionnés en attente d'expédition au 31 décembre 2021 pour l'unité Bugey 1 en déconstruction.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Type d'emballage
TFA	18 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	0 colis	Coques béton
FMAVC	63 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	1 colis	Autres (caissons, pièces massives...)

Le tableau suivant présente le nombre de colis évacués et les sites d'entreposage en 2021 pour l'unité Bugey 1 en déconstruction.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	329
CSA à Soulaines	1
Centraco à Marcoule	242
ICEDA au Bugey	0

En 2021, 572 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco, Andra ou ICEDA).

Le tableau suivant présente les quantités de déchets induits par le fonctionnement de l'ICEDA en attente de conditionnement au 31 décembre 2021.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021
TFA	323 kg
FMAVC (Liquides)	0 kg
FMAVC (Solides)	0 kg
FAVL	0 kg
MAVL	0 kg

En 2021, l'ICEDA a produit 323 kg de déchets radioactifs.

L'ICEDA n'a aucun déchet conditionné en attente d'expédition au 31 décembre 2021 et n'a évacué aucun colis en 2021.

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 2021 par les INB d'EDF.

Quantités 2021 en tonnes	Déchets dangereux		Déchets non dangereux non inertes		Déchets inertes		Total	
	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés	Produits	Valorisés
Sites en exploitation	11 316	9 782	41 512	34 966	124 577	124 502	177 404	169 250
Sites en déconstruction	135	44	964	878	1 618	1 618	2 717	2 540

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 reste conséquente en 2021 du fait d'importants chantiers, liés notamment aux chantiers de modifications post Fukushima, au projet Grand Carénage, ainsi qu'à des chantiers de voirie, d'aménagement des zones d'entreposage, de parkings, de bâtiments tertiaires et des chantiers de rénovation des systèmes de traitement des eaux usées. Les productions de déchets dangereux et de déchets non dangereux non inertes restent relativement stables.

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

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

En 2021, les 4 unités de production du CNPE du Bugey ont produit 9 163 tonnes de déchets conventionnels : 97 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

Concernant l'unité en déconstruction Bugey 1, 138 tonnes de déchets conventionnels ont été produites en 2021. 74 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

Concernant ICEDA, 5,8 tonnes de déchets conventionnels ont été produites. Ces déchets sont par la suite gérés par la déchetterie du CNPE et font l'objet soit d'un recyclage, soit d'une valorisation.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

ANNEXE 1 : Suivi microbiologique du CNPE du Bugey Année 2021

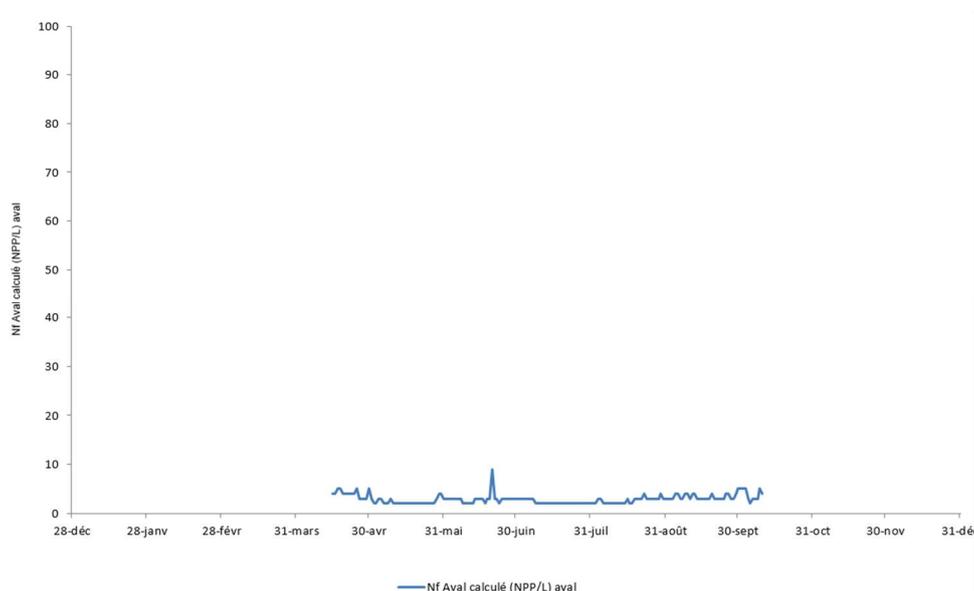


Figure 8 : Amibes calculées à l'aval dans le Rhône en 2021 (source : EDF)

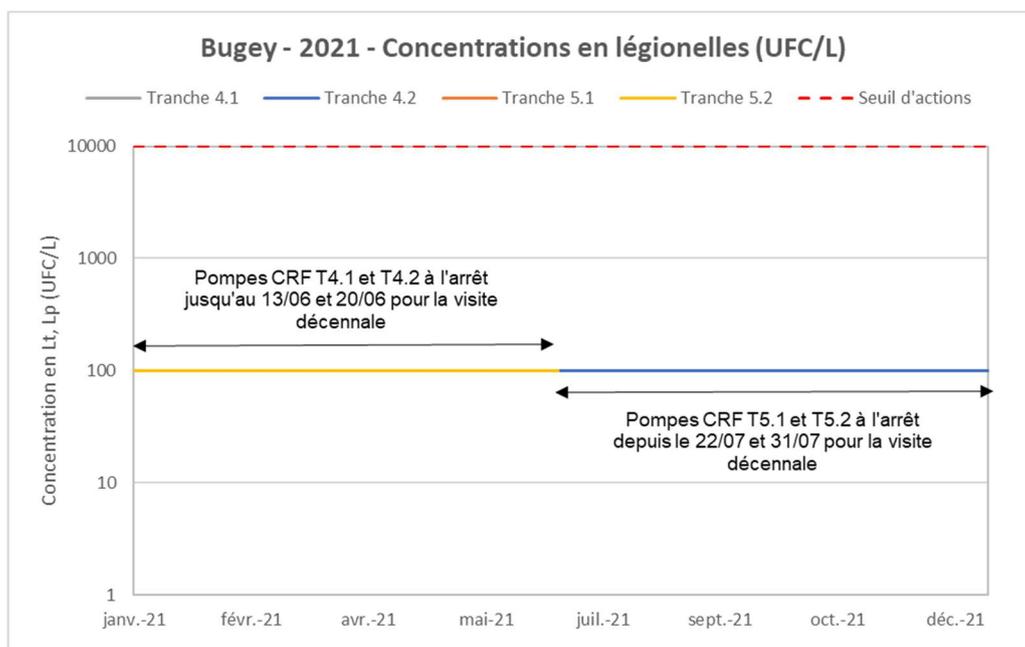


Figure 9 : Légionelles mesurées dans les bassins des 4 circuits de refroidissement semi-fermés (Source : EDF)

Aucune légionelle n'a été détectée en 2021 dans les bassins des circuits de refroidissement des tranches 4 et 5 du CNPE de Bugey. Dans le cadre des visites décennales des réacteurs, les pompes CRF des tranches 4.1 et 4.2 ont été arrêtées de janvier à mi-juin et les pompes CRF des tranches 5.1 et 5.2 ont été arrêtées à partir du mois d'août.

**ANNEXE 2 : Suivi radioécologique annuel du CNPE du
Bugey Année 2020**



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

RAPPORT

SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ANNUEL DES CNPE DU RHONE ET DU SITE EN DEMANTELEMENT DE CREYS- MALVILLE

ANNEE 2020

Pôle santé et environnement

Rapport IRSN N° 2022-00075

RÉSUMÉ

L'objectif du suivi radioécologique des CNPE implantés le long du Rhône et du site en démantèlement de Creys-Malville est de caractériser les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche de ces sites dans des matrices représentatives des compartiments terrestre et aquatique. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence des radionucléides observés dans l'environnement des sites et d'analyser l'évolution temporelle de leurs niveaux d'activité dans ces matrices.

Pour le compartiment terrestre, le ^{137}Cs est le seul radionucléide émetteur gamma détecté dans la quasi-totalité des échantillons, à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées atmosphériques globales anciennes (essais aériens d'armes nucléaires et accident de Tchernobyl). Pour l'année 2020, les rejets de tritium à l'atmosphère réalisés par les sites nucléaires implantés sur le Rhône, excepté le CNPE de Bugey et le site en démantèlement de Creys-Malville, marquent les échantillons prélevés dans leur environnement immédiat. Les niveaux de ^{14}C mesurés dans les grains de maïs collectés à proximité du site du Bugey et irrigués par l'eau du Rhône prélevée en aval du CNPE du Bugey attestent, pour la première fois, d'un marquage de l'environnement aquatique par les rejets d'effluents liquides du CNPE du Bugey.

Pour le compartiment aquatique, le ^{137}Cs est mesuré dans presque tous les échantillons prélevés et analysés. Si sa présence est pour l'essentiel héritée des retombées atmosphériques globales anciennes (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl), une contribution des rejets liquides des CNPE ne peut être exclue, même si celle-ci ne peut être quantifiée. En effet, la présence d'autres radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle (^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) mesurés dans des échantillons prélevés en aval des sites de Bugey, Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil, Cruas-Meyssse et Tricastin attestent du marquage de l'environnement aquatique par les rejets d'effluents liquides de ces sites. L'environnement aquatique présente également un marquage en tritium dont l'origine peut être attribuée aux rejets liquides des différentes installations rhodaniennes ainsi qu'aux activités passées de l'industrie horlogère. En effet, d'une part plusieurs résultats de mesure sont supérieurs au bruit de fond observé à distance de tout apport industriel, d'autre part les échantillons prélevés en aval présentent dans leur majorité des activités supérieures à celles mesurées dans les échantillons prélevés en amont. Un marquage en ^{14}C est également mis en évidence en milieu aquatique depuis l'aval du CNPE de Bugey jusqu'en aval du Tricastin. Les échantillons de poissons prélevés dans la partie aval du Rhône présentent les activités les plus importantes, en relation possible avec le cumul des rejets.

0 OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) pour effectuer un bilan radioécologique annuel de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Électricité (CNPE) du Rhône et du site en démantèlement de Creys-Malville.

L'objectif de cette étude est de caractériser, chaque année, les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche des CNPE du Rhône (Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin) et du site en démantèlement de Creys-Malville dans un grand nombre de matrices des compartiments terrestre et aquatique et pour un large spectre de radionucléides. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence de ces radionucléides observés dans l'environnement et d'analyser l'évolution de leurs niveaux d'activité dans les matrices au cours de la dernière décennie.

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

La stratégie de prélèvements et d'analyses est commune à l'ensemble des sites. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de prélèvement ont été définies en fonction du régime éolien local en milieu terrestre et en fonction de l'hydrodynamisme local en milieu aquatique (Annexe 1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexe 2 et Annexe 5). Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de la dernière décennie. Les matrices prélevées tiennent également compte de la réglementation applicable à chaque CNPE.

L'ensemble des analyses sont réalisées à fréquence annuelle, ainsi qu'à fréquence trimestrielle pour le ^{14}C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 3), voire quinquennale pour quelques techniques plus pointues. Dans la plupart des matrices collectées, une analyse gamma, une analyse de tritium organiquement lié voire de tritium libre et une analyse de ^{14}C sont réalisées (Annexe 4, Annexe 7, Annexe 8 et Annexe 10). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 4). L'analyse des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de caractériser les échantillons prélevés, de vérifier la qualité des prélèvements et des analyses. Les méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyses des échantillons mises en œuvre aux fins de la présente étude sont détaillées en annexes (Annexe 5 à Annexe 7).

2 ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE DU RHÔNE ET DU SITE EN DÉMANTÈLEMENT DE CREYS-MALVILLE

La présence de radionucléides artificiels dans les milieux terrestre et aquatique autour des CNPE du Rhône et du site en démantèlement de Creys-Malville résulte des retombées atmosphériques globales liées aux essais nucléaires aériens dans l'atmosphère, des rentrées atmosphériques de satellites artificiels, des utilisations médicales de sources radioactives, des peintures luminescentes utilisées dans l'industrie horlogère, des rejets d'effluents des installations nucléaires (Figure 1 page 16) ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi.

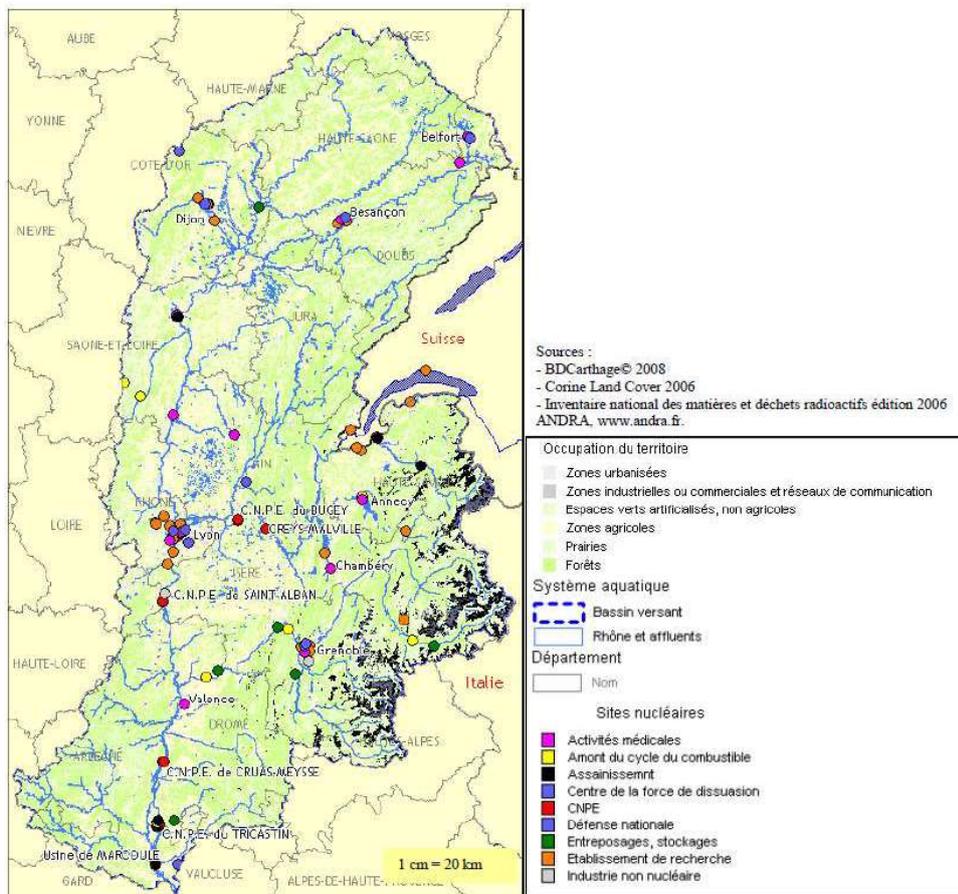


Figure 1 – Localisation des sites détenant des radionucléides dans le bassin versant du Rhône

2.1 Radionucléides d'origine naturelle

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

2.1.1 Origine tellurique

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

2.1.2 Origine cosmogénique et comportement du tritium et du ^{14}C

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

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

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le ^3H (période radioactive : 12,312 ans [2]) est intimement lié au cycle de cet élément dans l'environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée (HTO et TED après déshydratation de la matière organique), ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques et, de ce fait rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. En situation d'équilibre, il ne s'accumule pas dans tel ou tel composant environnemental ou biologique. Ainsi, les activités en tritium métabolisé dans la matière organique (tritium organiquement lié, TOL) sont généralement à l'équilibre avec les activités en HTO [3-5]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq.L⁻¹.

S'agissant du ^{14}C (période radioactive : 5 700 ans [2]), en milieu terrestre, les observations permettent de montrer que l'activité spécifique, exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total (Bq.kg⁻¹ C), est en équilibre dans les composantes de l'environnement, notamment avec celle du CO₂ atmosphérique. Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO₂ atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 Bq.kg⁻¹ C [6].

2.2 Radionucléides d'origine artificielle

2.2.1 Retombées des essais nucléaires aériens et des chutes de satellites

Entre 1945 et 1980, les États-Unis d'Amérique, l'Union Soviétique, la France, la Grande-Bretagne et la Chine ont procédé à plus de 500 essais nucléaires aériens, l'essentiel de la puissance ayant été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962 [7]. Les particules radioactives libérées dans la troposphère et la stratosphère au cours de ces essais sont retombées sur l'ensemble du globe, mais en raison de la localisation des sites d'essais, l'hémisphère nord a reçu la majorité des retombées radioactives issues de ces essais. En France métropolitaine, les retombées de ces essais ont été globalement homogènes et constituent la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement.

En termes d'activité, les dépôts les plus importants concernent les radionucléides à vie courte. Ainsi, en France, les dépôts de ^{131}I , de ^{95}Zr , de $^{144}\text{Ce/Pr}$ et de $^{106}\text{Ru/Rh}$ (périodes radioactives respectives de 8,0233, 64,032, 285,0 et 371,5 jours [2]), aujourd'hui disparus, ont été 10 fois plus importants que les dépôts de radionucléides à vie moyenne (^{90}Sr et ^{137}Cs , de 28,80 et 30,05 ans de périodes radioactives respectives [2]). Les dépôts de radionucléides à vie longue (^{241}Am ¹, ^{14}C , ^{240}Pu et ^{239}Pu , de 432,6, 5 700, 6 561 et 24 100 ans de périodes respectives [2]) ont été comparativement très faibles [8]. Le ^{137}Cs , le ^{90}Sr , le ^{238}Pu , le $^{239,240}\text{Pu}$ et l' ^{241}Am sont encore détectés aujourd'hui dans de nombreux compartiments. Leurs faibles décroissances radioactives et, pour certains, leurs faibles mobilités dans les sols entretiennent un marquage ne diminuant que lentement depuis le milieu des années 1960 [8]. Dans une moindre mesure, la désintégration de onze satellites artificiels lors de leur entrée dans l'atmosphère, entre 1964 et 1996, a provoqué la dispersion dans l'atmosphère terrestre de ^{238}Pu , de ^{235}U et de leurs produits de fission, puis leurs retombées sur l'ensemble de la planète. Pour ces radionucléides, l'activité rémanente des retombées anciennes constitue, dans le cadre de la présente étude, un bruit de fond radiologique dont les valeurs sont présentées dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français [1] et plus brièvement ci-dessous. En 2018, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ^{137}Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 Bq.m⁻² [9], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ^{137}Cs . Elles ont été augmentées par les retombées de l'accident de Tchernobyl (voir

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

paragraphe suivant). En comparaison, celles de l'accident de Fukushima-Daiichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Le ^3H a été massivement émis lors des essais nucléaires aériens. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décliné à moins de 10 Bq.L^{-1} dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L^{-1} [10-13] (Figure 2 page 18).

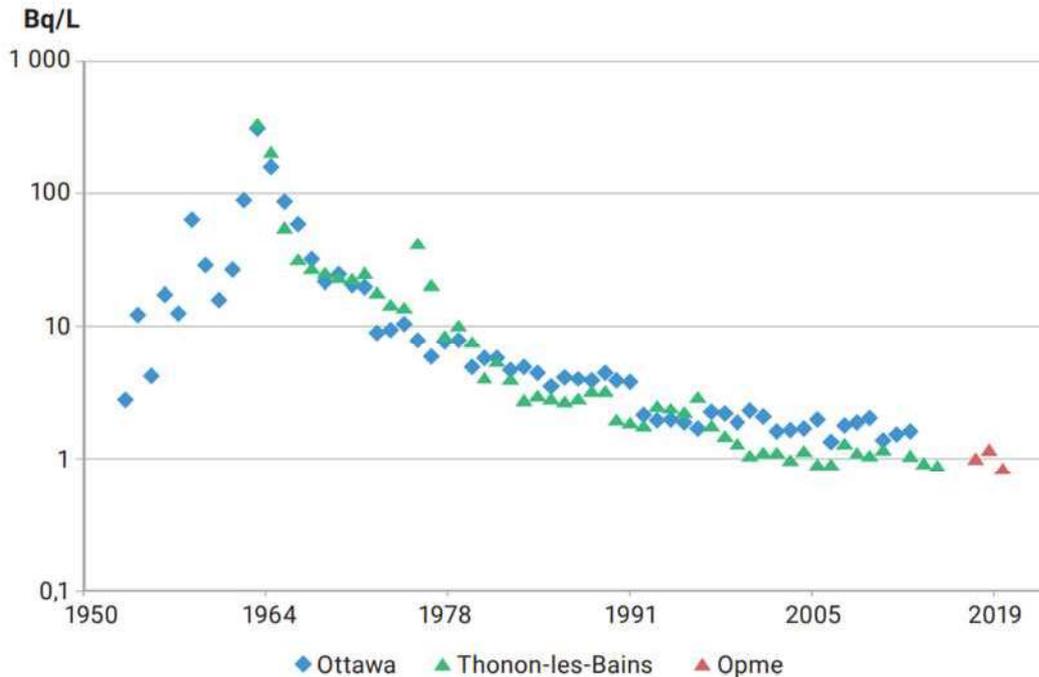


Figure 2 - Activités de ^3H dans l'eau de pluie d'après [14].

Les valeurs acquises pour les eaux des cours d'eau français en dehors des zones d'influence des rejets industriels (tête de bassin versant ou hydro-systèmes non nucléarisés) sur la même période ne présentent pas de différence significative par rapport aux niveaux observés dans les eaux de pluie ($1,4 \pm 0,4 \text{ Bq.L}^{-1}$) [15]. Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO et TED exprimées en Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, abrégé en Bq.L^{-1} ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimée en Bq.L^{-1} de combustion, abrégé en Bq.L^{-1} EC). Hors influence industrielle locale, les formes libres (HTO et TED) sont à l'équilibre avec les niveaux atmosphériques actuels. Le bruit de fond radiologique du tritium libre et du tritium organiquement lié en milieu terrestre hors influence d'un rejet est de l'ordre de $1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ en France métropolitaine (dans une gamme allant de $0,39$ à $1,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ pour le TOL, et de $0,5$ à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et le TED d'après [14]) pour les matrices annuelles, proche des activités en tritium libre de la vapeur d'eau atmosphérique.

Les essais nucléaires aériens ont également conduit à l'époque à doubler les quantités de ^{14}C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C a atteint plus de $400 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des rejets de CO_2 dans l'atmosphère liée à l'utilisation grandissante de combustibles fossiles, dépourvus de ^{14}C [16]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à $255 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ [17]. En 2020, elle est proche de $224 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$, de l'ordre de grandeur de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens ($226,0 \pm 1,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) [1] (Figure 3 page 19).

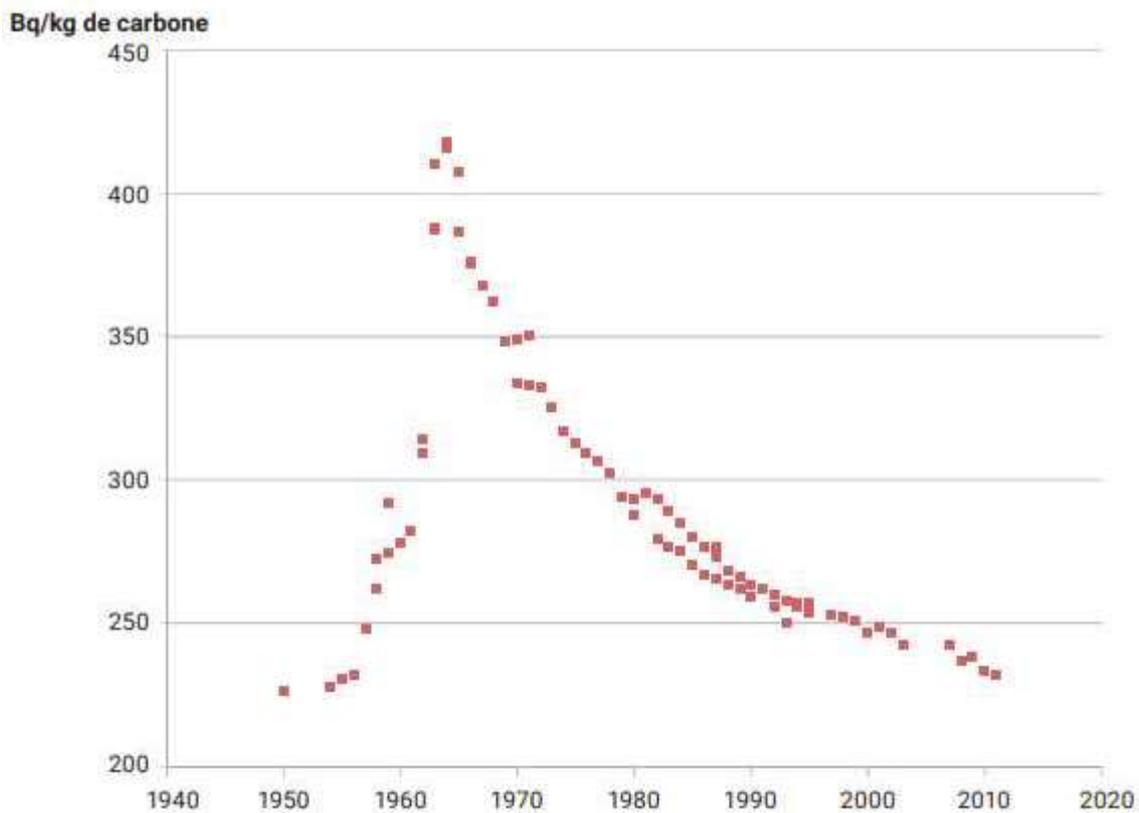


Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [14]).

Le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 180 et 220 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ [6].

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

2.2.2 Retombées de l'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl (Ukraine), en service depuis 3 ans, explose accidentellement lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission dans l'atmosphère de produits de fission et d'activation jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Pendant dix jours, près de 107 TBq sont libérés dans l'environnement, la majorité des radionucléides émis ayant une période radioactive inférieure à un mois. Jusqu'à la mi-mai 1986, la dispersion du panache radioactif dissémine divers radionucléides sur la plupart des pays d'Europe. La dispersion du panache radioactif s'accompagne d'une dilution de l'activité volumique des radionucléides artificiels au sein de celui-ci. Ainsi, l'activité mesurée au sein du panache au voisinage du réacteur accidenté, de l'ordre de 107 Bq/m^3 , n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m^3 lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et sept ont principalement été mis en évidence sur le territoire français (^{103}Ru , $^{106}\text{Ru/Rh}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{132}Te , ^{134}Cs et ^{137}Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de

Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire et, plus particulièrement, la moitié est de la France. La Figure 4 page 20 présente la répartition des activités surfaciques estimées en ^{137}Cs dans la vallée du Rhône issues de la rémanence de ces retombées. De nos jours, seul le ^{137}Cs est encore mesurable [18].

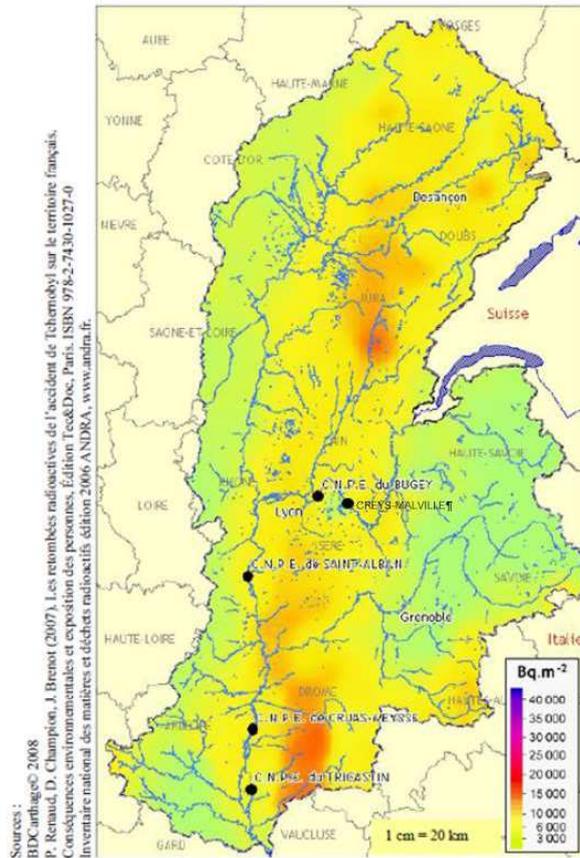


Figure 4 – Activités surfaciques de ^{137}Cs , calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [19], sur le bassin versant de la zone d'étude.

2.2.3 Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

Les dépôts issus des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima-Daiichi survenu le 11 mars 2011 ont été de 500 à plus de 1 000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl (Figure 5 page 21). Les résultats des analyses réalisées sur le territoire métropolitain par l'IRSN et les exploitants nucléaires ont montré la présence de ^{131}I , de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [20]. Du fait de sa courte période radioactive (8,0233 jours [2]), ^{131}I a rapidement disparu de l'environnement. Le ^{134}Cs , dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,0644 ans [2]), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ^{137}Cs sont difficilement imputables à ce seul évènement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide dans le bassin versant rhodanien.

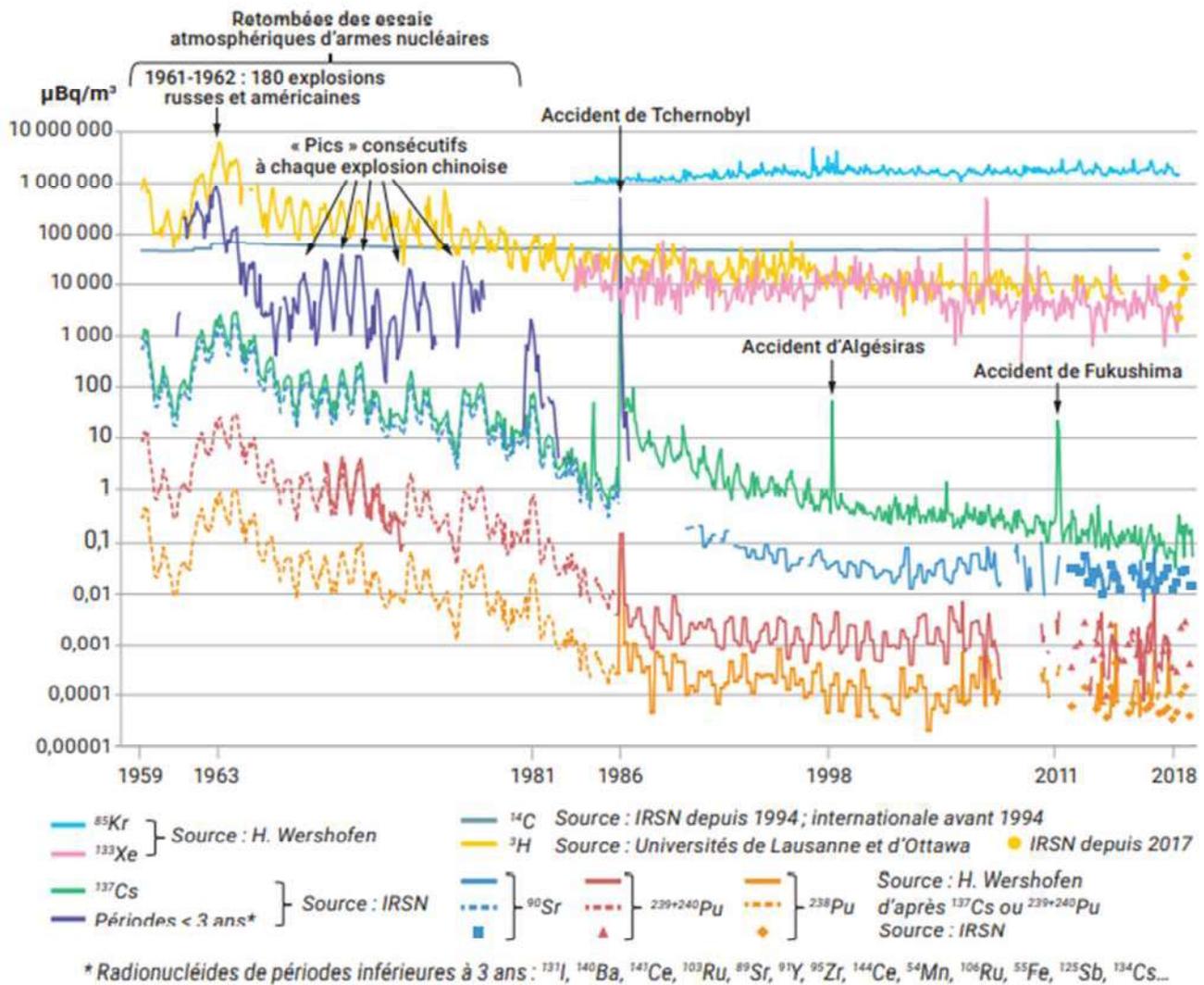


Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années [14].

2.2.4 Installations nucléaires exploitées par EDF

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

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des CNPE comprennent notamment le tritium, le ¹⁴C, l'⁴¹Ar, les xénon métastables 131, 133 et 135, le ⁸⁵Kr, les ¹³¹I et ¹³³I, les ⁵⁸Co et ⁶⁰Co et les ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs. Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ¹⁴C, les ⁵⁸Co et ⁶⁰Co, le ⁶³Ni, les ¹⁴²Sb et ¹²⁵Sb, les ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs, le ⁵⁴Mn, l'^{110m}Ag, le ^{123m}Te, et l'¹³¹I sont prépondérants. Le ⁵⁵Fe et l'^{108m}Ag sont rejetés dans une moindre mesure.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans les cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN un évènement intéressant l'environnement pour l'année 2020.

2.2.5 Autres activités

Le bassin versant du Rhône accueille l'ensemble du cycle du combustible, depuis son enrichissement jusqu'à son utilisation dans les 4 CNPE en fonctionnement. On note également la présence du site de Pierrelatte (enrichissement, etc.) et de Marcoule (production de combustible, recherche sur les déchets radioactifs, etc.) dans la partie sud du fleuve. Le site de Valduc (recherche et production d'armes nucléaires) est localisé sur le bassin versant de la Loire mais ses rejets atmosphériques marquent l'environnement terrestre et aquatique du bassin versant du Rhône.

Outre la filière énergétique, plusieurs unités hospitalières sont également présentes sur le territoire étudié à Lyon, Valence, Annecy, Chambéry et dans d'autres agglomérations du bassin versant de la Saône. Parmi les principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, le ^{99m}Tc (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6,01 heures) et ^{131}I (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,02 jours) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [21]. L' ^{131}I ainsi introduit dans l'environnement via les urines et les selles des patients traités peut être détecté dans les stations d'épuration et en aval des celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, ^{131}I peut être mesuré dans les végétaux. On compte également de nombreux centres de recherche utilisant des produits radioactifs, notamment autour des agglomérations lyonnaise et grenobloise. Enfin, dans le Haut-Rhône et le Doubs, les déchets de peintures luminescentes notamment de l'industrie horlogère utilisant du tritium jusque dans les années 1990, ont contribué au marquage encore actuel de l'environnement aquatique. Les autres installations présentées sur la Figure 1 page 16 représentent des sources de radionucléides négligeables par rapport aux apports ci-dessus.

3 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE

3.1 Climatologie

Du nord au sud, les CNPE situés dans la vallée du Rhône présentent des caractéristiques météorologiques diverses, d'abord marquées par une influence continentale (site du Bugey et de Creys-Malville) qui se traduit par des inter-saisons pluvieuses et un hiver plus sec, laissant progressivement place à l'influence méditerranéenne. Celle-ci se caractérise par des pluies d'automne pouvant donner lieu à des cumuls importants de précipitations. Les vents dominants proviennent du nord sur l'ensemble des CNPE rhodaniens avec cependant une prédominance plus nette dans la zone des sites du Tricastin et de Cruas-Meyssse.

3.2 Géologie et hydrogéologie

Les CNPE du Rhône sont situés dans la plaine alluviale du fleuve et reposent sur des alluvions quaternaires dont l'épaisseur varie de 2,5 m à environ 10 m suivant les sites. Cette couche est généralement constituée de sédiments sablo-graveleux, s'affinant vers la surface du fait des dépôts limoneux ou limono-sableux liés aux débordements des eaux lors des crues récentes du fleuve.

Sous les alluvions modernes, on trouve, sur le site du Bugey, un horizon intermédiaire épais de plusieurs dizaines de mètres et constitué d'argile sur la partie supérieure et de galets reliés entre eux par un ciment sableux ou sablo-argileux sur la partie inférieure. Cet horizon recouvre une formation de molasse ayant une centaine de mètres d'épaisseur au niveau du site et constituée de sables, de grès sableux, de lits silteux bruns et de quelques niveaux de grès francs. Au niveau de Saint-Alban, on retrouve des formations pliocènes et miocènes qui

recouvrent le socle cristallin avec une épaisseur très variable sur cette zone. À Cruas-Meysses, en revanche, la stratigraphie est relativement simple car les alluvions récentes recouvrent de puissants bancs calcaires du Jurassique et du Crétacé inférieur qui se développent sur environ 3 500 mètres d'épaisseur. Au niveau du site du Tricastin, les dépôts marneux du Pliocène s'intercalent entre les alluvions quaternaires en surface et les formations marno-calcaires du Crétacé sous-jacentes.

3.3 Hydrographie et hydrologie

Le Rhône est l'un des plus grands fleuves métropolitains français par la taille de son bassin versant (environ 98 000 km²) et par son débit moyen annuel (environ 1 800 m³.s⁻¹ à Beaucaire, en amont immédiat de son delta). Le cours du fleuve (522 km en France) est aujourd'hui largement contraint par les aménagements hydro-électriques qui le jalonnent depuis son entrée en France jusqu'à son débouché en Méditerranée (barrages, seuils, centrales hydroélectriques). Du lac Léman à l'amont du Bugey, seuls le Fier et l'Arve viennent grossir les eaux du Rhône qui présente alors un débit moyen de l'ordre de 450 à 600 m³.s⁻¹. Entre Le Bugey et Saint-Alban, le Rhône est alimenté par les eaux de l'Ain et surtout de la Saône, principal affluent du fleuve. Son débit moyen annuel augmente alors à 1 040 m³.s⁻¹ à Ternay. Plus au sud, entre Saint-Alban-Saint-Maurice-L'Exil et Cruas-Meysses, ce sont la Drôme et l'Isère, situées en rive gauche, qui constituent les affluents principaux du Rhône. À Valence, le débit moyen annuel est d'environ 1 410 m³.s⁻¹. Entre Cruas-Meysses et Le Tricastin, aucun affluent n'alimente le fleuve. Enfin, l'Ardèche se jette dans le Rhône en aval immédiat du CNPE du Tricastin, bientôt rejoint par l'Ouvèze, la Durance et le Gardon. La diversité des bassins versants drainés et des conditions hydrologiques des affluents qui alimentent le Rhône conduisent à des débits variables à l'échelle intra et interannuelle. Si à l'amont des débits sont relativement plus élevés en été, soutenus par les affluents alpins, vers l'aval les affluents méridionaux contribuent à l'alternance d'étiages marqués en été avec des crues soudaines et parfois intenses d'un point de vue hydrologique et sédimentaire de l'automne au printemps. Ainsi, les débits enregistrés à Beaucaire (dernière station hydrométrique avant l'entrée du fleuve dans son delta) varient de 350 m³.s⁻¹ en étiage à plus de 10 000 m³.s⁻¹ en crue.

5 ÉTAT RADIOLOGIQUE DU CNPE DE BUGEY

5.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE du Bugey est situé en rive droite du Rhône, à environ 40 km à l'est de Lyon (Figure 9 page 60). Il est composé d'une tranche de 500 MWe de la filière des réacteurs Uranium Naturel Graphite-Gaz (UNGG) arrêté le 27 mai 1994 ainsi que de quatre tranches de 900 MWe de la filière des réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.), couplées au réseau en mai 1978, septembre 1978, mars 1979 et juillet 1979. L'installation en déconstruction de Creys-Malville est située à 34 km à l'amont du CNPE du Bugey sur le Rhône. Sur la frontière franco-suisse sont implantées les installations du CERN dont le grand collisionneur de hadrons. Des services de médecine nucléaire, utilisant de ^{131}I , sont situés en amont du Bugey, à Annecy, Chambéry et Genève.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans le cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'ASN. L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènement intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre de ce suivi annuel.

La dispersion des rejets des effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques (des vents nord-ouest dominants et sud secondaires, cf. page 60).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE du Bugey est présentée sur la Figure 8 page 55.

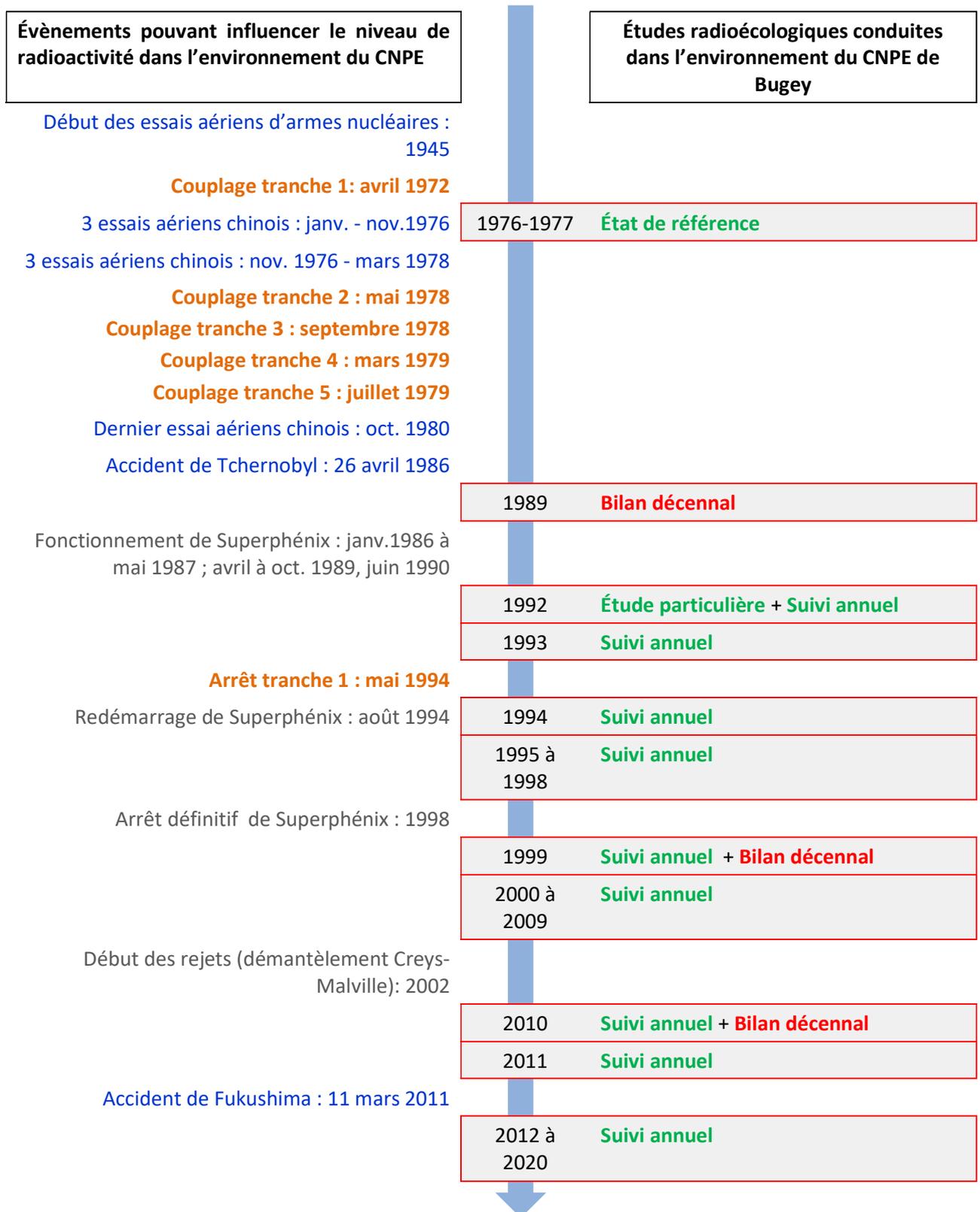


Figure 8 – Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE du Bugey

5.2 État radiologique de l'environnement terrestre

5.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont présentées à la Figure 9 page 60.

Les caractéristiques (dates, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon analysé sont présentées dans le Tableau 23 page 57 et suivantes.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles et herbe), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons bioindicateurs pour le suivi des niveaux de radioactivité de l'environnement et caractériser d'éventuels marquages. Du lait de vache est collecté, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe et un lait sont prélevés sous les vents dominants (ZI). Hors vents dominants (ZNI), une mousse, un sol de prairie, de l'herbe et plusieurs productions agricoles sont collectés.

Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier la position, le nombre ou les analyses réalisées.

Dans la stratégie 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Des échantillons de productions agricoles (maïs et salade), de lait, d'herbe et de sol de prairie sont prélevés sous les vents dominants, au sud de l'installation (Vernas, Leyrieu et « Loyettes carrières"). Les maïs prélevés au lieu-dit Les Brotteaux à Loyettes, à l'ouest du CNPE, sont potentiellement influencés par les rejets d'effluents liquides du CNPE, via l'eau d'irrigation prélevée dans le Rhône. Il en est de même pour les maïs prélevés à Loyettes Carrières. Les prélèvements de maïs, d'un sol de prairie et de salades ont été mesurés en spectrométrie gamma. Le tritium libre et le tritium organiquement lié ont été recherchés dans les salades, les maïs et l'herbe. Ces matrices ont fait l'objet d'une mesure en ^{14}C , excepté l'herbe qui fait l'objet de quatre mesures (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2020 ainsi que dans le rapport du suivi radioécologique annuel de l'année 2021. Une mesure en spectrométrie alpha a également été réalisée sur les prélèvements d'herbe. Le lait prélevé à Leyrieu a fait l'objet d'une mesure de tritium libre et de ^{14}C .

Tableau 23 – Identification des échantillons analysés dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique de 2020

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2,23 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	05,26334	45,78029	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	07/07/2020	Gamma (Sec)	1,06	-
2,23 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	05,26334	45,78029	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/eulyo	07/07/2020	H-3 libre (Liquide)	2,41	-
2,23 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	05,26334	45,78029	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/reslyo	07/07/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,41	-
2,23 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	05,26334	45,78029	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/reslyo	07/07/2020	H-3 lié (Sec)	2,41	-
2,23 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	05,26334	45,78029	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	07/07/2020	Pu, Am par Sp. Alpha (Pu-238, 239-240, Am-241) (Cendre)	2,29	12,56
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/eulyo	07/07/2020	H-3 libre (Liquide)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/reslyo	07/07/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/reslyo	07/07/2020	H-3 lié (Sec)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/reslyo	07/07/2020	C élémentaire (Sec)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/reslyo	07/07/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	entier/reslyo	07/07/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	20,52	-
4,75 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,26356	45,75727	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa</i> L.	Parties aériennes	07/07/2020	Gamma (Sec)	20,32	-
4,76 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,25510	45,75832	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier/eulyo	07/07/2020	H-3 libre (Liquide)	6,72	-
4,76 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,25510	45,75832	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier/reslyo	07/07/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	6,72	-
4,76 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,25510	45,75832	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier/reslyo	07/07/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	6,72	-

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée /Analyisée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
4,76 km SSO	Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	05,25510	45,75832	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	entier/reslyo	07/07/2020	C élémentaire (Sec)	6,72	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/eaulyo	08/09/2020	H-3 libre (Liquide)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	H-3 lié (Sec)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	C élémentaire (Sec)	1,29	-
2,58 km OSO	Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, carrière	05,24433	45,78561	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Graine	08/09/2020	Gamma (Cendre)	1,34	74,90
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/eaulyo	08/09/2020	H-3 libre (Liquide)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	H-3 lié (Sec)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	C élémentaire (Sec)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	entier/reslyo	08/09/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	1,61	-
5,83 km O	Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, les Brotteaux	05,19728	45,78882	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Graine	08/09/2020	Gamma (Cendre)	1,57	69,16

- : absence de traitement. Eaulyo : eau extraite par lyophilisation. Reslyo : résidu sec après lyophilisation.

Dans les tableaux terrestres suivants :

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation et à moins de 5 km de l'installation
	Prélèvements irrigués par les eaux du Rhône collectées en aval des rejets liquides du CNPE

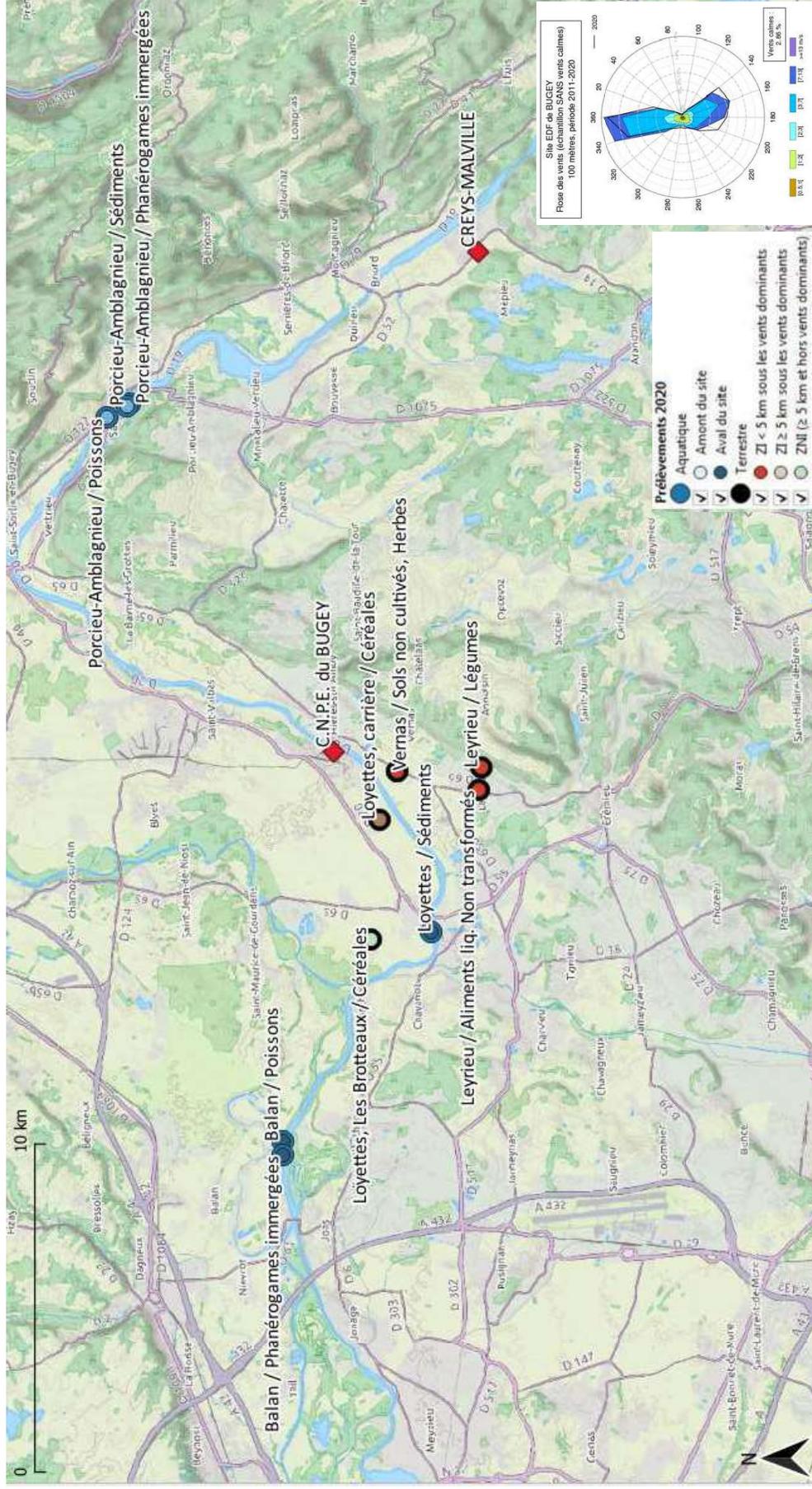


Figure 9 – Localisation générale des stations de prélèvement dans le milieu terrestre et dans le milieu aquatique pour le suivi radioécologique annuel du CNPE du Bugey

5.2.2 Résultats et interprétation

5.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

5.2.2.1.1 Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 36 page 80.

En 2020, les activités détectées dans les matrices terrestres prélevées autour du CNPE du Bugey sont proches des valeurs habituelles pour ces matrices d'après [14]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux. Elle est principalement due au ^{40}K et, dans une moindre mesure, par les radionucléides des familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K et en descendants du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [1, 22, 23]. La seconde composante, d'origine cosmogénique, est due au ^7Be présent principalement dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de prélèvements, de préparation et de mesure des échantillons.

5.2.2.1.2 Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 37 page 81.

Le ^{137}Cs est quantifié dans les céréales prélevées à Loyettes Carrières et le sol de prairie de Vernas. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont dans la gamme des niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 25 page 69 et Tableau 27 page 71 au Tableau 30 page 74). Les activités des autres émetteurs γ d'origine artificielle sont inférieures aux seuils de décisions dans les matrices prélevées.

5.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

5.2.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont présentés respectivement dans le Tableau 38 page 82 et le Tableau 39 page 83.

Les activités en tritium libre et tritium organiquement lié sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (de l'ordre de 1 Bq.L^{-1} dans une gamme allant de $0,4$ à 2 Bq.L^{-1} pour le tritium libre et de $0,39$ à $1,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ pour le tritium organiquement lié d'après [14]) à l'exception des deux échantillons de maïs prélevés sur la commune de Loyettes aux lieu-dit Les Brotteaux et Les Carrières pour lesquels les activités en tritium organiquement lié (respectivement $8,3 \pm 0,9 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ et $8,1 \pm 0,9 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$) sont plus élevées que le bruit de fond. Il en est de même pour le tritium libre mesuré dans les maïs prélevés aux Brotteaux ($9,3 \pm 0,9 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$). Ces activités démontrent la contribution des rejets liquides du CNPE au marquage de ces échantillons. En effet, les maïs prélevés à Loyettes Carrières et à Loyettes les Brotteaux sont irrigués par les eaux du Rhône collectées en aval des rejets d'effluents liquides du CNPE.

5.2.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 40 page 84.

Les activités en ^{14}C mesurées dans les maïs prélevés sur la commune de Loyettes aux lieu-dit Les Brotteaux et Les Carrières sont du même ordre de grandeur (respectivement $254\pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ et $253\pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) et sont supérieures au bruit de fond attendu hors influence d'un apport industriel local ($224\pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [14]). Ces activités indiquent un apport par les rejets liquides du CNPE. En effet, les maïs prélevés à ces deux endroits sont irrigués par les eaux du Rhône collectées en aval des rejets d'effluents liquides du CNPE. Les activités en ^{14}C mesurées dans les deux prélèvements d'herbe collectés à Leyrieu dans le cadre de la surveillance trimestrielle ($246\pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en octobre 2019 et $255\pm 13 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en janvier 2020) sont également du même ordre de grandeur et supérieures au bruit de fond attendu hors influence d'un apport industriel local. En revanche, les activités en ^{14}C mesurées dans les salades et le lait prélevés en 2020 et dans deux échantillons d'herbe collectés au deuxième trimestre 2019 à Leyrieu et à Vernas sont proches du bruit de fond attendu hors influence d'un apport industriel local.

5.2.2.3 Radionucléides émetteurs alpha

Les résultats d'analyse des activités en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 41 page 85. L'activité en $^{239+240}\text{Pu}$ mesurée dans l'herbe s'inscrit dans la gamme basse du bruit de fond attendu hors influence d'un apport industriel local (proche de $0,009 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ dans une gamme allant de $0,0001$ à $0,01 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ d'après [14]). Le rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ de l'échantillon d'herbe, entaché d'une forte incertitude, reste caractéristique de la signature des retombées des essais nucléaires aériens, voisine de $0,436\pm 0,036$ d'après [24, 25].

5.3 État radiologique de l'environnement aquatique

5.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont indiquées à la Figure 9 page 60.

Les caractéristiques (dates, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 24 page 64 et suivantes.

Les stations de prélèvement et la nature des échantillons permettent la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de référence, en amont du site, sont localisées à Porcieu-Amblagnieu. La zone de mélange complet est éloignée du site au niveau de la confluence avec la rivière d'Ain. Aussi, depuis les premières études, la station de prélèvement de sédiments de Loyettes, située à 6,31 km en aval du CNPE, est placée avant la zone de mélange complet. Les sédiments y sont prélevés en rive droite pour augmenter la représentativité du prélèvement. La station de Loyettes est peu propice aux prélèvements de poissons et de phanérogames (peu de ressources). La station en aval (Balan) est dans la zone de mélange complet mais se situe aussi dans la zone de dilution du Rhône par l'Ain.

Les pêches ont été réalisées par un pêcheur professionnel. Les mesures de radioactivité ont été réalisées sur les muscles des poissons afin d'étudier la fraction susceptible d'être consommée par l'homme et de s'affranchir du contenu du tractus gastro-intestinal. Les poissons collectés sont des barbeaux fluviatiles. Des échantillons

homogènes de poissons ont été constitués pour réaliser l'ensemble des analyses prévues. Les analyses ont été réalisées sur des barbeaux fluviatiles de taille moyenne et d'âge supérieur à 10 ans.

En 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Les phanérogames, les poissons et les sédiments prélevés en amont et en aval du site de Bugey ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma. Du tritium libre y a été recherché. Du tritium organiquement lié et du ^{14}C ont été mesurés dans les poissons.

Tableau 24 – Identification des échantillons analysés dans l’environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique de 2020

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Commentaire	Nature	Espèce	Fraction Prélévée/Analyisée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
12,15 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40950	45,85064	Rive droite canal	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	entier/eau lyo	07/07/2020	H-3 libre (Liquide)	2,11	-
12,15 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40950	45,85064	Rive droite canal	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	07/07/2020	Gamma (Sec)	2,11	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,41034	45,85007	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	entier/eau lyo	08/09/2020	H-3 libre (Liquide)	8,30	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,41034	45,85007	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	08/09/2020	Gamma (Cendre)	10,71	4,16
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/eau lyo	11/05/2020	H-3 libre (Liquide)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	C élémentaire (Sec)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	H-3 lié (Sec)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,77	-
12,18 km amont	Rhône en amont du Bugey	Porcieu-Amblagnieu	05,40511	45,85653	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	11/05/2020	Gamma (Cendre)	4,57	18,31
6,31 km aval	Rhône en aval du Bugey	Loyettes	05,19967	45,77219	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	entier/eau lyo	07/07/2020	H-3 libre (Liquide)	1,47	-
6,31 km aval	Rhône en aval du Bugey	Loyettes	05,19967	45,77219	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	07/07/2020	Gamma (Sec)	1,51	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/eau lyo	11/05/2020	H-3 libre (Liquide)	4,90	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,90	-

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

11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	C élémentaire (Sec)	4,90	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	H-3 lié (Sec)	4,90	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,90	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	entier/reslyo	11/05/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,90	-
11,86 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11927	45,81434	Rive droite	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	11/05/2020	Gamma (Cendre)	4,79	14,73
12,27 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11392	45,81428	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	entier/eaulyo	08/09/2020	H-3 libre (Liquide)	10,67	-
12,27 km aval	Rhône en aval du Bugey	Balan	05,11392	45,81428	Rive droite	Phanérogames immergées	Myriophylle <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Parties aériennes	08/09/2020	Gamma (Cendre)	12,27	3,84

- : absence de traitement ; Pdtfiltr : produit de filtration ; Eaulyo : eau extraite par lyophilisation ; Reslyo : résidu sec après lyophilisation.

Dans les tableaux aquatiques suivants :

Prélèvements en amont du dispositif de rejets des effluents liquides

Prélèvements en aval du dispositif de rejets des effluents liquides

5.3.2 Résultats et interprétation

5.3.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

5.3.2.1.1 Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 42 page 86.

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les sédiments, les végétaux et les poissons est proche des valeurs habituelles pour ces matrices [1]. La radioactivité est essentiellement liée à la présence du ^{40}K dans l'ensemble des matrices échantillonnées. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Les éléments des familles de ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que le ^7Be sont détectés dans les sédiments et les végétaux. Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de prélèvements, de préparation et de mesure des échantillons.

5.3.2.1.2 Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 43 page 87.

Le ^{137}Cs est présent dans tous les échantillons prélevés en milieu aquatique avec des activités s'inscrivant dans la gamme des niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 32 page 76 et Tableau 34 page 78 au Tableau 35 page 79). On notera que, dans toutes les matrices prélevées, compte tenu des incertitudes de mesure, l'activité du ^{137}Cs est du même ordre de grandeur entre l'amont et l'aval, à l'exception des sédiments prélevés en amont, lesquels présentent un niveau d'activité ($5,80 \pm 0,50 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) supérieur à celui mesuré en aval proche ($2,60 \pm 0,24 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).

De $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est observé dans les sédiments ($0,24 \pm 0,11 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et les végétaux ($0,40 \pm 0,12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) prélevés en aval du CNPE du Bugey. Du ^{58}Co et du ^{60}Co sont également observés dans les végétaux prélevés en aval du site (respectivement $1,19 \pm 0,21 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ et $1,98 \pm 0,29 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Ces détections témoignent de l'influence des rejets liquides autorisés du CNPE de Bugey comme observé ces dernières années.

5.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

5.3.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et organiquement lié dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey sont présentés respectivement dans le Tableau 44 page 88 et le Tableau 45 page 89.

Les activités en tritium libre mesurées dans les phanérogames immergées et les sédiments ne présentent pas de différence significative entre l'amont et l'aval. Dans les phanérogames immergées prélevées en aval du CNPE du Bugey, la valeur mesurée est très proche du seuil de décision compte-tenu de l'incertitude de mesure associée. Les activités mesurées dans ces deux matrices prélevées en amont et en aval du site sont du même ordre de grandeur que les valeurs attendues dans un environnement non soumis à des rejets industriels (de l'ordre de 1 Bq.L^{-1} dans une gamme allant de 0,4 à 2 Bq.L^{-1} d'après [14]). Il en est de même pour les activités en tritium libre mesurées dans les poissons qui sont toutes les deux inférieures au seuil de décision. En revanche, les activités en tritium organiquement lié mesurées dans les poissons sont supérieures aux valeurs caractéristiques d'un

environnement non soumis à des rejets industriels aussi bien en amont qu'en aval du CNPE (respectivement $3,30 \pm 0,70$ Bq.L⁻¹ d'eau de combustion et $5,60 \pm 0,90$ Bq.L⁻¹ d'eau de combustion). Ces marquages sont consécutifs aux rejets d'effluents liquides tritiés du CNPE de Bugey qui s'ajoutent aux rejets réalisés par le site en démantèlement de Creys-Malville.

5.3.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey sont présentés dans le Tableau 46 page 90.

L'activité en ¹⁴C mesurée dans les muscles de poissons pêchés en amont du site est proche de la valeur caractéristique d'un milieu fluvial non soumis à des rejets d'effluents radioactifs (inférieure à 220 Bq.kg⁻¹ C d'après [1]). En aval du CNPE, l'activité en ¹⁴C mesurée dans les poissons (319 ± 16 Bq.kg⁻¹ C) est plus élevée qu'en amont (237 ± 12 Bq.kg⁻¹ C) et elle est supérieure aux valeurs caractéristiques d'un environnement non soumis à des rejets industriels. Aussi, un marquage par les rejets liquides du CNPE de Bugey est mis en évidence.

5.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE du Bugey

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle reste équivalente à celle observée avant la mise en service industrielle du CNPE. Le ⁴⁰K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ¹³⁷Cs présent dans le sol de prairie et le maïs prélevé à Loyettes Carrières. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl.

Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié mesurées dans l'herbe et les salades ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. Il en est de même pour le tritium libre mesuré dans le lait de vache et les grains de maïs prélevés à Loyettes Carrières. En revanche, pour les grains prélevés à Loyettes les Brotteaux, l'activité en tritium libre mesurée est supérieure au bruit de fond. Enfin, les activités en tritium organiquement lié mesurées dans les prélèvements de grains de maïs réalisés à Loyettes Carrières et à Loyettes Les Brotteaux mettent en évidence un apport local en tritium. Le marquage observé sur ces grains de maïs est consécutif aux marquages des eaux d'irrigation par les rejets d'effluents liquides du CNPE du Bugey.

L'activité en ¹⁴C mesurée dans le lait de vache et les salades est proche du bruit de fond radiologique sur le territoire français hors influence industrielle (proche de 225 Bq.kg⁻¹ C dans une gamme allant de 218 à 232 Bq.kg⁻¹ C d'après [14]). En revanche, les deux prélèvements de grains de maïs réalisés à Loyettes mettent en évidence un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE du Bugey via l'irrigation. Deux prélèvements d'herbe réalisés à Leyrieu, sous les vents dominants, présentent un marquage en ¹⁴C imputable aux rejets à l'atmosphère du site de Bugey.

Dans le domaine aquatique, le marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE du Bugey est mis en évidence en 2020 par la détection des ⁵⁸Co et ⁶⁰Co dans les phanérogames immergées prélevées en aval du CNPE du Bugey. L'^{110m}Ag est détecté dans les phanérogames et les sédiments prélevés en aval du site. L'activité en tritium organiquement lié mesurée dans les poissons, supérieure au bruit de fond attendu et avec une activité plus élevée en aval qu'en amont, témoigne d'un marquage des eaux du Rhône par les rejets d'effluents liquides tritiés

du CNPE de Bugey et du site en démantèlement de Creys-Malville. L'activité en ^{14}C mesurée dans les poissons pêchés en aval du site atteste également d'un marquage par les rejets d'effluents liquides du site du Bugey.

5.5 Tableaux de résultats

Tableau 25 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique annuel de 2010 à 2020

Date	avril 2010	avril 2011	avril 2012	avril 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	février 2018	mars 2019	Juillet 2020
Distance par rapport au site	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	1,9 à 4 km	2,5 km	2,42 km	2,23 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	9,3-21 (4/4)	18,6 (1/1)	19,4 (1/1)	18,3 (1/1)	18,4 (1/1)	15,4 (1/1)	15,1 (1/1)	7,4-15,3 (2/2)	14,6 (1/1)	10,8 (1/1)	9,9 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : inférieur au seuil de décision.

Tableau 26 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l’environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique annuel de 2010 à 2020

Date	mars 2010	mars 2011	mars 2012	mars 2013	février 2014	mars 2015	mars 2016	mars 2017	février 2018	mars 2019	2020
Distance par rapport au site	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 à 15 km	4 km	4,68 km	
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³⁷ Cs	3,9-7 (2/2)	2,8-5,4 (2/2)	2,5-4,5 (2/2)	2,5-7,2 (2/2)	3,3-4,8 (2/2)	1,5-5,5 (2/2)	1,2-3,8 (2/2)	1,87-2,54 (2/2)	4,9 (1/1)	1,5 (1/1)	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.

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

Tableau 27 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique annuel de 2010 à 2020

Date	avril 2010	avril 2011	avril 2012	juin 2013	avril 2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance par rapport au site	3,75-4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	2,37 km	2,23 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	(1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³⁷ Cs	1,6 (1/2)	0,38 (1/1)	0,12 (1/1)	0,36 (1/1)	0,31 (1/1)	0,16 (1/1)	0,137 (1/1)	0,074 (1/1)	-	-	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	1,3-1,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	1,5 (1/1)	1,5-2,4 (2/2)	1,1 (1/1)	1,6 (1/1)	-
³ H lié	2-2,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,5 (1/1)	1,4-1,8 (2/2)	1,6 (1/1)	1,2 (1/1)	-
¹⁴ C	238-241 (2/2)	235,7 (1/1)	228 (1/1)	230 (1/1)	227 (1/1)	222-231,5 (4/4)	219-233 (5/5)	226-234 (6/6)	228-241 (3/3)	222-255 ¹ (4/4)	224-229 ² (3/3)

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

¹ : Valeurs mesurées dans l'herbe prélevée à Vernas ainsi que dans les trois prélèvements d'herbe réalisés trimestriellement à Leyrieu. En juillet 2019, le prélèvement d'herbe n'a pas pu être réalisé à cause d'une absence de ressources à Leyrieu (fiche de constat n° 2019-02).

² : Valeurs mesurées dans les trois prélèvements d'herbe réalisés trimestriellement. Le prélèvement n'a pas pu être réalisé au second trimestre 2020 (fiche de constat n° 2020-02).

Tableau 28 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de salade collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique annuel de 2010 à 2020

Date	Juin 2010	Juillet 2011	Juin 2012	Juillet 2013	Juin 2014	Juin 2015	Juin 2016	Juin 2017	Juillet 2018	Juillet 2019	Juillet 2020
Distance par rapport au site	4-20,5 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4,75 km	4,75 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,7 (2/2)	0,25 (1/1)	0,28 (1/1)	0,28 (1/1)	0,28 (1/1)	0,32 (1/1)	0,17 (1/1)	0,64 (1/1)	0,89 (1/1)	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,9 (1/1)	1,1 (1/1)	1,6 (1/1)	1,1 (1/1)	1,2 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,42 (1/1)	1,6 (1/1)	1,7 (1/1)	2,2 (1/1)	2,1 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	239 (1/1)	231 (1/1)	227 (1/1)	233 (1/1)	233 (1/1)

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

Tableau 29 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de maïs collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors des études radioécologiques entre 2010 et 2020

Date	Septembre 2010	Septembre 2015	Septembre 2016	Septembre 2017	Septembre 2018	Septembre 2019	Septembre 2020
Distance par rapport au site	3,75-4 km	1,75-10 km	1,75-10 km	1,75-10 km	1,75-10 km	2,58-10,16 km	2,58-5,83 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)							
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,018 (1/2)	0,04-0,076 (3/3)	0,020-0,027 (2/3)	0,0053-0,027 (3/3)	0,024-0,034 (2/3)	0,009-0,0379 (3/3)	0,045 (1/2)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)							
³ H libre	n.a.	1,3-4,3 (3/3)	1,6-2,6 (3/3)	1,2-1,8 (3/3)	1,4-7,8 (3/3)	1,6-11,3 (3/3)	2,7-9,3 (2/2)
³ H lié	n.a.	0,7-5,5 (3/3)	0,9-2,9 (3/3)	1,2-3,24 (3/3)	2,11-9,3 (3/3)	1,6-9,5 (3/3)	8,1-8,3 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	227-232 (3/3)	235-239 (3/3)	231-237 (3/3)	239-243 (3/3)	225,8-235 (3/3)	253-254 (2/2)

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

Tableau 30 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010	juillet 2011	avril 2012	avril 2013	juin 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	février 2018	mai 2019	Juillet 2020
Distance par rapport au site	3,75-4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4 km	4,76 km	4,76 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³⁷ Cs	0,013-0,023 (2/2)	0,034 (1/1)	0,023 (1/1)	0,023 (1/1)	0,026 (1/1)	0,010 (1/1)	0,013 (1/1)	0,0172 (1/1)	0,0223 (1/1)	0,0159 (1/1)	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	0,7-1,1 (2/2)	1,1 (1/1)	1,2 (1/1)	0,9 (1/1)	1,0 (1/1)	-	0,6 (1/1)	1,2 (1/1)	-	0,8 (1/1)	-
³ H lié	1,8 (1/1)	1,54 (1/1)	1,1 (1/1)	-	1,6 (1/1)	0,8 (1/1)	1,6 (1/1)	-	-	3,9 (1/1)	n.a.
¹⁴ C	240-245 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	228-230 (4/4)	229-238 (4/4)	226-233 (4/4)	237 (1/1)	229 (1/1)	224 (1/1)

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

Tableau 31 – Activités en radionucléides des échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement du site du Bugey lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010	juin 2011	juin 2012	juillet 2013	juin 2014	juin 2015	juin 2016	juin 2017	juillet 2018	juillet 2019	2020
Distance par rapport au site	7,5 et 12 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	7,5 km	8,5 km	
Nature	eau	eau									
Émetteurs β (Bq.L⁻¹)											
³ H libre	2,5 (1/2)	6,2 (1/1)	3,2 (1/1)	2 (1/1)	3,3 (1/1)	3,7 (1/1)	1,1 (1/1)	8,2 (1/1)	2,7 (1/1)	3,9 (1/1)	n.a.

n. a. : non analysé.

Tableau 32 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l'environnement aquatique du site du Bugey lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	mars 2010	mars 2011	mars 2012	mars 2013	février 2014	mars 2015	mars 2016	mars 2017	février 2018	mars 2019	Juillet 2020								
Situation par rapport au site	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval								
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																			
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
¹³⁷ Cs	3,3- 5,7 (1/1)	9,5 4,4-7,2 (1/1)	9,6 3,7-6,2 (1/1)	10,1 4,6 (1/1)	2,73- 4,6 (2/2)	8,0 (1/1)	3,1-6,5 (2/2)	7,8 (1/1)	4,6-7,4 (2/2)	8,7 (1/1)	2,79- 5,7 (2/2)	7,4 (1/1)	3,86- 5,23 (2/2)	6,6 (1/1)	2,71-3 (2/2)	5,11 (1/1)	2,94- 4,71 (2/2)	5,8 (1/1)	2,6 (1/1)
⁵⁸ Co	0,4 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	2,4 (1/2)	-	0,19 (1/2)	-	-	0,18 (1/2)	-	0,16 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	0,22 (1/2)	-	-	-
^{110m} Ag	0,4- 0,7 (2/2)	0,36- 0,84 (2/2)	0,27- 0,83 (2/2)	0,22- 0,26 (2/2)	0,24 (1/2)	0,31- 0,53 (2/2)	0,23- 0,34 (2/2)	0,3- 0,39 (2/2)	0,34- 0,47 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	0,34- 0,47 (2/2)	0,24 (1/1)	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : inférieur au seuil de décision.

Tableau 33 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de mousses collectés dans l'environnement aquatique du site du Bugey lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010		juin 2011		septembre 2012		septembre 2013		octobre 2014		septembre 2015		août et septembre 2016		septembre 2017		juillet 2018		septembre 2019		2020	
	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval	mont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	0,41 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
¹³⁷ Cs	5,1 (1/1)	2,0-6,8 (2/2)	1,42 (1/1)	1,74-9,4 (2/2)	2,47 (1/1)	3,1-5,9 (2/2)	1,46 (1/1)	2,26-3,2 (2/2)	2,16 (1/1)	1,49-2,8 (2/2)	1,74 (1/1)	2,07- 3,60 (2/2)	1,62 (1/1)	1,51- 2,80 (2/2)	2,31 (1/1)	1,78- 2,99 (2/2)	1,28 (1/1)	n.a.	n.a.	1,14 (1/1)	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	-	1,3-4,3 (2/2)	-	2,4 (1/2)	-	1,26 (1/2)	-	2,8 (1/2)	-	0,39-2,6 (2/2)	-	0,38 (1/2)	-	3,90 (1/2)	-	0,47 (1/2)	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	-	0,9 (1/2)	-	2,4 (1/2)	-	1-4,8 (2/2)	-	0,71 (1/2)	-	0,5-3,8 (2/2)	-	1,33 (1/2)	-	2,0 (1/2)	-	0,22- 3,38 (2/2)	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42 (1/1)	-	-	1,18 (1/2)	-	-	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	-	0,8 (1/2)	-	1,95 (1/2)	-	0,43 (1/2)	-	0,54 (1/2)	-	0,47 (1/2)	-	0,35- 1,05 (2/2)	-	0,23- 0,47 (2/2)	-	0,77 (1/2)	-	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.
¹³¹ I ⁽¹⁾	-	2,0 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C, ⁶³Ni en Bq.kg⁻¹ sec, Ni en g.kg⁻¹ sec et ⁵⁵Fe en Bq.kg⁻¹ sec)																						
³ H libre	0,8 (1/1)	0,7-0,8 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	14,9 (1/1)	6,6-21,6 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	205 (1/1)	216 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁶³ Ni	0,23 (1/1)	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.
Ni	0,0266 (1/1)	0,029 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0264 38 (1/1)	0,0234 35 (1/1)	n.a.
⁵⁵ Fe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.

n.a. : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision. ⁽¹⁾ Du fait de sa courte période physique, l'¹³¹I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 34 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (phanérogames immergées) collectés dans l'environnement aquatique du site du Bugey lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	juillet 2010		juin 2011		septembre 2012		septembre 2013		octobre 2014		août et septembre 2015		septembre 2016		septembre 2017		septembre 2018		septembre 2019		septembre 2020	
	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Situation par rapport au site																						
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹.sec)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,2 (1/1)	2,2 (1/1)	1,75 (1/1)	0,79 (1/1)	0,75 (1/1)	1,12 (1/1)	1,17 (1/1)	1,88 (1/1)	1,68 (1/1)	1,22 (1/1)	0,67 (1/1)	1,79- 3,8 (2/2)	1,54-1,7 0,35- 1,8 (2/2)	0,46- 1,14 (3/3)	0,35 (1/1)	0,73- 0,98 (2/2)	1,41 (1/1)	1,07 (1/1)	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	0,39 (1/1)	-	1,24 (1/1)	-	1,03 (1/1)	-	-	1,19 (1/1)	-	-	0,63- 1,47 (3/3)	-	0,36 (1/2)	-	1,19 (1/1)	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	4,9 (1/1)	-	-	0,45 (1/1)	-	0,53 (1/1)	-	0,41 (1/2)	0,39- 0,87 (2/3)	-	1,46- 1,48 (2/2)	-	1,98 (1/1)	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	0,45 (1/1)	-	0,27 (1/1)	-	0,41 (1/1)	0,53 (1/1)	-	0,45 (1/1)	-	0,32 (1/2)	0,86-2,2 (3/3)	-	0,58- 0,62 (2/2)	-	0,4 (1/1)	-	-	-	-
¹³¹ I ⁽¹⁾	-	-	5,7 (1/1)	1,8 (1/1)	24,2 (1/1)	6,8 (1/1)	6,5 (1/1)	3,1 (1/1)	4,7 (1/1)	6,6 (1/1)	2,1 (1/1)	19 (1/1)	5,9 (1/1)	2 (1/1)	3,06 (1/1)	2,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)																						
³ H libre	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	-	13,1 (1/1)	1,2 (1/1)	0,9 (1/1)	6,3 (1/1)	-	0,8 (1/1)	-	-	-	-
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	14 (1/1)	n.a.	15,9 (1/1)	7,6 (1/1)	n.a.	8,7 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	7,3 (1/1)	5 (1/1)	6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	201 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	189,4 (1/1)	189,9 (1/1)	226,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision. ⁽¹⁾ Du fait de sa courte période physique, ¹³¹I n'est mesuré que dans certains échantillons.

Tableau 36 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille de l' ²³⁸ U			Unité		
										²²⁸ Ac	²³² Th	^{234m} Pa		²¹⁰ Pb	⁷ Be
Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,06	17/09/2020	352±31	36,4±4,3	n.a.	≤ 18	n.a.	6,7±1,7	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes	08/09/2020	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Graine	cenbre	1,57	30/10/2020	118±11	≤ 0,025	≤ 0,060	≤ 0,80	≤ 0,070	0,143±0,035	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes	08/09/2020	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Graine	cenbre	1,34	30/10/2020	110±11	≤ 0,021	≤ 0,050	≤ 0,80	≤ 0,060	0,070±0,031	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Parties aériennes	sec	20,32	15/09/2020	2 410±230	≤ 1,3	≤ 2,4	≤ 40	6,2±1,6	90±10	Bq.kg ⁻¹ sec

n.a : non analysé.

Tableau 37 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	Unité
Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,06	17/09/2020 \leq 0,15	9,90 \pm 0,80	\leq 0,28	\leq 0,17	\leq 0,20	\leq 0,20	\leq 0,30	\leq 0,43	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone non influencée, irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Les Broitteaux	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Graine	cenдре	1,57	30/10/2020 \leq 0,0050	\leq 0,0100	\leq 0,0100 \leq 0,0080	\leq 0,0070 \leq 0,0060	\leq 0,0070 \leq 0,0060	\leq 0,0080 \leq 0,013	\leq 0,0070 \leq 0,011	\leq 0,0070 \leq 0,011	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Carrières	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Graine	cenدرe	1,34	30/10/2020 \leq 0,0047	0,0450 \pm 0,0050	\leq 0,0080 \leq 0,0070	\leq 0,0070 \leq 0,0060	\leq 0,0070 \leq 0,0060	\leq 0,0070 \leq 0,011	\leq 0,0070 \leq 0,011	\leq 0,0070 \leq 0,011	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Parties aériennes	sec	20,32	15/09/2020 \leq 0,26	\leq 0,26	\leq 0,50	\leq 0,40	\leq 0,36	\leq 0,33	\leq 0,47	\leq 0,60	Bq.kg ⁻¹ sec

Tableau 38 – Activités en tritium libre mesurées dans des échantillons collectés dans l’environnement terrestre du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Les Brotteaux	08/09/2020	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Eau extraite par lyophilisation	1,61	14/10/2020	9,30±0,90	3,52±0,34	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Carrières	08/09/2020	Céréales	Maïs <i>Zea mays</i>	Eau extraite par lyophilisation	1,29	14/10/2020	2,70±0,70	0,61±0,16	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Eau extraite par lyophilisation	20,52	02/09/2020	1,20±0,60	1,14±0,57	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	07/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Eau extraite par lyophilisation	2,41	14/10/2020	≤ 0,60	≤ 0,35	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Eau extraite par lyophilisation	6,72	03/09/2020	≤ 0,60	≤ 0,51	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

ECH. : échantillon

Tableau 39 – Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Les Brotteaux	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	1,61	09/12/2020	8,30±0,90	3,12±0,37	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du cnpe	Loyettes, Carrières	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	1,29	22/12/2020	8,10±0,90	3,85±0,46	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	20,52	16/11/2020	2,1±1,3	0,053±0,033	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	07/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Résidu sec obtenu après lyophilisation	2,41	13/12/2020	≤ 0,70	≤ 0,16	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 40 – Activités en ^{14}C mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	C TOT. (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Zone non influencée irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, Les Brotteaux	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	1,61	24/10/2020	253±12	-12,44	109,1±5,2	65,7±3,1	260	Frais
Zone influencée proche (< 5 km) irriguée par de l'eau du Rhône collectée en aval du CNPE	Loyettes, Carrières	08/09/2020	Céréales	Mais <i>Zea mays</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	1,29	24/10/2020	254±13	-12,23	109,5±5,6	81,2±4,2	320	Frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	20,52	09/10/2020	233±12	-28,07	103,7±5,3	4,22±0,22	18	Frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Leyrieu	07/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Résidu sec obtenu après lyophilisation	6,72	11/12/2020	224±11	-29,93	100,1±4,9	18,1±0,89	81	Liquide

Tableau 41 – Activités en radionucléides émetteurs α mesurés dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	Unité	$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$	Unité
Zone influencée proche (< 5 km)	Vernas	07/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Parties aériennes	2,29	24/11/2020	$\leq 0,018$	$0,151 \pm 0,064$	$0,119 \pm 0,048$	$\text{mBq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}$	-	$0,79 \pm 0,46$	Sans unité

- : inférieur au seuil de décision.

Tableau 42 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	Famille de ^{238}U		Unité			
									^{228}Ac	^{232}Th		$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{210}Pb	
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	07/07/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	2,11	16/09/2020	483±42	45,0±5,0	n.a.	54,0±5,0 Bq.kg ⁻¹ sec		
Rhône en aval du bugéy	Loyettes	07/07/2020	Sédiments	Sédiments dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,51	16/09/2020	403±35	33,1±4,0	n.a.	34,8±3,4 Bq.kg ⁻¹ sec		
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	cenдре	10,71	27/10/2020	570±60	14,7±2,0	33,3±3,3	40±11	25,1±2,6	100,0±9,0 Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval du bugéy	Balan	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum</i> sp.	Parties aériennes	cenدرe	12,27	28/10/2020	640±60	11,7±1,6	18,2±2,0	34±11	26,6±2,8	108±10 Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	cenدرe	4,57	15/09/2020	104±10	≤ 0,028	≤ 0,070	≤ 0,90	≤ 0,080	≤ 0,18 Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval du bugéy	Balan	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	cenدرe	4,79	15/09/2020	101±10	≤ 0,029	≤ 0,070	≤ 1,0	≤ 0,090	≤ 0,19 Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 43 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	^{110m}Ag	^{54}Mn	^{129}Sb	^{125}Sb	^{134}Cs	Unité
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	07/07/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	2,11	16/09/2020	5,80±0,50	≤ 0,38	≤ 0,23	≤ 0,29	≤ 0,27	≤ 0,41	≤ 0,60	≤ 0,20	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval du bugéy	Loyettes	07/07/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,51	16/09/2020	2,60±0,24	≤ 0,26	≤ 0,17	0,24±0,11	≤ 0,19	≤ 0,28	≤ 0,42	≤ 0,15	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié Myriophyllum sp.	Parties aériennes	cenbre	10,71	27/10/2020	1,41±0,17	≤ 0,20	≤ 0,17	≤ 0,18	≤ 0,17	≤ 0,20	≤ 0,36	≤ 0,13	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval du bugéy	Balan	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié Myriophyllum sp.	Parties aériennes	cenbre	12,27	28/10/2020	1,07±0,15	1,19±0,21	1,98±0,29	0,40±0,12	≤ 0,16	≤ 0,21	≤ 0,37	≤ 0,14	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	cenbre	4,57	15/09/2020	0,0800±0,0090	≤ 0,023	≤ 0,0090	≤ 0,0100	≤ 0,0080	≤ 0,021	≤ 0,014	≤ 0,0060	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval du bugéy	Balan	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Muscle	cenbre	4,79	15/09/2020	0,0380±0,0050	≤ 0,024	≤ 0,0080	≤ 0,0111	≤ 0,0090	≤ 0,023	≤ 0,016	≤ 0,0070	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 44 – Activités en tritium libre mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	07/07/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Eau extraite par lyophilisation	2,11	16/09/2020	0,80±0,70	0,88±0,77	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval du bugéy	Loyettes	07/07/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Eau extraite par lyophilisation	1,47	16/09/2020	1,10±0,70	0,52±0,33	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Eau extraite par lyophilisation	8,30	14/10/2020	≤ 0,60	≤ 0,53	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval du bugéy	Balan	08/09/2020	Phanérogames aquatiques	Myriophylle non identifié <i>Myriophyllum sp.</i>	Eau extraite par lyophilisation	10,67	14/10/2020	0,80±0,60	0,73±0,54	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Eau extraite par lyophilisation	4,77	26/07/2020	≤ 0,60	≤ 0,47	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval du bugéy	Balan	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Eau extraite par lyophilisation	4,90	26/07/2020	≤ 0,60	≤ 0,48	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 45 – Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais)
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,77	18/10/2020	3,30±0,70	0,457±0,099
Rhône en aval du bugéy	Balan	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,90	18/10/2020	5,60±0,90	0,75±0,12

Tableau 46 – Activités en ¹⁴C mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Bugey lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ¹⁴ C	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ de C)	δ ^{12/13} C (‰)	pMC (%)	¹⁴ C (Bq.kg ⁻¹ frais)	C TOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Rhône en amont du bugéy	Porcieu-Amblagnieu	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,77	24/10/2020	237±12	-24,3	104,7±5,3	23,4±1,2	99	Frais
Rhône en aval du bugéy	Balan	11/05/2020	Poissons	Barbeau fluviatile <i>Barbus barbus</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,90	24/10/2020	319±16	-25,78	141,4±7,1	30,8±1,5	97	Frais



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 Bugey
Route départementale 20
01150 Saint-Vulbas
04 74 34 33 3 3