



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

2021

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

SOMMAIRE

<i>Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité</i>	<i>4</i>
<i>du TRICASTIN en 2021</i>	<i>4</i>
<i>I. Contexte</i>	<i>4</i>
<i>II. Le CNPE du TRICASTIN</i>	<i>4</i>
<i>III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du TRICASTIN</i>	<i>5</i>
<i>IV. Évolutions scientifiques susceptibles de modifier l'étude d'impact</i>	<i>5</i>
<i>V. Bilan des incidents de fonctionnement et des évènements significatifs pour l'environnement</i>	<i>6</i>
<i>Partie II - Prélèvements d'eau</i>	<i>9</i>
<i>I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement</i>	<i>11</i>
<i>II. Prélèvement d'eau destinée à l'usage industriel</i>	<i>11</i>
<i>III. Prélèvement d'eau dans la nappe phréatique</i>	<i>12</i>
<i>IV. Prélèvement d'eau destinée à l'usage domestique</i>	<i>12</i>
<i>V. Prélèvement dans les eaux douces superficielles : comparaison pluriannuelle, prévisionnel, valeurs limites et maintenance</i>	<i>13</i>
<i>Partie III – Restitution et consommation d'eau</i>	<i>16</i>
<i>I. Restitution d'eau</i>	<i>16</i>
<i>II. Consommation d'eau</i>	<i>16</i>
<i>Partie IV - Rejets d'effluents</i>	<i>18</i>
<i>I. Rejets d'effluents à l'atmosphère</i>	<i>19</i>
<i>II. Rejets d'effluents liquides</i>	<i>29</i>

<i>III.</i>	<i>Rejets thermiques</i>	<i>41</i>
<i>Partie VI - Surveillance de l'environnement</i>		<i>44</i>
<i>I.</i>	<i>Surveillance de la radioactivité dans l'environnement</i>	<i>44</i>
<i>II.</i>	<i>Physico-chimie des eaux souterraines</i>	<i>53</i>
<i>III.</i>	<i>Chimie et physico-chimie des eaux de surface</i>	<i>55</i>
<i>IV.</i>	<i>Physico-chimie et Hydrobiologie</i>	<i>58</i>
<i>V.</i>	<i>Acoustique environnementale</i>	<i>60</i>
<i>Partie VII - Évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets de l'installation</i>		<i>62</i>
<i>Partie VIII - Gestion des déchets</i>		<i>66</i>
<i>ABREVIATIONS</i>		<i>73</i>
<i>ANNEXE - Suivi radioécologique annuel de l'IRSN pour le CNPE de Tricastin Année 2021</i>		<i>74</i>

Partie I - Le Centre Nucléaire de Production d'Electricité du TRICASTIN 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 TRICASTIN en matière d'environnement.

II. Le CNPE du TRICASTIN

Les installations nucléaires de base du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Tricastin sont situées sur la commune de Saint-Paul-Trois-Châteaux dans la Drôme, à mi-chemin des villes de Montélimar et d'Orange et au carrefour de quatre départements (Drôme, Ardèche, Vaucluse et Gard) et de trois régions administratives (Auvergne-Rhône-Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie).

Le CNPE fait partie intégrante du complexe nucléaire du Tricastin, qui regroupe la centrale de production d'électricité EDF et différentes installations nucléaires du Groupe ORANO intervenant dans le cycle de l'uranium utilisé dans les réacteurs à eau sous pression (REP).

La centrale EDF occupe une surface de 55 hectares, dont 35 hectares dédiés aux installations de production, en bordure du canal de dérivation du Rhône (canal de Donzère-Mondragon). Les premiers travaux de construction ont débuté en 1974.

Les installations EDF du Tricastin comprennent quatre unités de production d'électricité en fonctionnement :

- deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance de 915 mégawatts électriques, refroidies chacune par l'eau du canal de dérivation du Rhône : Tricastin 1 et 2, mises en service en 1980. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 87 ;
- deux unités de la filière à eau sous pression (REP) d'une puissance respective de 940 et 915 mégawatts électriques, refroidies chacune par l'eau du canal de dérivation du Rhône : Tricastin 3 et 4, mises en service en 1981. Ces deux réacteurs constituent l'installation nucléaire de base (INB) n° 88.

Le site compte 1400 salariés EDF et près de 600 salariés d'entreprises extérieures.

Localisation du site (avec infographie localisation 100km)

CENTRALE NUCLEAIRE DE TRICASTIN (DROME)



Les grandes villes et axes de communication



- Préfecture départementale
- Sous-préfecture
- Autre ville

III. Modifications apportées au voisinage du CNPE du TRICASTIN

La surveillance de l'environnement industriel est réalisée en application d'une prescription interne d'EDF. Lors de l'année 2021, aucune modification notable au voisinage du CNPE Du TRICASTIN n'a été identifiée.

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

Dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, EDF mène des études afin d'améliorer la connaissance de ses rejets (identification de sous-produits de l'éthanolamine, 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

Pour l'année 2021, aucune évolution scientifique susceptible de modifier les conclusions de l'étude d'impact n'a eu lieu.

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

Le CNPE du TRICASTIN est certifié ISO 14001 depuis 2013. 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 TRICASTIN 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 TRICASTIN. 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 TRICASTIN 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 TRICASTIN en 2021

INB	Date de déclaration	Date de l'évènement	Description de l'évènement	Actions correctives
Commun	27/04/2021 reclassement le 18/11/2021	02/04/2021 et 01/11/2021	Défaut de gestion de capteurs de mesure de débit des réservoirs d'effluents.	Mise en place d'un contrôle interne sur la réalisation des exigences réglementaires. Rappels effectués sur la protection des intérêts et les exigences concernant les matériels associés lors des recyclages sur la thématique environnement. Modification des modes opératoires relatifs aux rejets d'effluents liquides pour intégrer un contrôle des débitmètres sur les lignes de rejets.
Commun	15/07/2021	04/06/2021	Atteinte temporaire de seuils 2 chimiques au niveau d'un piézomètre du site à la suite du déboitement d'une tuyauterie.	Réparation de la tuyauterie endommagée lors de travaux de forage. Contrôle des autres tuyauteries à proximité de la zone de chantier. Signalement du risque au pilote de la modification concernée pour la sécurisation des chantiers futurs et sensibilisation des agents du service responsable de la réalisation des travaux de génie civil vis-à-vis du confinement liquide. Renforcement de la télésurveillance du poste de relevage et de sa pompe. Renforcement de l'analyse des résultats des prélèvements de surveillance de l'environnement pour détecter au plus tôt des évolutions anormales.
Commun	01/12/2021	07/10/2021	Dépassement ponctuel de la concentration limite en hydrocarbure à la sortie	Les investigations n'ont pas mis en évidence de défaut dans l'exploitation du déshuileur. Des contrôles de la partie mécanique et génie

			<i>d'un déshuileur.</i>	<i>civil du déshuileur sont programmés.</i>
<i>commun</i>	<i>15/12/2021</i>	<i>11/12/2021</i>	<i>Communication externe 21/12/2021 Marquage en tritium de l'eau souterraine contenue dans l'enceinte géotechnique située sous la centrale du Tricastin.</i>	<i>Réfection de l'étanchéité du puisard concerné. Fiabilisation des capteurs de niveaux des réservoirs d'effluents à l'origine du déversement. Formation et sensibilisation de l'ensemble des intervenants afin d'accroître leur culture de la maîtrise des enjeux environnementaux, et ainsi de mieux détecter des anomalies éventuelles et renforcer les démarches de prévention.</i>

2. Bilan des incidents de fonctionnement

Le CNPE du TRICASTIN a eu, durant l'année 2021, quelques indisponibilités de matériel tels que les dispositifs de traitement des effluents, ainsi que les dispositifs de prélèvement, de mesure et de surveillance. Ces indisponibilités n'ont eu aucune incidence sur la qualité de la surveillance environnementale compte tenu de la redondance de nos matériels.

Durant l'année 2021 le CNPE du TRICASTIN n'a observé aucun défaut d'étanchéité autre que ceux traités dans le paragraphe précédent et ayant fait l'objet d'une déclaration.

Partie II - Prélèvements d'eau

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

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

Dans un CNPE, l'eau est nécessaire pour :

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

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

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

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

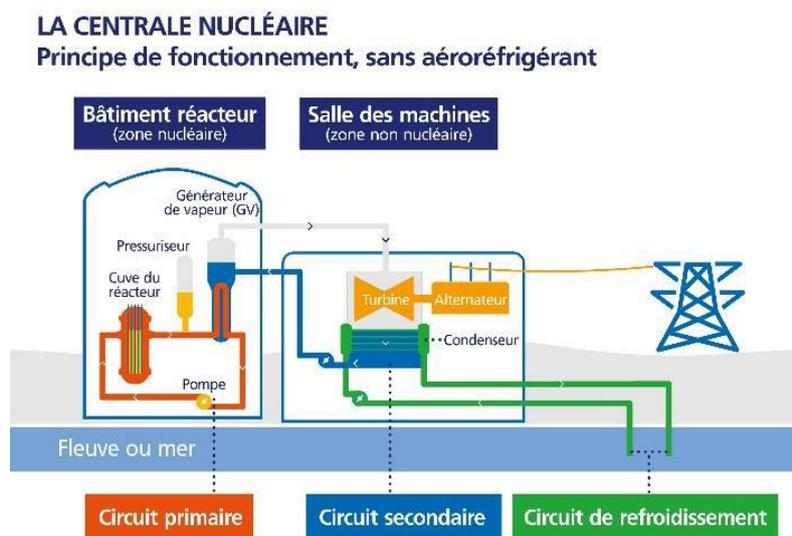


Figure 1 : Schéma d'un CNPE avec un circuit de refroidissement ouvert (Source : EDF)

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

Que les CNPE soient en fonctionnement ou à l'arrêt, la grande majorité de l'eau prélevée est restituée à sa source, c'est-à-dire au milieu naturel à proximité du point de prélèvement. Plus précisément, pour le CNPE du TRICASTIN, quasiment 100% de l'eau prélevée est restituée au fleuve dans le canal de Donzère/Mondragon.

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

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

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

I. Prélèvement d'eau destinée au refroidissement

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

	Prélèvement d'eau (en millions de m ³)
Janvier	471
Février	345
Mars	320
Avril	237
Mai	319
Juin	360
Juillet	396
Août	461
Septembre	459
Octobre	394
Novembre	345
Décembre	464
TOTAL	4 571

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 m ³)
Janvier	42 025
Février	42 016
Mars	38 004
Avril	55 212
Mai	61 106
Juin	46 218
Juillet	67 284
Août	53 654
Septembre	54 614
Octobre	47 329
Novembre	56 374
Décembre	70 276
TOTAL	634 112

III. Prélèvement d'eau dans la nappe phréatique

Le tableau ci-après détaille le cumul mensuel du prélèvement dans la nappe phréatique de l'année 2021. Ces prélèvements en nappe phréatique ne sont pas à usage industriel mais ils sont nécessaires pour réguler le niveau d'eau de la nappe sous le CNPE.

	Prélèvement d'eau (en m ³)
Janvier	18 300
Février	11 800
Mars	13 700
Avril	14 300
Mai	18 200
Juin	16 900
Juillet	20 200
Août	15 100
Septembre	8 920
Octobre	16 500
Novembre	17 800
Décembre	7 490
TOTAL (en m³)	179 210

IV. 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 45 665 m³.

Le CNPE du TRICASTIN est alimenté en eau potable par le réseau public.

V. Prélèvement dans les eaux douces superficielles : 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 (millions de m ³)
2019	Eaux superficielles du canal de Donzère /Mondragon	4 054
2020		4 782
2021		4 572
Prévisionnel N		4 500
Année	Milieu	Volume (m ³)
2019	Eaux de la nappe phréatique	198 768
2020		221 267
2021		179 210
Prévisionnel N		250 000

Commentaires :

Les volumes annuels d'eau prélevés sont cohérents aux prévisionnels qui avaient été définis pour l'année 2021, compte tenu du temps effectif de fonctionnement des tranches. Le prélèvement d'eau de nappe phréatique est principalement dû au pompage de la nappe phréatique pour la régulation du niveau de la nappe. Ce niveau de nappe est très majoritairement dépendant des conditions climatiques et explique le moindre volume de prélèvement par rapport au prévisionnel.

2. Comparaison aux valeurs limites

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des débits instantanés et des volumes d'eau prélevés cette année avec les valeurs limites de prélèvement fixées par la décision ASN n° 2008-DC-0101 du 13 mai 2008.

Milieu	Limites de prélèvement		Prélèvement		Unité
	Prescriptions	Valeur	Valeur maximale	Valeur moyenne	
Eaux superficielles	Débit instantané	195	178	145	m3 / s
	Volume journalier	16,8	15,4	12,5	Millions de m3
	Volume annuel	6 606	4 572	S.O.	Millions de m3
Eaux souterraines	Débit instantané	0,069	0,014	0,006	m3/ s
	Volume journalier	5 961	1220	490	m3
	Volume annuel	454 080	179 210	S.O.	m3

Commentaires :

Les valeurs maximales observées sont inférieures aux limites autorisées

3. Principales opérations de maintenance intervenues sur les équipements et ouvrages 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 du parc EDF, 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 TRICASTIN, la solution retenue est la réalisation de puits de pompage en nappe phréatique (1 puits par tranche). Les quatre puits du CNPE de TRICASTIN sont en exploitation depuis fin 2021 après une phase de validation achevée sur le puit n°4 en 2021.

D'autre part, une campagne de maintenance a été réalisée au mois de janvier 2021 sur les piézomètres OSEZ 002/010/019/035/036/041 et 043 PZ.

4. Opérations exceptionnelles de prélèvements

A l'exception de quelques pompages de fond de fouille pour travaux et d'un exercice de mise en situation de la Force d'Action Rapide du Nucléaire (FARN), dont les volumes sont négligeables, le CNPE du TRICASTIN n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de prélèvement d'eau dans le milieu en 2021.



Station de pompage

Partie III – Restitution et consommation d'eau

I. Restitution d'eau

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

		Restitution d'eau			Unités
		Eau de refroidissement	Rejets radioactifs	Rejets industriels	
Restitution mensuelle	Janvier	471	0,003	0,02	millions de m ³
	Février	345	0,004	0,01	
	Mars	320	0,004	0,01	
	Avril	237	0,005	0,02	
	Mai	319	0,005	0,01	
	Juin	360	0,005	0,01	
	Juillet	396	0,004	0,02	
	Août	461	0,003	0,01	
	Septembre	459	0,003	0,01	
	Octobre	394	0,004	0,01	
	Novembre	345	0,005	0,02	
	Décembre	464	0,004	0,02	
TOTAL	Restitution au milieu aquatique	4 571			millions de m ³
	Pourcentage de restitution d'eau au milieu aquatique par rapport au prélèvement	100			%

II. Consommation d'eau

1. Cumul mensuel

La consommation d'eau correspond à la différence entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau restituée au milieu aquatique. Le tableau ci-dessous détaille le cumul mensuel de consommation d'eau de l'année 2021.

	Consommation d'eau (en millions de m ³)
Janvier	471
Février	345
Mars	320
Avril	237
Mai	319
Juin	360
Juillet	396
Août	461
Septembre	459
Octobre	394
Novembre	345
Décembre	464
TOTAL	4 571

Le CNPE du TRICASTIN fonctionnant en circuit de refroidissement dit « ouvert », 100 % de la consommation d'eau industrielle est restituée au milieu de prélèvement.

2. Comparaison au prévisionnel

La prévision de consommation d'eau est évaluée en tenant compte du programme prévisionnel de production et d'arrêt de tranche du CNPE du TRICASTIN pour l'année 2021. Il a été établi pour l'année 2021 à une valeur de 4 500 millions de m³.

Le volume annuel d'eau consommé est cohérent au prévisionnel qui avait été défini pour l'année 2021.



Station de pompage : les tambours filtrants

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 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, comme le bâtiment Atelier Chaud ou la laverie, les effluents issus de la ventilation dans ces zones nucléaires sont canalisés, filtrés et surveillés en continu. Le rejet est réalisé par des cheminées dédiées de l'installation.

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

	⁴¹ Ar (GBq)	⁸⁵ Kr (GBq)	^{131m} Xe (GBq)	¹³³ Xe (GBq)	¹³⁵ Xe (GBq)	¹³¹ I (GBq)	¹³³ I (GBq)	⁵⁸ Co (GBq)	⁶⁰ Co (GBq)	¹³⁴ Cs (GBq)	¹³⁷ Cs (GBq)
Janvier	4.42	--	--	40.2	126	5.04 ^{e-4}	1.31 ^{e-3}	5.74 ^{e-5}	8.37 ^{e-5}	5.74 ^{e-5}	7.05 ^{e-5}
Février	3.71	2.60 ^{e-1}	2.11 ^{e-3}	33.0	186	1.11 ^{e-3}	7.74 ^{e-4}	5.70 ^{e-5}	8.19 ^{e-5}	6.26 ^{e-5}	6.53 ^{e-5}
Mars	2.68	1.15 ^{e-1}	3.45 ^{e-3}	38.4	47.6	2.87 ^{e-4}	8.48 ^{e-4}	7.18 ^{e-5}	9.24 ^{e-5}	6.49 ^{e-5}	7.01 ^{e-5}
Avril	3.88	4.68 ^{e-1}	1.90 ^{e-3}	30.7	33.8	1.60 ^{e-4}	1.19 ^{e-3}	1.02 ^{e-4}	1.23 ^{e-4}	9.13 ^{e-5}	9.03 ^{e-5}
Mai	2.63	4.80 ^{e-1}	3.94 ^{e-3}	32.5	58.9	1.18 ^{e-4}	7.28 ^{e-4}	6.57 ^{e-5}	9.45 ^{e-5}	6.62 ^{e-5}	6.85 ^{e-5}
Juin	2.93	1.23 ^{e-1}	2.82 ^{e-3}	33.1	64.6	1.53 ^{e-4}	1.09 ^{e-3}	6.84 ^{e-5}	1.18 ^{e-4}	6.40 ^{e-5}	6.66 ^{e-5}
Juillet	2.32	1.19 ^{e-1}	2.88 ^{e-3}	63.8	73.3	1.94 ^{e-4}	9.89 ^{e-4}	6.09 ^{e-5}	9.94 ^{e-5}	6.15 ^{e-5}	6.23 ^{e-5}
Août	2.10	3.34 ^{e-2}	4.91 ^{e-3}	64.0	49.6	3.61 ^{e-4}	1.00 ^{e-3}	5.99 ^{e-5}	8.87 ^{e-5}	5.76 ^{e-5}	6.25 ^{e-5}
Septembre	4.58	1.72 ^{e-2}	2.97 ^{e-3}	30.3	20.4	1.14 ^{e-4}	8.39 ^{e-4}	6.00 ^{e-5}	8.41 ^{e-5}	5.49 ^{e-5}	5.50 ^{e-5}
Octobre	3.78	4.58 ^{e-3}	7.83 ^{e-4}	36.4	35.3	4.82 ^{e-4}	5.32 ^{e-4}	5.98 ^{e-5}	8.62 ^{e-5}	5.85 ^{e-5}	6.63 ^{e-5}
Novembre	2.77	3.52 ^{e-2}	4.30 ^{e-3}	37.6	88.8	4.69 ^{e-3}	1.47 ^{e-3}	5.08 ^{e-5}	7.45 ^{e-5}	4.83 ^{e-5}	5.08 ^{e-5}
Décembre	4.81	5.56 ^{e-3}	9.76 ^{e-4}	36.7	98.1	9.79 ^{e-4}	5.41 ^{e-4}	5.65 ^{e-5}	7.63 ^{e-5}	5.67 ^{e-5}	5.58 ^{e-5}
TOTAL ANNUEL	40.6	1.66	3.10^{e-2}	477	883	9.14^{e-3}	1.13^{e-2}	7.70^{e-4}	1.10^{e-3}	7.43^{e-4}	7.84^{e-4}

	Volumes rejetés (m ³)	Activités gaz rares (GBq)	Activité Tritium (GBq)	Activité Carbone 14 (GBq)	Activités Iodes (GBq)	Activités Autres PF PA * (GBq)
Janvier	3.84 ^e 8	171	43.3	111	1.81 ^e -3	2.69 ^e -4
Février	3.58 ^e 8	223	58.6		1.88 ^e -3	2.67 ^e -4
Mars	3.89 ^e 8	88.9	72.0		1.14 ^e -3	2.99 ^e -4
Avril	3.96 ^e 8	68.8	87.5	58.7	1.35 ^e -3	4.04 ^e -4
Mai	3.95 ^e 8	94.5	65.8		8.46 ^e -4	2.95 ^e -4
Juin	3.75 ^e 8	101	97.1		1.25 ^e -3	3.17 ^e -4
Juillet	3.99 ^e 8	140	130	145	1.18 ^e -3	2.84 ^e -4
Août	3.54 ^e 8	116	105		1.36 ^e -3	2.69 ^e -4
Septembre	3.43 ^e 8	55.3	105		9.52 ^e -4	2.54 ^e -4
Octobre	3.79 ^e 8	75.5	94.0	63.7	1.01 ^e -3	2.71 ^e -4
Novembre	3.84 ^e 8	129	75.5		6.16 ^e -3	2.24 ^e -4
Décembre	3.71 ^e 8	140	33.2		1.52 ^e -3	2.45 ^e -4
TOTAL ANNUEL	4,53.10⁹	1403	967	379	2.05^e-2	3.40^e-3

*Produits de Fission et Produits d'activation Carbone 14 exclu.

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

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

d. Comparaison pluriannuelle et au prévisionnel

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

Année	Rejets par catégorie de radionucléides (GBq)				
	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres produits de fission et d'activation
2019	4843	1147	557	0,040	0,0029
2020	3470	954	410	0,053	0,0034
2021	1403	967	379	0,021	0,0034
Prévisionnel 2021	2800	1500	500	0,030	0,0040

Commentaires :

Les rejets radioactifs à l'atmosphère sont cohérents avec les valeurs du prévisionnel 2021. Une politique de gestion et d'optimisation des rejets d'effluents gazeux du CNPE permet d'afficher une réduction des rejets en tritium gazeux et gaz rares par rapport aux valeurs prévisionnelles 2021.



Surveillance de l'air

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° 2008-DC-0102.

Paramètres	Localisation prélèvement	Limites annuelles de rejet		Rejet	
		Prescriptions	Valeur limite	Valeur Annuelle	Valeur maximale annuelle
Gaz rares	CNPE	Activité annuelle rejetée (GBq)	72 000	1403	Sans objet
	Cheminée n° 1	Débit d'activité moyen journalier (Bq/s)	5,0 E7	Sans objet	5,60 E5
	Cheminée n° 2	Débit d'activité moyen journalier (Bq/s)	5,0 E7	Sans objet	1,05 E6
Carbone 14	CNPE	Activité annuelle rejetée (GBq)	2200	379	Sans objet
Tritium	CNPE	Activité annuelle rejetée (GBq)	8000	967	Sans objet
	Cheminée n° 1	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	5,0 E6	Sans objet	4,56 E4
	Cheminée n° 2	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	5,0 E6	Sans objet	3,27 E4
Iodes	CNPE	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,6	0,021	Sans objet
	Cheminée n° 1	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	500	Sans objet	1,74
	Cheminée n° 2	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	500	Sans objet	5,63
Autres produits de fission et produits d'activation	CNPE	Activité annuelle rejetée (GBq)	1,6	0,0034	Sans objet
	Cheminée n° 1	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	500	Sans objet	9,84 E-2
	Cheminée n° 2	Débit d'activité moyen par période calendaire (Bq/s)	500	Sans objet	1,37 E-1

Commentaires : Les rejets radioactifs à l'atmosphère du CNPE du TRICASTIN respectent les valeurs limites de rejets de la décision ASN n° 2008-DC-0102 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 sont donnés dans le tableau suivant.

	Rejets de vapeur du circuit secondaire	Rejets au niveau des événements des réservoirs d'eau de refroidissement des piscines et d'entreposage des effluents liquides
	Tritium (Bq)	Tritium (Bq)
Janvier	0	5.26 ^{e7}
Février	1.96 ^{e7}	6.08 ^{e7}
Mars	2.60 ^{e7}	6.68 ^{e7}
Avril	5.00 ^{e7}	7.50 ^{e7}
Mai	4.80 ^{e7}	3.47 ^{e7}
Juin	0	6.70 ^{e7}
Juillet	5.00 ^{e7}	6.44 ^{e7}
Août	3.00 ^{e7}	6.34 ^{e7}
Septembre	8.50 ^{e7}	5.16 ^{e7}
Octobre	1.05 ^{e8}	6.92 ^{e7}
Novembre	8.00 ^{e7}	8.1 ^{e7}
Décembre	1.00 ^{e8}	2.30 ^{e7}
TOTAL ANNUEL	5.94^{e8}	7.10^{e8}

La somme des rejets diffus de tritium ne représente qu'environ un millième des rejets tritium gazeux totaux.

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

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

- Le lessivage chimique des générateurs de vapeur : l'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques à l'atmosphère (ammoniac...) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.
- Les émissions des groupes électrogènes de secours : les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel, les Turbines à Combustion (TAC) et les Diesels d'Ultime Secours (DUS) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO₂, NO_x) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents.
- Les émissions de fluides frigorigènes. En effet, un CNPE est 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 frigorigènes. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.
- Les opérations de maintenance effectuées dans les bâtiments réacteur des CNPE : Lors de ces opérations, une quantité plus ou moins importante de calorifuges est changée par des produits neufs. Pendant les phases de montée en température correspondant à la remise en service des installations, certains types de calorifuges émettent, par dégradation thermique, des vapeurs formolées dans l'enceinte, qui peuvent être à l'origine de rejets de monoxyde de carbone.
- Le conditionnement de circuit à l'arrêt : à l'occasion des arrêts de tranche pour une durée supérieure à une semaine, la conservation humide des générateurs de vapeur permet de s'affranchir du risque de corrosion des matériaux constitutifs et de disposer d'une barrière biologique (écran d'eau) pour réaliser des travaux environnants. Les générateurs de vapeur sont alors remplis avec de l'eau déminéralisée conditionnée à l'hydrazine et additionnée avec de l'ammoniaque dans des proportions définies dans les spécifications chimiques de conservation à l'arrêt.

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

La quantité annuelle évaluée d'oxyde de soufre (SO_x) et d'azote (NO_x) rejetée dans l'atmosphère lors du fonctionnement périodique des groupes électrogènes de secours (moteurs Diesels) ayant fonctionné pendant 344 heures et diesels d'ultime secours (DUS) ayant fonctionné pendant 60 heures, au total sur les 4 tranches pour 2021 est de :

Paramètre	Unité	Groupes électrogènes	DUS	TOTAL
SO _x	kg	3	1	4
NO _x	kg	26192	15566	41758

b. Rejets de formaldéhyde et de monoxyde de carbone

En 2021, 20 m³ de calorifuges dans les enceintes des bâtiments réacteurs de TRICASTIN ont été renouvelés.

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

Concentration calculée	Unité	Paramètres	EBA	ETY
Concentration maximale ajoutée dans l'atmosphère	mg/m ³	Formaldéhyde	2,19 ^{e-3}	5,19 ^{e-5}
		Monoxyde de carbone	2,05 ^{e-3}	4,84 ^{e-5}

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	77
Ethanolamine		48

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

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

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
Hydrogène-chloro-fluor-carbone (HCFC)	0	0
Hydrogène-fluoro-carbone (HFC)	73	141,3
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	0	0
Total des émissions de GES en tonne équivalent CO ₂		141,3

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 570 tonne équivalent CO₂.

L'équivalent CO₂ total des émissions de GES du CNPE constituées des pertes de fluides frigorigènes et de la combustion des diesels de secours, représente 2,88 10⁻² gCO₂ / kWh électrique produit, la production annuelle nette d'électricité ayant été de 24,74 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 de TRICASTIN 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, des effluents liquides radioactifs sont produits :

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

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

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

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

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

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

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

a. Règles spécifiques de comptabilisation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c. Cumul mensuel

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

	¹³¹ I (MBq)	⁵⁴ Mn (MBq)	⁶³ Ni (MBq)	⁵⁸ Co (MBq)	⁶⁰ Co (MBq)	^{110m} Ag (MBq)	^{123m} Te (MBq)	¹²⁴ Sb (MBq)	¹²⁵ Sb (MBq)	¹³⁴ Cs (MBq)	¹³⁷ Cs (MBq)
Janvier	1,3	1,4	3,7	1,3	9,5	17,1	1,1	1,3	3,9	1,3	1,4
Février	1,7	2,5	6,9	1,7	54,2	31,2	1,5	1,8	5,3	1,8	2,0
Mars	1,7	2,1	6,1	2,0	67,1	33,9	1,4	1,7	5,1	1,7	2,1
Avril	1,8	2,0	16,2	2,1	26,2	13,2	1,5	1,8	5,6	1,8	2,2
Mai	2,2	2,6	4,6	2,4	75,6	38,4	1,8	2,2	6,6	2,2	2,5
Juin	2,3	2,5	5,9	2,2	39,7	20,4	2,0	2,4	6,7	2,3	2,6
Juillet	1,7	1,7	5,1	1,7	18,7	8,3	1,4	1,7	4,9	1,7	1,9
Août	1,2	1,3	3,6	1,2	14,1	6,9	1,2	1,2	3,4	1,2	1,4
Septembre	1,6	1,5	5,2	1,4	17,7	10,1	1,4	1,5	4,7	1,5	1,8
Octobre	2,0	2,0	10,2	1,9	42,9	30,0	2,0	1,9	6,0	2,0	2,2
Novembre	2,0	2,1	6,3	1,9	23,8	10,2	2,3	2,0	5,9	2,0	2,3
Décembre	1,4	1,7	8,0	1,3	42,0	14,4	1,1	1,4	3,8	1,4	1,6
TOTAL ANNUEL	20,9	23,2	81,8	21,1	431,6	234,0	18,7	20,9	61,8	20,7	23,9

	Volumes rejetés (m ³)	Activité Tritium (MBq)	Activité Carbone 14 (MBq)	Activités Iodes (MBq)	Activités Autres PF et PA* (MBq)
Janvier	2,17E+04	4,74E+06	3,73E+03	1,34	38,3
Février	3,14E+04	2,77E+06	1,25E+03	1,67	101,9
Mars	2,58E+04	5,88E+06	7,16E+03	1,65	119,0
Avril	3,69E+04	3,21E+06	5,30E+03	1,82	56,4
Mai	3,67E+04	2,10E+06	3,36E+03	2,21	135,3
Juin	2,77E+04	2,44E+06	4,22E+03	2,28	80,8
Juillet	4,14E+04	2,01E+06	3,90E+03	1,67	42,3
Août	3,01E+04	2,40E+06	2,96E+03	1,23	31,9
Septembre	2,47E+04	4,16E+06	3,35E+03	1,64	41,7
Octobre	3,33E+04	4,76E+06	2,26E+03	2,03	90,8
Novembre	3,84E+04	5,59E+06	4,13E+03	1,98	87,0
Décembre	3,35E+04	2,04E+06	2,05E+03	1,36	68,6
TOTAL ANNUEL	3,82E+05	4,21E+07	4,37E+04	20,9	894

* Activité Autres PF et PA, hors 3H, 14C et 63Ni

Commentaires :

Conformément à la réglementation, il a été vérifié que les rejets liquides ne présentent pas d'activité volumique alpha globale d'origine artificielle supérieure aux seuils de décision.

Les eaux issues des salles des machines, rejetées par les réservoirs EX, sont conformes à la réglementation (article 2.3.3 de la décision n°2017-DC-0588) et ne présentent pas d'activité en tritium supérieur à 400 Bq/l.

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.

Rejets par catégorie de radionucléides (MBq)				
	Tritium	Carbone 14	Iodes	Autres PA et PF *
2019	3,74E+07	4,06E+04	21	1380
2020	3,85E+07	4,92E+04	26	1207
2021	4,21E+07	4,37E+04	21	894
Prévisionnel 2021	5,50E+07	4,50E+04	30	1100

* Activité Autres PF et PA, hors 3H, 14C et 63Ni

Commentaires :

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

La politique d'optimisation des rejets de tritium gazeux (voir partie IV.1.1.d)) s'accompagne d'une augmentation des rejets de tritium liquide, ce qui explique l'évolution des rejets tritium liquides sur trois ans.

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° n° 2008-DC-0102

Paramètres	Limites annuelles de rejet		Rejet 2021
	Prescriptions	Valeur	Valeur
Tritium	Activité annuelle rejetée (GBq)	90 000	42 100
Carbone 14	Activité annuelle rejetée (GBq)	260	43,7
Iodes	Activité annuelle rejetée (MBq)	600	21
Autres PA et PF*	Activité annuelle rejetée (MBq)	60 000	977

* Activité Autres PF et PA, 63Ni inclus.

Commentaires :

Les limites réglementaires de rejets de rejet liquide ont été respectées en 2021.

f. Surveillance des eaux de surface

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

Les résultats des mesures réalisées sur les eaux 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	0,13 Bq/L	0,37 Bq/L	2 Bq/L	Sans objet		
	Tritium	22 Bq/L	92 Bq/L	280 Bq/L	9 Bq/L	39 Bq/L	140 ⁽¹⁾ / 100 ⁽²⁾ Bq/L
	Potassium	1,8 mg/L	2,7 mg/L	Sans objet	Sans objet		
Matières en suspension	Activité bêta globale	0,04 Bq/kg sec	0,86 Bq/kg sec	Sans objet	Sans objet		

(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 très inférieures aux limites réglementaires.

2. Rejets d'effluents liquides chimiques

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

Ces rejets d'effluents chimiques sont issus :

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

Les principales substances utilisées sont :

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

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

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

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

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

-L'éthanolamine a des propriétés irritantes (oculaire, cutané, brûlure d'œsophage dans le cas de l'ingestion) et corrosives. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à cette substance.

-Les produits de dégradation de l'éthanolamine sont constitués des ions acétates, formiates, glycolates et oxalates, ainsi que de méthylamine et d'éthylamine. Il s'agit de substances irritantes voire corrosives, qui sont faiblement toxiques dans les conditions de rejet. Aucune VTR issue des bases de données de référence n'est associée à ces substances.

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

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 issue des réservoirs T, S et Ex

i. Cumul mensuel

Les cumuls mensuels et annuels des rejets chimiques transitant par l'ouvrage de rejet principal et issus des réservoirs T, S et EX sont donnés dans le tableau suivant :

	Acide borique (kg)	Hydrazine (kg)	Ethanolamine (kg)	Azote (kg)	Phosphates (kg)	Détergents (kg)
Janvier	138	0,11	0,55	306	4,3	3,1
Février	305	0,15	1,07	252	17,9	4,1
Mars	272	0,08	0,66	205	20,8	3,6
Avril	117	0,11	4,15	157	3,8	4,8
Mai	91	0,09	0,92	198	15,0	4,9
Juin	398	0,07	1,25	268	41,4	4,9
Juillet	778	0,10	1,04	193	22,0	4,2
Août	1137	0,08	0,75	235	3,2	2,9
Septembre	1630	0,08	0,62	302	5,8	2,6
Octobre	1410	0,10	0,83	254	6,4	3,8
Novembre	1678	0,11	1,54	193	15,5	5,5
Décembre	283	0,11	1,27	226	2,7	4,0
TOTAL ANNUEL	8237	1,18	14,7	2788	159	48,3

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.

Substances	Unité	2019	2020	2021	Prévisionnel 2021
Acide borique	kg	12 532	9 115	8 237	11 000
Hydrazine	kg	2,12	1,51	1,18	2,00
Ethanolamine	kg	18,4	17,2	14,7	30
Azote	kg	2 887	2 688	2 788	2 800
Phosphates	kg	145	161	159	260
Détergents	kg	610	50,3	48,3	600

Commentaires :

Les valeurs annuelles de rejets d'effluents non radioactifs sur l'année 2021 sont cohérentes et inférieures au prévisionnel 2021.

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 la décision ASN n° 2008-DC-0102 du 13 mai 2008 fixant les limites de rejets dans l'environnement du CNPE de TRICASTIN.

Substances	Limite	Rejet 2021	Limite	Rejet 2021	Limite	Rejet 2021	Limite	Rejet 2021
	Flux 2h (kg)	Valeur maximale calculée (kg/2h)	Flux 24h (kg)	Valeur maximal calculée (kg/24h)	Flux annuel ajouté (kg)	Flux annuel calculé (kg)	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée (mg/l)
Acide borique	1 500	198	2 400	608	17 000	8 237	9,8	0,19
Hydrazine	Sans objet		5	0,016	50	1,18	1,10E-02	7,20E-06
Ethanolamine	Sans objet		27	3,1	1 280	15	9,10E-02	7,30E-04
Azote	26	11	48	42	7 600	2 788	Sans objet	
Phosphates	120	37	205	94	1 250	159	0,78	0,055
Détergents	300	0,2	480	1,2	8 100	49	1,95	0,0003
Métaux totaux	Sans objet		13	2,0	Sans objet		Sans objet	
MES			240	200			0,55	0,067
DCO			960	95			3,2	0,023

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 de TRICASTIN est évaluée à 1,5 kg.

Commentaires :

Les rejets liquides chimiques issus des réservoirs T, S et Ex respectent les valeurs limites de rejet de la décision ASN n° 2008-DC-0102 du 13 mai 2008.

d. Rejets d'effluents liquides chimiques issus de la station de déminéralisation du CNPE de TRICASTIN.

Ce paragraphe présente les flux 24 h de rejets de substances chimiques liés uniquement à la station de déminéralisation du CNPE du TRICASTIN pour l'année 2021.

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites réglementées fixées par la décision ASN n° 2008-DC-0102.

	Limite	Rejet 2021
Substances	Flux 24h (kg)	Valeur maximal calculée (kg/24h)
Sulfate	3450	2690
Chlorure	856	302
MES	300	219

Commentaires :

Les rejets liquides chimiques issus de la station de déminéralisation respectent les valeurs limites de rejet de la décision ASN n° 2008-DC-0102 pour l'année 2021.

e. Rejets d'effluents liquides chimiques issus de plusieurs origines

Ce paragraphe présente les rejets de substances chimiques réglementées et issues de plusieurs origines du CNPE du TRICASTIN pour l'année 2021

Le tableau ci-dessous permet un comparatif des valeurs de rejets de l'année 2021 avec les valeurs limites réglementées fixées par la décision ASN n° 2008-DC-0102.

	Limite	Rejet 2021	Limite	Rejet 2021
Substances	Flux 24h (kg)	Valeur maximale (kg/24h)	Concentration maximale ajoutée au rejet (mg/l)	Valeur maximale calculée (mg/l)
Sodium	1770	1 210	3,4	0,81
Azote	66	42	0,23	0,015
Métaux totaux	28	6,0	0,07	0,006

Commentaires :

Les rejets liquides chimiques concomitants de plusieurs origines respectent les valeurs limites de rejet de la décision ASN n° 2008-DC-0102 pour l'année 2021.

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

En 2021, le CNPE de Tricastin a effectué une visite interne règlementaire à fréquence quinquennale sur le réservoir de stockage des effluents liquides OTER 003BA. Aucune intervention ou opération de maintenance anticipée n'ont été nécessaires.

4. Opérations exceptionnelles de rejets d'effluents liquides

Le CNPE de TRICASTIN n'a pas réalisé d'opération exceptionnelle de rejet d'effluents liquides chimiques en 2021.

III. Rejets thermiques

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

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

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

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

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

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

1. En conditions climatiques normales

Les rejets thermiques issus du circuit de refroidissement du CNPE de TRICASTIN et des différents circuits secondaires nécessaires à son fonctionnement doivent respecter les limites fixées dans la décision ASN n°2008-DC-0102.

Le CNPE du TRICASTIN 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. Les paramètres règlementés sont la température moyenne journalière du canal en aval après mélange et l'échauffement moyen journalier du canal entre l'amont et l'aval du rejet.

Le bilan des valeurs mensuelles de ces différents paramètres pour l'année 2021 sont présentés dans les tableaux suivants :

	Température amont (°C)			Echauffement moyen journalier amont-aval calculé (°C)			Température aval calculée après mélange (°C)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
Janvier	7,5	5,1	6,4	2,5	1,0	1,4	8,7	6,9	7,8
Février	9,6	6,4	8,0	1,2	0,6	0,9	10,7	7,3	8,9
Mars	12,1	8,9	10,0	1,8	0,7	1,2	12,6	10,2	11,1
Avril	15,1	11,4	12,7	2,0	0,5	1,2	16,3	12,0	13,8
Mai	16,1	13,4	14,1	1,2	0,4	0,8	16,9	14,1	14,8
Juin	20,6	16,0	19,0	1,1	0,8	0,9	21,4	17,1	19,9
Juillet	22,6	17,5	20,1	1,1	0,5	0,7	23,4	18,1	20,8
Août	22,5	20,0	21,3	3,9	0,8	1,9	25,6	21,1	23,1
Septembre	22,4	19,8	21,5	4,1	2,2	3,2	26,4	22,4	24,5
Octobre	19,9	15,4	16,6	4,5	0,9	2,8	24,1	17,7	19,4
Novembre	15,8	10,2	12,4	3,4	0,9	2,0	17,0	12,0	14,3
Décembre	10,2	6,4	8,0	2,8	0,5	1,5	12,4	8,1	9,5

2. Comparaison aux limites

Les rejets thermiques du CNPE du TRICASTIN doivent respecter les limites fixées à l'article 6 de la décision ASN n° 2008-DC-0102.

Paramètres	Unité	Limite en vigueur	Valeurs maximales
Echauffement moyen journalier amont-aval calculé.	°C	4°C	4,5°C (*)
		(*) 6°C si le débit canal moyen journalier < 480 m ³ /s	Avec un débit canal de 403 m ³ /s < 480 m ³ /s
Température moyenne journalière aval après mélange.	°C	28 °C	26,4

Commentaires :

Les limites réglementaires associées aux rejets thermiques ont toujours été respectées en 2021.

3. En conditions climatiques exceptionnelles

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

4. 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.

I. Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

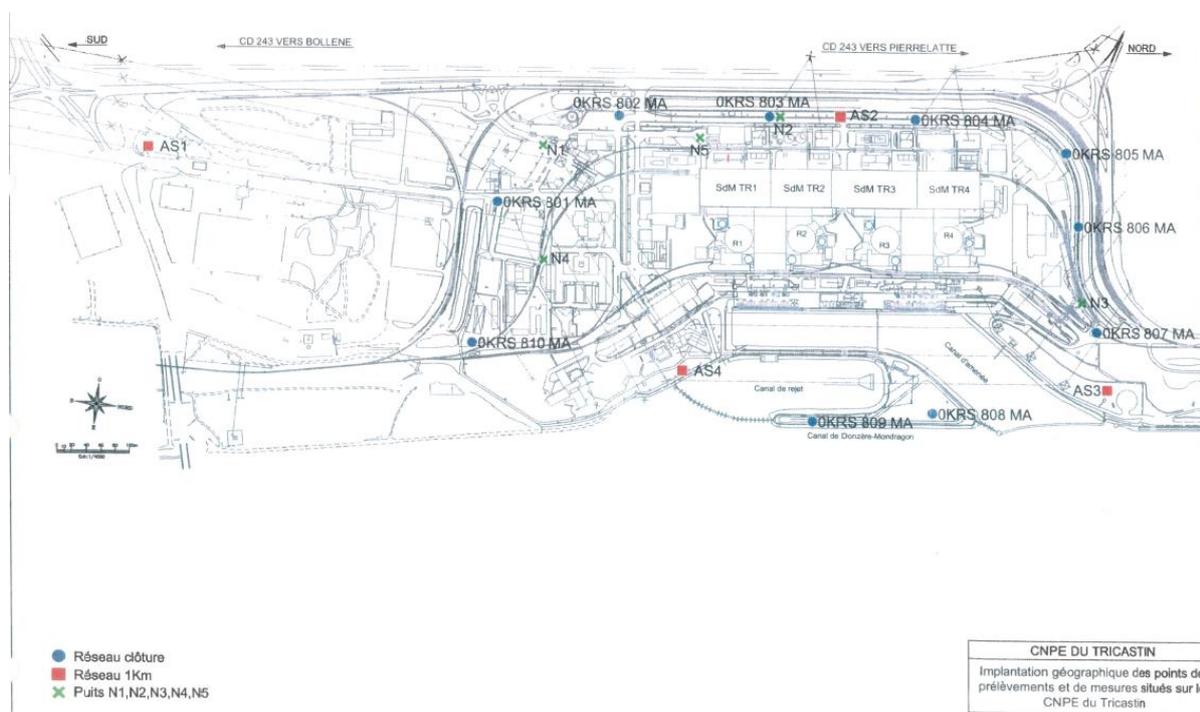
Ces études radioécologiques ont permis de caractériser finement les niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'environnement autour du CNPE, et de préciser l'influence des rejets d'effluents liquides et à l'atmosphère. Les données collectées depuis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

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

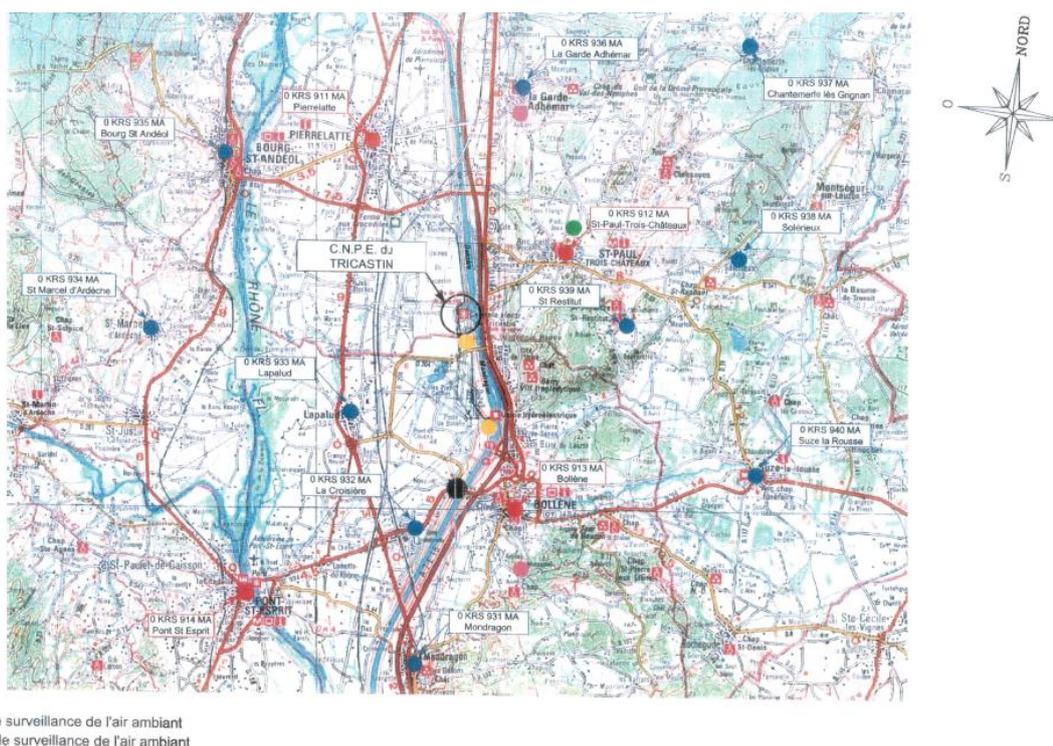
1. Surveillance de la radioactivité ambiante

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

Carte des réseaux de surveillance radia métrique 1 Km et clôtures :



Carte des réseaux de surveillances radia métrique 5 km et 10 km :



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	98	3065	145	114
1 km	91	2860	111	124
5 km	92	162	119	100
10 km	98	192	109	100

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. Les valeurs maximales mesurées sur les réseaux de surveillance « clôture » et « 1 km », en mars 2021, sont dues au passage d'un transport de déchets réglementés.

2. Surveillance du compartiment atmosphérique

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

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

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

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

Compartiment	Paramètres	Moyenne annuelle	Valeur maximale mesurée	Limite réglementaire	
Poussières atmosphériques	Bêta globale mBq/m ³	0,69	2,07	10	
	Spectrométrie gamma mBq/m ³	⁵⁸ Co	<0,010	< 0,024	Sans objet
		⁶⁰ Co	< 0,009	< 0,055	
		¹³⁴ Cs	< 0,008	< 0,012	
		¹³⁷ Cs	< 0,007	<0,010	
Tritium atmosphérique Bq/m ³		< 0,15	< 0,19	50	
Eaux de pluie	Bêta globale Bq/L	0,13	0,26	Sans objet	
	Tritium Bq/L	4,6	5,6	Sans objet	

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 sur les poussières atmosphériques et de l'activité en tritium atmosphérique sont très inférieures aux limites réglementaires.

On note cette année trois jours en septembre 2021 avec une mesure d'activité bêta globale sur les poussières atmosphériques supérieure à 2 mBq/m³. Conformément à la réglementation en vigueur, une analyse complémentaire par spectrométrie gamma a été réalisée et celle-ci confirme l'absence de radionucléide d'origine artificielle. Cette légère augmentation de l'activité bêta globale est due à des phénomènes météorologiques naturels.

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	< 0,35	< 0,42
	⁶⁰ Co		< 0,33	< 0,40
	¹³⁴ Cs		< 0,31	< 0,38
	¹³⁷ Cs		< 0,31	< 0,38
	⁴⁰ K		486	800
Lait (Bq/L)	⁵⁸ Co	Mensuelle	< 0,36	< 0,40
	⁶⁰ Co		< 0,42	< 0,45
	¹³⁴ Cs		< 0,39	< 0,40
	¹³⁷ Cs		< 0,38	< 0,40
	⁴⁰ K		62	72

Commentaires :

Aucun radionucléide d'origine artificielle significatif n'a été mesuré par le CNPE sur les analyses de lait et de végétaux terrestres prélevés aux voisinages du CNPE.

Il n'y avait pas de lait disponible auprès de notre fournisseur sur les mois de janvier, février et décembre 2021. D'autre part, il n'y a plus, autour du CNPE du TRICASTIN, qu'une seule entreprise agricole en capacité de fournir du lait. Les données de spectrométrie gamma sur le lait présentes dans le tableau ci-dessus sont réalisées sur du lait provenant d'une ferme de La Garde-Adhémar.

De même, suite aux conditions climatiques locales, il n'y avait pas de végétaux frais disponibles pour les analyses radiologiques sur les mois de juillet, août et septembre 2021.

Pour compléter la surveillance du milieu terrestre, EDF mandate chaque année l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) pour réaliser une étude radioécologique des CNPE de la vallée du Rhône, dont le CNPE du TRICASTIN.

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment terrestre ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport « Suivi radioécologique annuel des CNPE du Rhône », mis à disposition sur le site internet du CNPE de TRICASTIN (<https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-du-tricastin/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-du-tricastin>).

4. Surveillance du milieu aquatique

Le rapport « Suivi radioécologique annuel des CNPE du Rhône » cité dans le § précédent comprend également une étude radioécologique du milieu aquatique.

En complément, EDF mandate chaque année Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement (INRAe) pour réaliser une étude hydrobiologique du Rhône au droit du CNPE du Tricastin.

Les résultats des mesures annuelles réalisées sur le compartiment aquatique ainsi que leur interprétation pour l'année 2021 sont présentés dans le rapport de l'INRAe «Etude hydrobiologique du Rhône CNPE du Tricastin » mis à disposition sur demande auprès du CNPE.

5. Surveillance des eaux souterraines

Les eaux souterraines situées au droit du CNPE font l'objet d'une surveillance radiologique au moyen de piézomètres repartis sur l'ensemble du CNPE.

Au titre de la décision ASN n° 2008-DC-0101, le CNPE du TRICASTIN réalise des mesures règlementaires mensuelles d'activité en tritium et bêta global sur six piézomètres : 0SEZ 012 / 018 / 023 / 024 / 028 et 042 PZ. Le CNPE réalise des analyses complémentaires sur l'ensemble des piézomètres du site.

Le tableau ci-dessous présente les résultats des mesures radiochimiques réalisées sur les piézomètres du CNPE, à l'exception des piézomètres faisant l'objet d'un plan de surveillance renforcé suite aux événements de novembre 2019 et décembre 2021. Le suivi radiologique des piézomètres concernés est traité dans les commentaires ci-après.

Paramètres	Unité	Valeur moyenne mesurée	Valeur maximale mesurée
Tritium	Bq/L	< seuil 0 *	57
Bêta global	Bq/L	< seuil 0 *	< seuil 0 *

* : Seuil 0 est le seuil de validation des mesures à partir duquel la substance est considérée comme détectée.

Commentaires :

Le CNPE du TRICASTIN possède une enceinte géotechnique qui ceinture le sous-sol sous les bâtiments industriels de la centrale (cf fig 1). Ainsi, les eaux internes sont bien séparées de la nappe géotechnique externe. Grâce à un pompage régulier, l'eau contenue dans l'enceinte interne est maintenue sous le niveau de la nappe phréatique externe afin de protéger cette dernière.

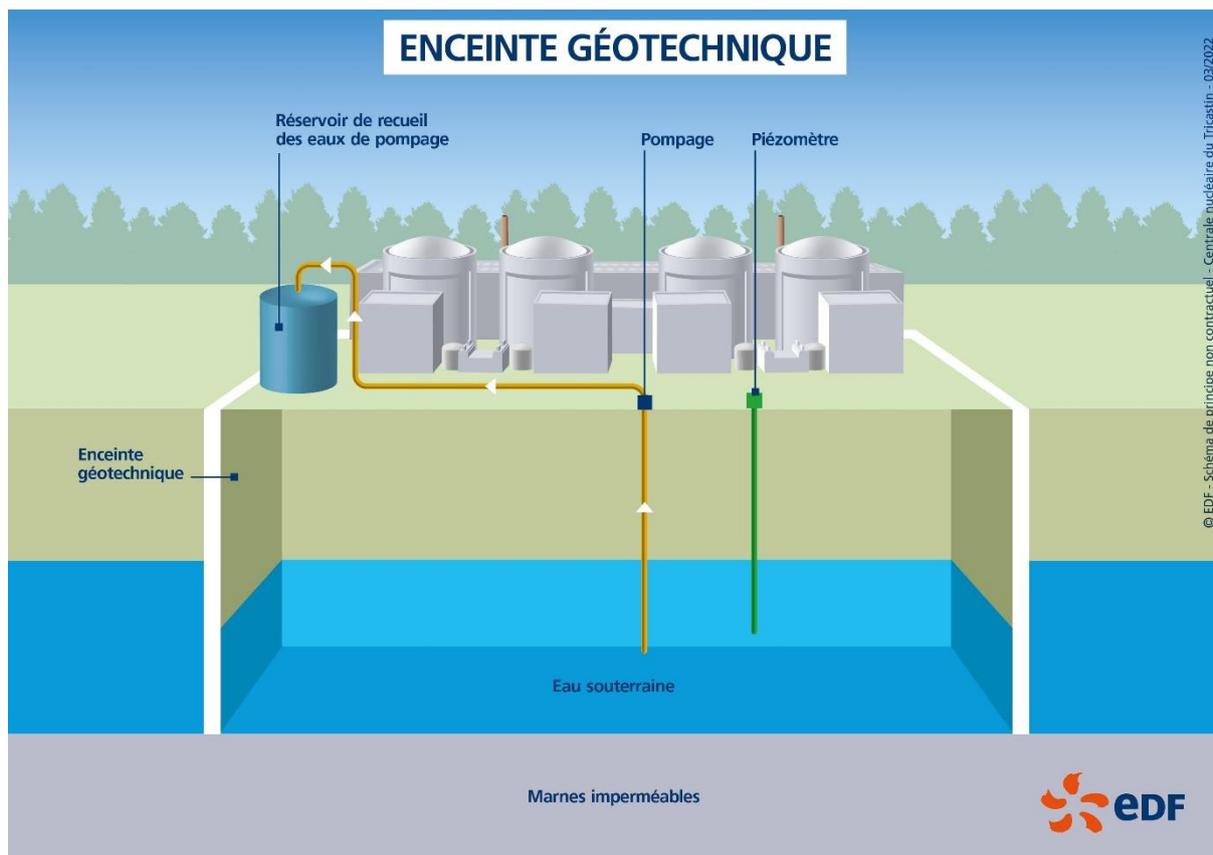


Figure 1 : Schéma de principe du CNPE de TRICASTIN et de l'enceinte géotechnique.

Un réseau piézométrique permet la surveillance de nappe phréatique, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'enceinte géotechnique.

L'intégralité des mesures d'activité bêta global sur le réseau de surveillance piézométrique de la nappe phréatique du CNPE est inférieure au seuil 0 de 1 Bq/l.

Le suivi radiochimique en activité tritium sur l'ensemble des piézomètres, hors surveillance renforcée, est conforme à l'attendu avec des valeurs moyennes inférieures au seuil zéro de validation des mesures (20 Bq/L). Une valeur maximale de 57 Bq/L a été mesurée en tritium en 2021 sur le piézomètre 0SEZ038PZ. Cette valeur, qui reste inférieure au seuil d'investigation (Seuil 1) correspondant aux critères de qualité des eaux potables, est dû aux variations de concentration tritium suite aux marquages de la nappe interne du CNPE en 2019 et 2021 commentés ci-après.

En novembre 2019, le CNPE a déclaré un Evènement Significatif Environnement suite à la détection d'un marquage en tritium sur le piézomètre 0SEZ042PZ. L'origine de ce marquage était dû à une fuite sur une tuyauterie de brassage du système KER de recueil des effluents avant rejet. La réparation de la tuyauterie a été réalisée dès novembre 2019.

A partir de ce point de marquage (0SEZ042PZ), le tritium migre au sein de l'enceinte géotechnique interne sous l'influence des flux d'eaux vers le piézomètre 0SEZ023PZ, point de pompage de la nappe (cf fig 2). Ce phénomène de migration explique l'évolution de l'activité tritium sur les piézomètres situés à l'intérieur de l'enceinte géotechnique entre les piézomètres 0SEZ042PZ et 0SEZ023PZ.

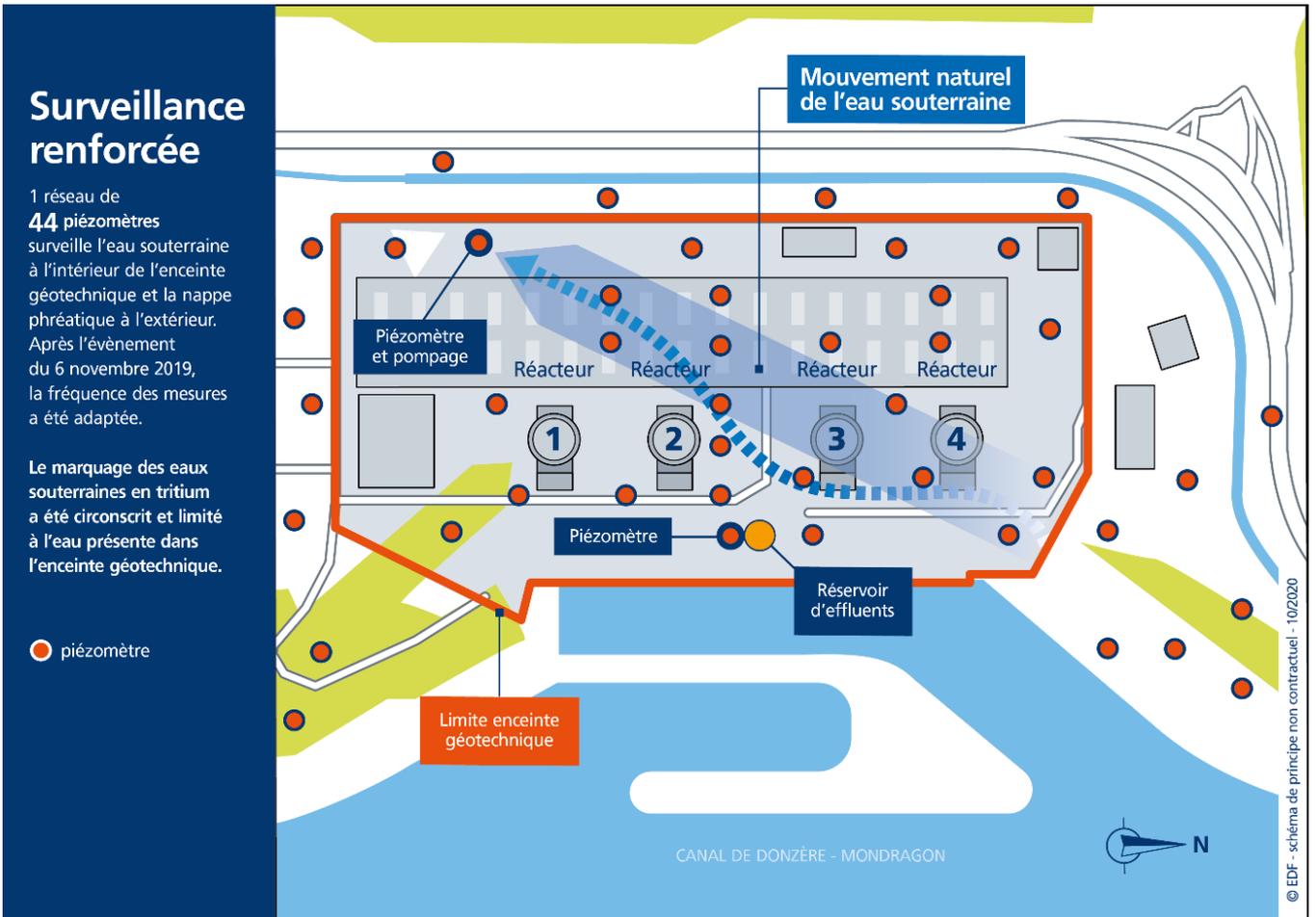


Figure 2 : Infographie sur les mouvements d'eaux souterraines à l'intérieur de l'enceinte géotechnique interne

Au regard de cet événement de 2019, et en accord avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire, une surveillance renforcée a été mise en place dès novembre 2019 sur la nappe interne du CNPE du TRICASTIN. Cette surveillance complémentaire concerne 10 piézomètres pour suivre l'évolution de l'activité tritium entre les piézomètres 0SEZ042PZ et 0SEZ023PZ avec des fréquences variables (journalières à hebdomadaires). En novembre 2021, et conformément à l'attendu vis-à-vis des flux d'eaux de la nappe interne, l'activité tritium sur ces piézomètres reste marquée mais en nette régression. La mesure moyenne en tritium de janvier 2021 à novembre 2021 sur cette surveillance renforcée est de 80 Bq/L avec des évolutions à la hausse et la baisse en fonction des conditions météo et des flux d'eau dans la nappe interne (pour rappel, la moyenne de l'activité tritium en 2020 était de 315 Bq/L). Aucune évolution n'est à signaler sur le suivi radiologique de l'eau de la nappe à l'extérieure de l'enceinte géotechnique.

Le 15 décembre 2021, le CNPE de TRICASTIN a déclaré un Evènement Significatif Environnement suite à la détection d'une hausse significative de l'activité tritium sur le

piézomètre 0SEZ042PZ. Une valeur maximale de 28900 Bq/L en tritium a été mesurée sur ce piézomètre le 12 décembre 2021. Les investigations menées suite à cette détection ont rapidement permis d'en identifier l'origine.

Le CNPE dispose d'un système de recueil des effluents, appelé KER, qui permet de stocker, comptabiliser et contrôler les effluents avant leur rejet, dans le respect de la réglementation. Ce circuit comprend des réservoirs d'entreposage et une cuve appelée « puisard » permettant des mouvements d'eaux nécessaires à l'exploitation du système. L'étanchéité de ce puisard est garantie jusqu'à une cote d'usage dont le volume est de 2,1 m³. Lors d'une manœuvre d'exploitation le 25 novembre 2021, ce puisard a été rempli au-delà de sa cote d'usage, provoquant un écoulement d'effluents à l'extérieur du puisard dans une zone de collecte des eaux pluviales. Après plusieurs jours, l'écoulement a atteint par infiltration les eaux souterraines de la nappe géotechnique interne. Il a été détecté le 11 décembre 2021 au cours des contrôles réalisés chaque jour.

En accord avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire, et vu que le marquage radiochimique a eu lieu dans la même zone géographique que l'évènement de 2019, le suivi renforcé de l'activité de la nappe géotechnique déjà en cours s'avère nécessaire et suffisant. Seules les fréquences d'analyses ont été modifiées. Une analyse approfondie de cet évènement a été réalisée et partagée entre le CNPE et l'ASN. Les actions correctrices liées à cet évènement sont réalisées en accord avec l'ASN.

Le suivi continu de l'activité tritium mesurée sur le piézomètre 0SEZ042PZ marque une nette régression depuis cet évènement. L'activité des autres piézomètres en suivi renforcé dans le périmètre de l'enceinte géotechnique interne du CNPE évolue à la hausse ou à la baisse suivant le flux migratoire du tritium entre les points 0SEZ042PZ et 0SEZ023PZ.

Aucune évolution notable n'est à signaler sur l'ensemble des piézomètres situés à l'extérieur de l'enceinte géotechnique ainsi que sur les piézomètres situés à l'intérieur de l'enceinte géotechnique et non concernés par les marquages de 2019 et 2021. Les activités tritium mesurées sur ces piézomètres restent en accord avec les valeurs habituellement observées.

Les eaux souterraines du CNPE de TRICASTIN ne font l'objet d'aucun usage direct, ni pour la production d'eau potable, ni pour les besoins agricoles ou d'élevage. De plus, le pompage des eaux souterraines à l'intérieur de l'enceinte géotechnique interne est orienté vers le système de recueil des effluents des salles des machines depuis février 2021.

II. Physico-chimie des eaux souterraines

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

Les valeurs ci-dessous comprennent l'intégralité des mesures réalisées sur le système piézométrique du CNPE à l'exception des mesures réalisées dans le cadre de surveillances renforcées spécifiques.

Paramètres	Unité	Valeur maximale mesurée
pH	-	Conforme aux valeurs indicatives de qualité des eaux.
Conductivité	μS / cm	Conforme aux valeurs indicatives de qualité des eaux.
DCO	mg / L	Conforme aux valeurs indicatives de qualité des eaux.
Hydrocarbures		0,29
Azote Kjeldahl		9,6
Métaux totaux		Inférieur au seuil 0
Phosphates		6,1
Nitrates		110
Sulfates		Inférieur au seuil 0
Sodium		Inférieur au seuil 0

Commentaires :

Dans le cadre des analyses complémentaires réalisées pour la 4^{ème} visite décennale du réacteur n°1 de TRICASTIN, il avait été détecté quelques valeurs élevées en marqueurs chimiques (ammonium, phosphate, nitrate, nitrite, sulfate) sur certains piézomètres du CNPE. En accord avec l'Autorité de Sureté Nucléaire, le CNPE avait établi un plan de suivi renforcé de ces marquages. Ce plan de suivi a été poursuivi en 2021. Les résultats de l'année 2021 montrent que les marquages phosphate, nitrate, nitrite, sulfate ont bien été résorbés suite aux actions du CNPE. Les valeurs mesurées sur les piézomètres marqués (0SEZ002 et 019PZ) sont revenues au niveau des valeurs habituellement observés et le suivi renforcé a été arrêté.

L'acquisition de mesures et données se poursuit sur le marquage ammonium avec une valeur moyenne de 4 mg/l en ammonium sur le piézomètre 0SEZ035PZ. L'analyse des données actuelles ne remettent pas en cause l'hypothèse retenue par les experts hydrogéologues d'un marquage historique des sols indépendant de l'exploitation du CNPE.

Un programme de surveillance renforcée en hydrocarbure se poursuit sur le piézomètre 0SEZ 044PZ et les piézomètres 0SEZ 054 à 059PZ (construits spécifiquement pour ce suivi) suite à un marquage de 2016. La quantité d'hydrocarbure présente continue de diminuer notablement.

La valeur maximale en hydrocarbure mesurée sur l'ensemble des piézomètres du CNPE en 2021 (hors surveillance renforcée lié au piézomètre 0SEZ044PZ) est une mesure ponctuelle non reproductible et inférieure au seuil de déclaration.

Le CNPE a déclaré à l'Autorité de Sûreté Nucléaire le 15 juillet 2021 un Evènement Significatif Environnement pour atteinte temporaire de seuils 2 chimiques au niveau d'un piézomètre du site suite au déboitement d'une tuyauterie d'eaux usées, identifiée et réparée. Les valeurs maximales en azote Kjeldahl, phosphates et nitrites du tableau ci-dessus sont liées à cet évènement. Après réparation, les valeurs sont revenues aux niveaux des valeurs attendues.

A l'exception des valeurs ponctuelles liées à l'évènement de juillet 2021 et des mesures spécifiques liées aux suivis renforcés en cours, aucune mesure chimique n'a atteint le seuil 2 de déclaration aux autorités de sûreté.

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 amont, rejet et aval (moyennes mensuelles).

Station amont	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température °C	6,4	8,0	10,0	12,7	14,1	19,0	20,1	21,3	21,5	16,6	12,4	8,0
Conductivité (µS/cm)	418	385	429	429	380	351	360	383	415	448	478	441
Oxygène dissous (mg/L)	11,8	11,6	10,8	10,3	9,7	8,5	8,7	8,4	8,4	9,0	9,8	11,1
pH	8,0	8,0	8,1	8,3	8,1	7,9	7,8	7,9	7,8	7,8	7,9	7,9

Station rejet	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température °C	14,7	16,5	18,0	18,6	21,9	28,7	28,0	29,9	30,3	23,2	18,4	14,0
Conductivité (µS/cm)	411	384	430	426	379	347	362	379	414	442	464	436
Oxygène dissous (mg/L)	11,3	10,6	10,2	9,6	8,7	7,8	8,3	8,1	7,8	8,6	9,2	10,5
pH	7,8	7,7	7,8	7,8	7,6	7,8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9

Station aval	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température °C	7,8	9,3	11,4	14,1	15,1	20,5	21,0	23,0	24,2	18,6	13,6	9,3
Conductivité (µS/cm)	422	387	431	431	373	352	367	385	415	443	480	444
Oxygène dissous (mg/L)	11,5	11,3	10,7	10,1	9,5	8,3	8,6	8,2	8,1	8,7	9,7	11,0
pH	7,8	7,7	7,8	7,8	7,6	7,6	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8

Commentaires :

Les paramètres physico-chimiques sur les trois stations amont, rejet et aval sont conformes à l'attendu.

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

2. Physico-chimie des eaux de surface

Le CNPE de TRICASTIN fait réaliser chaque année durant la saison estivale d'avril à octobre des mesures mensuelles sur certains paramètres physico-chimiques soutenant la vie biologique. Ces mesures sont réalisées par le Laboratoire Départemental d'Analyses de la Drôme au niveau des stations de mesures multi paramètres amont et aval.

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Station amont	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Ammonium (mg/L)	0,06	0,14	0,07	<0,05	<0,05	0,06	0,05
COT (mg/L)	1,3	1,7	1,1	2,0	1,9	1,3	2,2
Calcium (mg/L)	71	68	64	59	62	69	66
Chlorures (mg/L)	15	14	11	17	12	18	19
Conductivité (µS/cm)	433	413	377	381	387	428	438
DBO5 (mg/L)	0,6	1,2	0,5	0,5	< 0,5	0,5	1,4
DCO (mg/L)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10,50
MES (mg/L)	4	90	44	13	14	< 2	360
Magnesium (mg/L)	6,5	6,1	5,7	5,6	5,6	6,4	6,3
Nitrates (mg/L)	5,2	4,3	3,5	4,3	4,0	4,6	4,5
Nitrites (mg/L)	0,04	0,09	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
Oxygène dissous (mg/L)	10,7	9,5	9,1	8,9	8,2	9,5	9,3
Phosphates (mg/L)	0,05	0,08	0,08	0,10	0,08	0,10	0,13
Silice totale (mg/L)	2,11	4,83	4,72	5,10	4,27	2,77	4,93
Sodium (mg/L)	9,9	9,9	7,6	12,0	8,5	12,0	12,0
Sulfates (mg/L)	49	45	44	47	43	58	52
TAC (°f)	14,4	14,4	13,5	11,6	13,2	13,4	12,8
Temperature Eau (°C)	11,0	14,0	19,0	21,0	22,0	22,0	18,0
pH in situ	8,2	7,9	8,0	8,0	7,9	8,2	8,0

Station aval	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Ammonium (mg/L)	0,05	0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06	< 0,05
COT (mg/L)	1,1	1,5	1,0	2,2	2,0	1,4	1,5
Calcium (mg/L)	71	69	64	59	62	69	66
Chlorures (mg/L)	14	14	12	16	12	18	20
Conductivité (µS/cm)	434	417	378	383	388	427	440
DBO5 (mg/L)	2,0	1,1	0,5	0,5	< 0,5	0,6	1,8
DCO (mg/L)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
MES (mg/L)	13	33	18	21	7	3	36
Magnesium (mg/L)	6,9	6,1	5,7	5,6	5,6	6,3	6,3
Nitrates (mg/L)	4,6	4,3	4,3	4,0	4,0	4,6	4,6
Nitrites (mg/L)	0,04	0,10	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03
Oxygène dissous (mg/L)	10,3	9,3	8,8	8,6	8,2	9,3	9,3
Phosphates (mg/L)	0,05	0,03	0,09	0,10	0,10	0,09	0,15
Silice totale (mg/L)	2,59	5,88	4,75	4,97	4,20	2,81	4,43
Sodium (mg/L)	9,1	9,9	7,7	9,7	8,5	12,0	13,0
Sulfates (mg/L)	56	45	44	46	43	58	53
TAC (°f)	14,0	14,2	13,3	11,6	13,2	13,5	12,8
Température Eau (°C)	12,3	15,0	20,0	22,0	23,7	26,0	19,0
pH in situ	8,3	7,7	8,0	8,0	7,9	8,2	8,0

Commentaires :

Les résultats sont de même ordre de grandeur que ceux des années précédentes et cohérents avec l'évolution saisonnière et les fluctuations naturelles de ces paramètres dans le milieu naturel. Il n'y a pas de différence notable de ces paramètres entre les stations amont et aval impliquant l'exploitation du CNPE.

3. Chimie des eaux de surface

Les rejets chimiques résultant du fonctionnement du CNPE sont issus :

- des produits de conditionnement des circuits ;
- 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 mensuellement durant la période estivale dans le Rhône en amont et en aval du CNPE.

Les tableaux suivants présentent les valeurs mesurées aux deux stations amont et aval sur l'année 2021.

Station amont	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Bore (mg/L)	0,01	0,02	11,00	0,01	0,01	0,02	0,02
Détergents (mg/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Ethanolamine (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hydrazine (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Station aval	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Bore (mg/L)	0,01	0,02	11,00	0,01	0,01	0,02	0,02
Détergents (mg/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Ethanolamine (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hydrazine (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Commentaires :

Les résultats sont du même ordre de grandeur que ceux des années précédentes et n'y a pas de différence notable de ces paramètres entre les stations amont et aval impliquant l'exploitation du CNPE.

IV. Physico-chimie et Hydrobiologie

Chaque année, le CNPE confie la réalisation de la surveillance physico-chimique et hydrobiologique à INRAe (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement).

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 INRAe est présentée ci-dessous.

« Le suivi hydrobiologique du Rhône au droit du Centre Nucléaire de Production Electrique du Tricastin a débuté en 1980. Cette chronique offre un recul important sur deux compartiments biologiques, échantillonnés selon les mêmes méthodes depuis les premières études : la macrofaune benthique et les peuplements piscicoles. Ce recul offre la possibilité d'analyser les observations annuelles en regard de la variabilité interannuelle passée et en partie expliquée, mais également de les replacer dans un contexte tendanciel d'origine anthropique, fortement imprimé par les évolutions climatiques actuelles et l'arrivée continue de nouvelles espèces euryèces d'origine allochtone.

Les assemblages faunistiques ont évolué de manière progressive avec l'augmentation de la température dès la fin des années 1980. Un changement d'état très sensible est apparu au début des années 2000, faisant suite à la canicule de l'été 2003 et à la forte crue hivernale qui l'a suivie. Ces épisodes extrêmes ont affecté les assemblages faunistiques soit par élimination et/ou réduction des abondances des taxons intolérants, soit par la dispersion vers l'aval depuis le bassin versant de la Saône de nouvelles espèces allochtones et euryèces en provenance du bassin du Danube. Dans un contexte fluvial fortement anthropisé offrant par ailleurs des conditions thermiques et hydrauliques de plus en plus favorables aux espèces tolérantes et thermophiles, les peuplements se banalisent

à large échelle et apparaissent de plus en plus dominés par un cortège d'espèces nouvelles, suffisamment compétitives pour éliminer des espèces introduites anciennes.

Pour la septième année consécutive, la température moyenne du globe dépasse de plus de 1°C les niveaux préindustriels (1850-1900). En France métropolitaine, avec une température de +0,4°C supérieure à la moyenne de référence 1981-2010, l'année 2021 est globalement plus proche de la normale bien qu'elle ait été extrêmement contrastée, alternant des périodes douces et froides en toute saison. Dans une répartition mensuelle des débits totalement distincte du régime saisonnier moyen du tronçon fluvial étudié, elle a été marquée par des alternances mensuelles de faibles et fortes hydraulités et des débits importants de mai à août. Mais les modifications contemporaines relatives à la prolongation des étiages automnaux sont bien affirmées. En 2021, les températures des eaux en amont du CNPE ont oscillé entre un minima et un maxima proches des quantiles 5% (5,8°C) et 95% (23,2°C) de ces deux dernières décennies (2000-2021), donc sans températures extrêmes, que ce soit en période froide ou chaude.

Les trois compartiments biologiques étudiés fournissent des notes indicelles de qualité biologique (Tableau XXXI). Globalement, les notes obtenues en 2021 pour le compartiment piscicole, le phytobenthos et les cyanophytes reflètent un état moyen de la qualité du milieu. En revanche, les notes obtenues à partir des macro-invertébrés benthiques témoignent d'une qualité biologique très dégradée du système sur l'ensemble du site.

Il est important de rappeler que, pour la macrofaune benthique et le peuplement piscicole, les indices sont tributaires de la présence d'espèces indicatrices rares ou peu fréquentes. Par conséquent, les changements de classe traduisent plus une relative instabilité des peuplements dans le canal qu'une amélioration de la qualité biologique. Les nombreux points de pêche EPA nuls enregistrés en 2021 dans les deux stations du canal usinier sont révélateurs de cette instabilité.

Le canal usinier est relativement homogène et pauvre en habitats, à l'exception du rejet dont les rives présentent des enrochements continus. Le canal est également caractérisé par un fonctionnement hydraulique et thermique différent lié à la localisation des ouvrages industriels. Il comprend une longue partie amont allant des barrages de Donzère jusqu'à la prise d'eau du CNPE, une courte section allant du rejet du CNPE jusqu'à l'usine de Bollène sous influence directe du panache thermique, puis le canal de fuite en aval de l'usine hydroélectrique dont la pente favorise une accélération des écoulements de la masse d'eau thermiquement homogénéisée par le passage des turbines.

La faune trouvée dans le canal usinier (section amont) est tributaire de la dérive passive et/ou active des organismes depuis des secteurs en amont de l'entrée du canal, beaucoup plus favorables à l'installation pérenne des communautés. L'apport faunistique dans le canal est associé à la variabilité des débits, et notamment de périodes de forts débits susceptibles d'approvisionner le canal. Sachant que les refuges hydrauliques manquent pour une installation durable de la faune dérivante et que la partie aval du canal d'aménée est une « impasse » du fait de la prise d'eau du CNPE et de l'usine de Bollène, les peuplements s'appauvrissent pendant les longues périodes d'étiage et de stabilité hydrologique. »

Tableau XXXI : Regroupement des notes de qualité obtenues en 2021 à partir des trois compartiments biologiques. IBD : Indice Biologique Diatomées. IQBP : Indice de Qualité

Biologique Potentielle (maximisé). IPR et IPR+: Indices Poisson Rivière. Les couleurs attribuées aux IQBP sont basées sur celles des notes IBGN (Norme NF T90-350).

Compartiment biologique	Amont	Rejet	Aval
Phytobenthos (IBD) août	12,8/20		12,4/20
Phytobenthos (IPS) août	11,9/20		11,4/20
Proportion de cyanophytes	26,0%		38,9%
Invertébrés (IQBP maximisé) juin	5/20	8/20	3/20
Invertébrés (IQBP maximisé) octobre	8/20	11/20	8/20
Poissons (IPR) septembre	20.2 Etat MOYEN		20.1 Etat MOYEN
Poissons (IPR+) septembre	0.204 ± 0.104 Etat MEDIOCRE		0.289 ± 0.133 Etat MOYEN

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

2. Surveillance en conditions climatiques exceptionnelles

Les prescriptions de l'article 23.III de la décision ASN n°2008-DC-0101 prévoit qu'une surveillance chimique, physico-chimique, microbiologique et hydro biologique spécifique soit réalisée en cas de dépassement de la température moyenne journalière de 27°C en aval du canal.

En 2021, la température en aval du canal n'a pas dépassée les 27 °C et le CNPE du TRICASTIN 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 TRICASTIN informe régulièrement par voie de presse et via Twitter, les mairies et riverains du périmètre proche de la centrale (à minima rayon de 2 km : Saint Paul Trois Châteaux, Pierrelatte, Lapalud, Bollène), lors de la réalisation d'opérations pouvant générer du bruit, comme par exemple lors de la réalisation de certains essais périodiques sur l'installation.

En janvier 2019, des mesures acoustiques ont été menées au CNPE du Tricastin et dans son environnement proche pour actualiser les données d'entrée. Ces mesures de longue durée, effectuées avec les meilleures techniques disponibles, ont permis de prendre en compte l'influence des conditions météorologiques.

Les valeurs d'émergence obtenues aux points situés en Zone à émergence réglementée (ZER) du site de la centrale du Tricastin sont statistiquement conformes vis-à-vis de l'article 4.3.5 de l'arrêté INB du 7 février 2012. Les contributions des sources industrielles calculées en limite d'établissement sont inférieures à 60 dBA et les points de ZER associés présentent des valeurs d'émergences statistiquement conformes.

En cohérence avec l'approche « nuisance » proposée par EDF pour les points situés en Zone à émergence réglementée, les niveaux sonores mesurés en limite d'établissement du site du Tricastin permettent d'atteindre les objectifs fixés par l'article 4.3.5 de l'arrêté INB du 7 février 2012.

Le site internet du CNPE du TRICASTIN permet de retrouver toute l'actualité du CNPE 24 heures sur 24 : <https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-du-tricastin/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-du-tricastin>

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

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

Les résultats de cette surveillance et des mesures associées montrent que la radioactivité mesurée dans l'environnement du CNPE est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité artificielle mesurés dans l'environnement du CNPE sont faibles et trouvent pour partie leur origine dans d'autres sources (retombées atmosphériques des essais nucléaires, Tchernobyl,...). L'analyse détaillée des résultats est présentée dans le rapport du suivi radioécologique annuel réalisé par l'IRSN, disponible sur le site du CNPE (<https://www.edf.fr/la-centrale-nucleaire-du-tricastin/l-exploitation-de-la-centrale-nucleaire-du-tricastin>).

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

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

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

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

Les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

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

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** ».

- l'eau captée à l'aval des installations est considérée comme provenant de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines, ce qui revient à considérer que le milieu aquatique à l'aval du CNPE est toujours influencé par les rejets d'effluents liquides de l'installation ;
- on considère que l'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration), et donc qu'aucune rétention de radionucléides n'a été effectuée lors de procédés de traitement ;
- la pêche de poissons dans les fleuves à l'aval des CNPE est supposée systématique, sans exclure les zones de pêche interdite.

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

L'échelle suivante (figure 4) présente des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes :

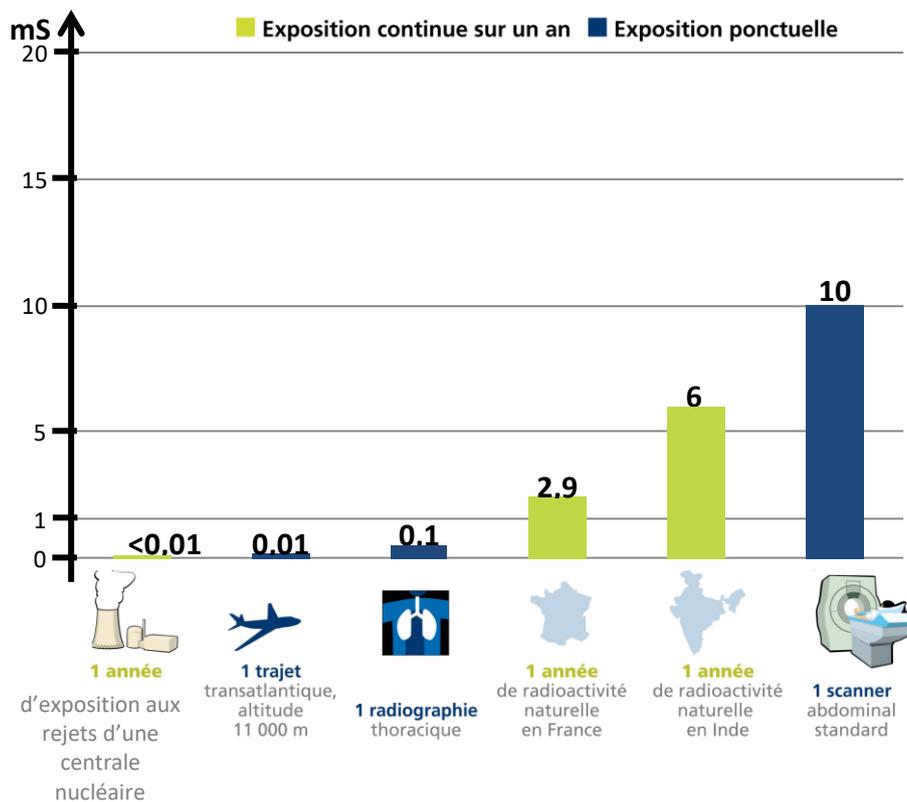


Figure 4 : Echelle des ordres de grandeur de doses résultant de situations courantes et comparaison aux seuils réglementaires (Source : EDF)

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 5 ci-après.

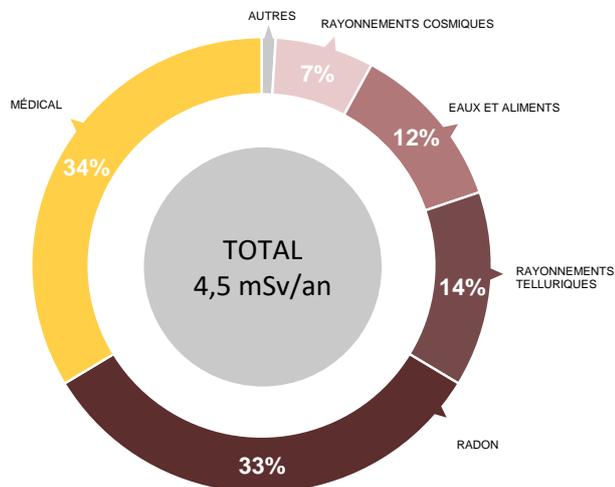


Figure 5 : Part relative des différentes sources d'expositions de la population française aux rayonnements ionisants (Source : Bilan IRSN 2021)

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

ADULTE	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,0E-05	7,8E-05	8,8E-05
Rejets d'effluents liquides	2,1E-07	5,0E-05	5,1E-05
Total	1,0E-05	1,3E-04	1,4E-04

ENFANT DE 10 ANS	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,1E-05	6,2E-05	7,3E-05
Rejets d'effluents liquides	s.o.	4,9E-05	4,9E-05
Total	1,1E-05	1,1E-04	1,2E-04

ENFANT DE 1 AN	Exposition externe (mSv)	Exposition interne (mSv)	Total (mSv)
Rejets d'effluents à l'atmosphère	1,1E-05	5,6E-05	6,7E-05
Rejets liquides	s.o.	4,7E-05	4,7E-05
Total	1,1E-05	1,0E-04	1,1E-04

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

Les valeurs de doses calculées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an, attribuables aux rejets d'effluents radioactifs de l'année 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 CNPE est exposé à une dose efficace inférieure ou égale à la dose calculée pour la personne représentative, présentée ci-dessus.

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

Partie VIII - Gestion des déchets

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

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

La démarche industrielle repose sur 4 principes :

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

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

I. Les déchets radioactifs

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

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

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

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

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

1. Les catégories de déchets radioactifs

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

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

Ces déchets proviennent essentiellement :

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

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

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

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

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

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

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

Après une utilisation en réacteur pendant quatre à cinq années, le combustible nucléaire contient encore 96 % d'uranium qui peut être recyclé pour produire de nouveaux

assemblages de combustible. Les 4 % restants (les « cendres » de la combustion nucléaire) constituent les déchets ultimes qui sont vitrifiés et coulés dans des conteneurs en acier inoxydable : ce sont des déchets « de haute activité à vie longue (HAVL) ». Les parties métalliques des assemblages sont compactées et conditionnées dans des conteneurs en acier inoxydable qui sont entreposés dans l'usine précitée : ce sont des déchets « de moyenne activité à vie longue (MAVL) ».

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

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

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

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

Types déchet	Niveau d'activité	Durée de vie	Classification	Conditionnement
Filtres d'eau et résines primaires	Faible et Moyenne	Courte	FMA-VC (faible et moyenne activité à vie courte)	Fûts, coques
Filtres d'air	Très faible, Faible et Moyenne		TFA (très faible activité), FMA-VC	Casiers, big-bags, futs, coques, caissons
Résines secondaires				
Concentrats, boues				
Pièces métalliques				
Matières plastiques, 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 (figure 6) 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 Soullaines (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

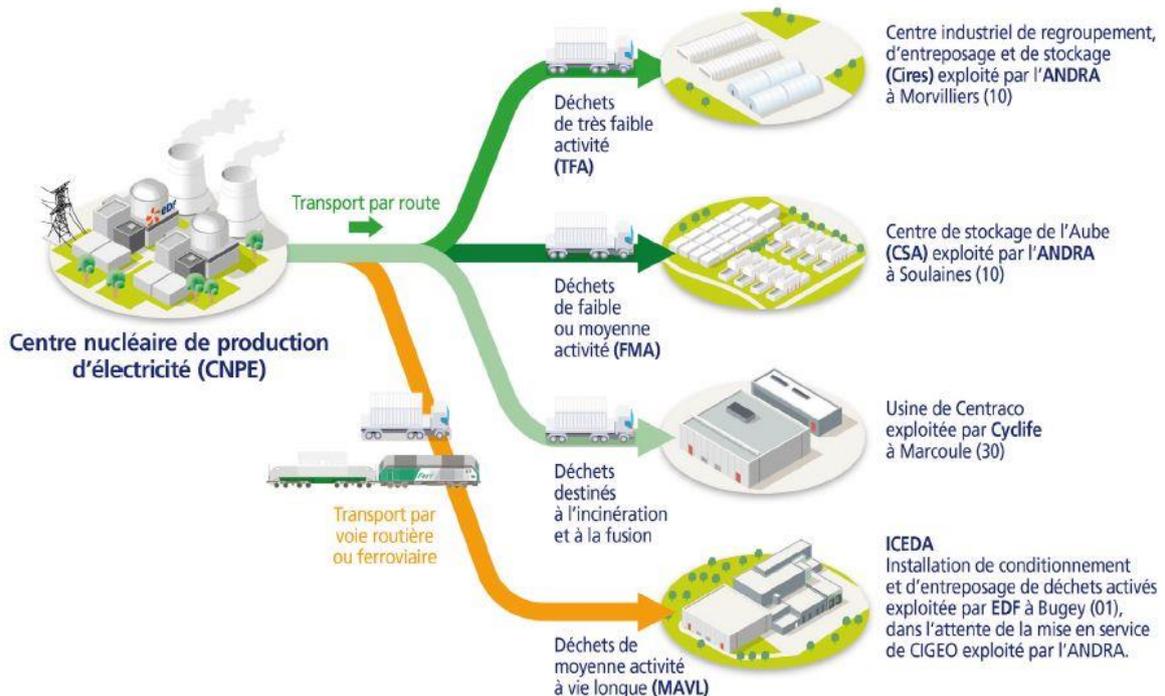


Figure 6 : Transport des déchets radioactifs (Source : EDF)

3. Les quantités de déchets entreposés 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 de Tricastin.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Commentaires
TFA	391,5 tonnes	En conteneur sur l'aire TFA
FMAVC (Liquides)	32,92 tonnes	Effluents du lessivage chimique, soude, huiles, solvants...
FMAVC (Solides)	246 tonnes	Localisation Bâtiment des Auxiliaires Nucléaire et Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement (BAC)
MAVL	376 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 de Tricastin.

Catégorie déchet	Quantité entreposée au 31/12/2021	Type d'emballage
TFA	166 colis	Tous types d'emballages confondus
FMAVC	32 colis	Coques béton
FMAVC	502 colis	Fûts (métalliques, PEHD)
FMAVC	14 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 de Tricastin.

Site destinataire	Nombre de colis évacués
Cires à Morvilliers	236
CSA à Soulaines	1 029
Centraco à Marcoule	3 894

En 2021, 5 159 colis ont été évacués vers les différents sites de traitement ou de stockage appropriés (Centraco et Andra).

II. Les déchets non radioactifs

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente les quantités de déchets conventionnels produites en 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 de la poursuite d'importants chantiers, liés notamment aux chantiers de modifications post Fukushima, au projet Grand Carénage, ainsi qu'à des chantiers de voirie, d'aménagement de 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 de Tricastin ont produit 9 315 tonnes de déchets conventionnels : 97,6 % de ces déchets ont été valorisés ou recyclés.

ABREVIATIONS

ANDRA - Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs

ASN - Autorité Sûreté Nucléaire

CNPE - Centre Nucléaire de Production d'Électricité

COT - Carbone Organique Total

DBO5 - Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

DCO - Demande Chimique en Oxygène

DUS – Diesel d'Ultime Secours

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

ESE - Évènement Significatif Environnement

FMA - Faible Moyenne Activité

ICPE - Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

INB - Installation Nucléaire de Base

IRSN - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISO - International Standard Organization

KRT – Chaîne de mesure de radioactivité

MES - Matières En Suspension

PA – Produit d'Activation

PF – Produit de Fission

REX - Retour d'Expérience

SME - Système de Management de l'Environnement

SMP - Station Multi Paramètres

TAC – Turbine à Combustion

TEU - Traitement des Effluents Usés

TFA - Très Faible Activité

THE – Très Haute Efficacité

UFC - Unité Formant Colonie

SD – Seuil de Détection

**ANNEXE : Suivi radioécologique annuel de l'IRSN
pour le CNPE de Tricastin Année 2021**

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

8 ÉTAT RADIOLOGIQUE DU CNPE DU TRICASTIN

8.1 Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE du Tricastin est situé dans la basse vallée du Rhône, à environ 120 km de son embouchure, sur les communes de Bollène et de Saint-Paul-Trois-Châteaux (Figure 15 page 159). Il est situé en aval de quatre autres installations d'EDF (Creys-Malville, Le Bugey, Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil et Cruas-Meyssse) ainsi que des installations du CERN, d'ORANO de Romans-sur-Isère, du CEA de Grenoble et de l'ILL (Institut Laue-Langevin) [26]. De nombreux services de médecine nucléaire sont aussi implantés sur le bassin versant (Figure 1 page 16). Le site de Cruas-Meyssse, le plus proche, est situé à 30 km en amont. Les eaux du Rhône divergent en deux chenaux, le lit originel et le canal de Donzère-Mondragon, à 18 km en amont du CNPE. L'installation est située en rive droite du canal. La confluence des deux cours d'eau s'effectue à environ 15 km en aval du point de rejet des effluents liquides, c'est à dire en amont de Saint-Etienne-des-Sorts. Le CNPE du Tricastin se compose de quatre tranches de 900 MWe de la filière des REP, respectivement couplées au réseau en mai 1980, août 1980, février 1981 et juin 1981.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, dans le cours d'eau et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'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 d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrologiques propres au site. Pour le CNPE du Tricastin, les vents dominants proviennent du nord au nord-nord-est (voir rose des vents page 159). Le point de rejet des effluents liquides du CNPE se situe sur le canal à environ 3 km en amont de l'usine hydroélectrique de Blondel, à proximité de Bollène.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE du Tricastin est présentée sur la Figure 14 page 155.

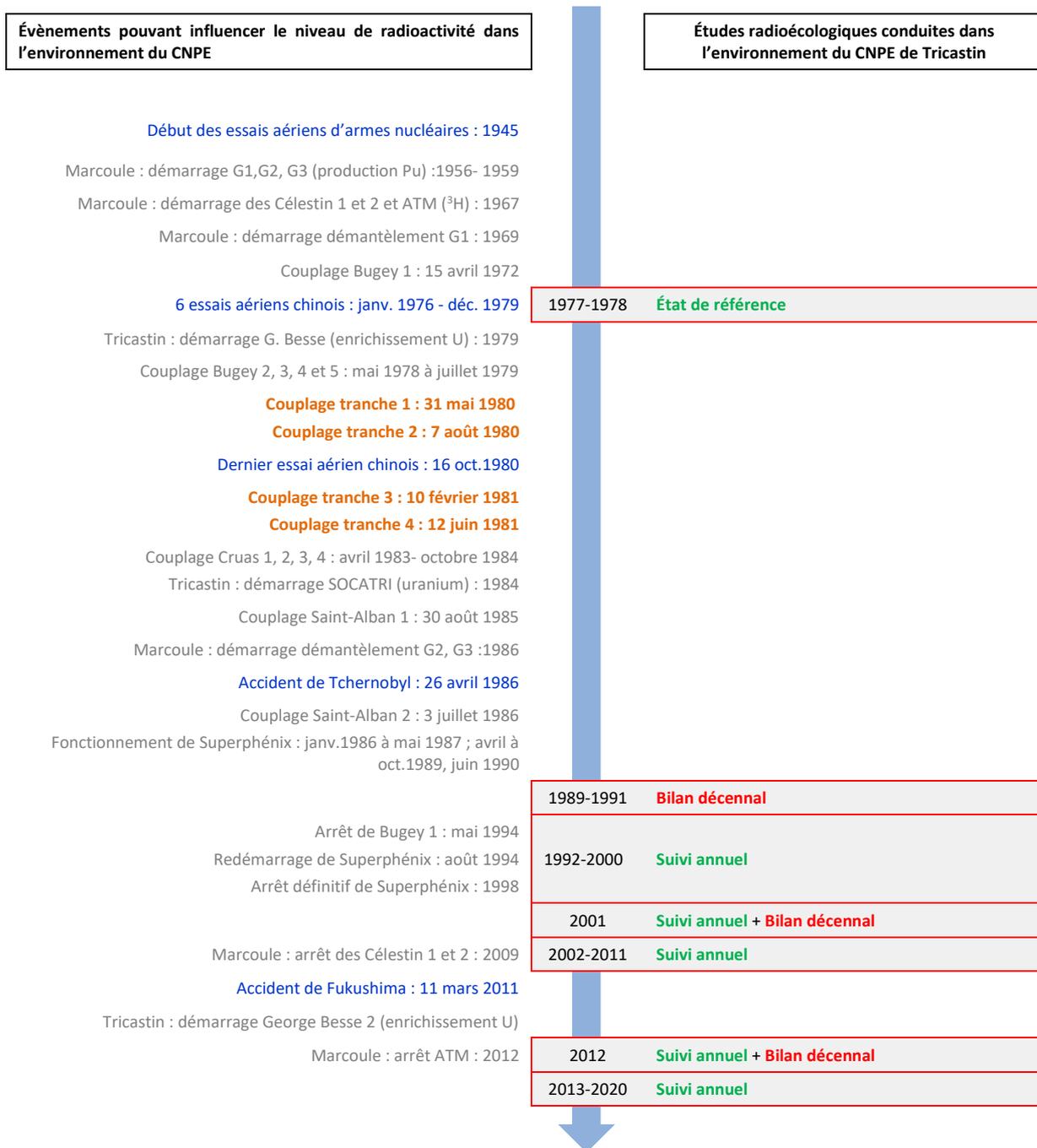


Figure 14 – Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE du Tricastin

8.2 État radiologique de l'environnement terrestre

8.2.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 15 page 159. Les caractéristiques (dates, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 90 page 157 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, herbe), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons 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 (ZNI), une production agricole est collectée.

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 prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Une mesure de ^{131}I dans les mousses prélevées sous les vents dominants a également été réalisée. Une production agricole (un légume-feuille), du sol de prairie et de l'herbe sont prélevés sous influence des vents dominants, au sud du site du site, à Bollène. En 2020, le lait de chèvre a été prélevé à l'est de Lapalud car la production de lait au GAEC des Fumades à Mondragon a été arrêtée. Les salades, les mousses et le sol de prairie ont fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma. Dans le lait de chèvre prélevé à Lapalud, les salades et l'herbe, le tritium libre a été recherché. Du tritium organiquement lié a également été recherché dans les salades et l'herbe. Le ^{14}C est recherché dans les salades et le lait. Enfin, l'herbe a 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.

Tableau 90 – Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE du Tricastin 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
0,96 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	04,73174	44,32205	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/eaulyo	09/06/2020	H-3 libre (Liquide)	2,67	-
0,96 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	04,73174	44,32205	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/reslyo	09/06/2020	H-3 lié (Sec)	2,67	-
0,96 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	04,73174	44,32205	Herbes	Herbe de prairie permanente	entier/reslyo	09/06/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,67	-
1,06 km S	Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	04,73113	44,32121	Sols non cultivés	Sol de friche	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	10/03/2020	Gamma (Sec)	1,25	-
4,66 km OSO	Zone hors vents dominants (< 5km)	Lapalud	04,67729	44,31422	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	entier/eaulyo	15/09/2020	H-3 libre (Liquide)	7,26	-
4,66 km OSO	Zone hors vents dominants (< 5km)	Lapalud	04,67729	44,31422	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	entier/reslyo	15/09/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,26	-
4,66 km OSO	Zone hors vents dominants (< 5km)	Lapalud	04,67729	44,31422	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	entier/reslyo	15/09/2020	C élémentaire (Sec)	7,26	-
4,66 km OSO	Zone hors vents dominants (< 5km)	Lapalud	04,67729	44,31422	Aliments liq. Non transformés	Lait de chèvre	entier/reslyo	15/09/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,26	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/eaulyo	09/06/2020	H-3 libre (Liquide)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/reslyo	09/06/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/reslyo	09/06/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/reslyo	09/06/2020	C élémentaire (Sec)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/reslyo	09/06/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	entier/reslyo	09/06/2020	H-3 lié (Sec)	18,41	-
6,25 km SSO	Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	04,70333	44,27811	Légumes	Laitue, batavia, romaines <i>Lactuca sativa L.</i>	Parties aériennes	09/06/2020	Gamma (Cendre)	21,74	4,42
9,47 km S	Zone sous les vents à plus 5 km	Mondragon	04,74064	44,24584	Mousses terricoles	<i>Scleropodium purum</i>	Parties aériennes	10/03/2020	Gamma (Frais)	3,75	-

- : absence de traitement ; reslyo : résidu sec après lyophilisation ; eaulyo : eau extraite par 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 hors vents dominants et à moins de 5 km de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation et à plus de 5 km de l'installation

8.2.2 Résultats et interprétation

8.2.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

8.2.2.1.1 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 Tricastin sont présentés dans le Tableau 102 page 177.

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les matrices terrestres prélevées autour du CNPE du Tricastin est dans la gamme des valeurs habituellement mesurées [1]. 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, aux radionucléides des familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans le sol prélevé, les activités massiques en ^{40}K , en descendants du ^{232}Th et de ^{238}U sont similaires aux 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. L'obtention d'activités proches de celles habituellement observées permet en outre de garantir que les échantillons mesurés par spectrométrie gamma n'ont subi aucun biais durant les étapes de prélèvement, traitement et d'analyse.

8.2.2.1.2 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 Tricastin sont présentés dans le Tableau 103 page 178.

Le ^{137}Cs est le seul radionucléide d'origine artificielle mesuré dans le sol de prairie prélevé à Bollène et les mousses prélevées à Mondragon. Aucun des autres radionucléides recherchés n'a pu être quantifié. En 2020, l'activité en ^{137}Cs mesurée dans ces matrices s'inscrit dans la continuité des niveaux observés au cours de la dernière décennie (Tableau 92 page 167 et Tableau 93 page 168). L' ^{131}I mesuré dans les mousses terrestres est à un niveau d'activité inférieure au seuil de décision.

8.2.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

8.2.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE du Tricastin sont présentés respectivement dans le Tableau 104 page 179 et le Tableau 105 page 180.

Dans les salades, les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié sont dans la gamme du bruit de fond observé 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]). En revanche, les activités en tritium libre mesurées dans l'herbe et le lait de chèvre (respectivement $3,40 \pm 0,70 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de dessiccation et $2,90 \pm 0,70 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de dessiccation) et l'activité en tritium organiquement lié mesurée dans l'herbe ($3,70 \pm 0,80 \text{ Bq.L}^{-1}$ d'eau de combustion) sont supérieures au bruit de fond attendu. Ce résultat est lié aux rejets d'effluents atmosphériques tritiés sur l'environnement terrestre au voisinage du CNPE du Tricastin.

8.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE du Tricastin sont présentés dans le Tableau 106 page 181.

Dans les échantillons de salades et dans le lait de chèvre prélevés sous les vents dominants du CNPE à plus de 5 kilomètres du site, l'activité en ^{14}C mesurée est proche du bruit de fond atténué à distance de tout apport industriel (224 ± 7 d'après [14]). En revanche, les deux prélèvements d'herbe collectés sous les vents à moins de 5 kilomètres du site démontrent l'occurrence d'un marquage par les rejets à l'atmosphère du CNPE (242 ± 12 et 279 ± 14 Bq.kg $^{-1}$ C, Tableau 95 page 170).

8.3 État radiologique de l'environnement aquatique

8.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont indiquées sur la Figure 15 page 159. Les caractéristiques (dates, stations, natures, etc.) identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 91 page 162 et suivantes.

Les stations et la nature des prélèvements permettent la comparaison avec les résultats des études antérieures. Les stations de référence en amont du site sont localisées à Châteauneuf-du-Rhône (poissons), au niveau du barrage de Donzère (végétaux) et dans la partie amont du canal d'amenée de Donzère-Mondragon (sédiments). En aval proche, les prélèvements de végétaux et de sédiments sont réalisés à Bollène. Les poissons en aval sont collectés à Vénéjan.

Les pêches ont été réalisées au filet à grandes mailles par un pêcheur professionnel. Les poissons collectés sont des brèmes. Les mesures réalisées sur les poissons ont porté sur les muscles afin d'étudier la fraction susceptible d'être consommée par l'homme et de s'affranchir du contenu du tractus gastro-intestinal.

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. Tous les échantillons de phanérogames immergées, sédiments et poissons ont été mesurés par spectrométrie gamma. Le tritium organiquement lié et le ^{14}C ont été mesurés dans les échantillons de poissons pêchés en amont et en aval du site.

Tableau 91 – Identification des échantillons prélevés dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin 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 Prelevée/Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
9,24 km amont	Rhône en amont du Tricastin	Donzère	04,71202	44,41268	Rive gauche	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	10/03/2020	Gamma (Sec)	1,57	-
12,5 km amont	Rhône en amont du Tricastin	Donzère	04,69584	44,44029	Rive droite	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	29/07/2020	Gamma (Cendre)	8,67	5,44
2,28 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Bollène	04,73992	44,31120	Rive droite	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	10/03/2020	Gamma (Sec)	1,97	-
4,02 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Bollène	04,74133	44,29530	Rive gauche	Phanérogames immergées	Potamot pectiné <i>Potamogeton pectinatus</i>	Parties aériennes	29/07/2020	Gamma (Cendre)	6,95	6,67
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	entier/reslyo	08/06/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,50	-
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	entier/reslyo	08/06/2020	C élémentaire (Sec)	4,50	-
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	entier/reslyo	08/06/2020	H-3 lié (Sec)	4,50	-
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	entier/reslyo	08/06/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,50	-
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	entier/reslyo	08/06/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,50	-
16,69 km aval	Rhône en amont du Tricastin	Châteauneuf-du-Rhône	04,69348	44,48907	Rive gauche	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	08/06/2020	Gamma (Cendre)	4,06	23,54
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,65	-
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	C élémentaire (Sec)	4,65	-
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	Gamma (Cendre)	4,47	19,92
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	H-3 lié (Sec)	4,65	-
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,65	-

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Commentaire	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
13,08 km aval	Rhône en aval de Tricastin	Vénéjan	04,70245	44,21488	Rive droite	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	09/06/2020	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,65	-

- : 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

8.3.2 Résultats et interprétation

8.3.2.1 Radionucléides émetteurs gamma

8.3.2.1.1 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 Tricastin sont présentés dans le Tableau 107 page 182.

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les sédiments, les végétaux et les poissons s'inscrit dans la gamme des valeurs habituellement mesurées dans ces matrices [1]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant dans l'ensemble des matrices échantillonnées. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont celles attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Les radionucléides des familles de ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que le ^7Be sont détectés dans les sédiments et dans les végétaux. L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de prélèvement, de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

8.3.2.1.2 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 Tricastin sont présentés dans le Tableau 108 page 183.

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 98 page 173 et Tableau 100 page 175 au Tableau 101 page 176). 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 aval proche, lesquels présentent un niveau d'activité ($4,63 \pm 0,43 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) supérieur par rapport à l'amont ($2,10 \pm 0,21 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$).

Du ^{58}Co ($1,58 \pm 0,22 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et du ^{60}Co ($0,49 \pm 0,11 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) ont été mesurés dans les phanérogames immergées prélevées en amont du site. Il en est de même pour les phanérogames prélevées en aval immédiat du site ($1,30 \pm 0,18 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ pour le ^{58}Co et $1,42 \pm 0,20 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ pour le ^{60}Co). Du ^{60}Co est également mesuré dans les sédiments prélevés en aval immédiat du site ($0,35 \pm 0,14 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Ces détections témoignent de l'influence des rejets liquides autorisés des CNPE situés en amont et de celui du Tricastin comme observé ces dernières années.

8.3.2.2 Radionucléides émetteurs bêta

8.3.2.2.1 Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium organiquement lié dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin sont présentés dans le Tableau 109 page 184.

Comme pour les années passées, les activités en tritium organiquement lié mesurées dans les poissons ($7,50 \pm 0,80 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ en amont et $6,40 \pm 0,90 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ en aval) sont supérieures au niveau attendu hors influence de rejets liquides (de l'ordre de 1 Bq.L^{-1} dans une gamme allant de 0,4 à 2 Bq.L^{-1} d'après [14]). Ces activités ne présentent pas de différence significative entre l'amont et l'aval compte tenu des incertitudes de mesure et restent dans la variabilité observée ces dernières années. Les activités mesurées ne permettent pas de discriminer le marquage par les rejets liquides tritiés du CNPE du Tricastin et des autres installations présentes

sur le site du Tricastin (ORANO) de celui occasionné par les rejets d'effluents liquides des CNPE situés en amont (Cruas-Meyse, Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil et Le Bugey).

8.3.2.2.2 Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin sont présentés dans le Tableau 110 page 185.

Les activités en ^{14}C mesurées dans les poissons sont supérieures à l'activité attendue hors influence d'apports industriels (inférieure à $220 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [14]), avec une activité plus élevée en amont ($895 \pm 43 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) qu'en aval ($713 \pm 34 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) du CNPE, ce qui ne permet pas de discriminer le marquage par les rejets liquides du CNPE du Tricastin et des autres installations présentes sur le site du Tricastin (ORANO) de celui occasionné par les rejets d'effluents liquides des CNPE situés en amont (Cruas-Meyse, Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil et Le Bugey).

8.4 Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE du Tricastin

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les échantillons des milieux terrestre et aquatique reste qualitativement et quantitativement équivalente à celle observée avant la mise en service industrielle du CNPE. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre et du milieu aquatique est exclusivement imputable au ^{137}Cs . La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement est essentiellement liée aux retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl.

En milieu terrestre, les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié mesurées dans les salades ne mettent pas en évidence de contribution des rejets d'effluents atmosphériques de ce site. Il en est de même pour le ^{14}C mesuré dans les salades et le lait de chèvre. En revanche, les activités en tritium libre mesurées dans l'herbe et le lait de chèvre, les activités en tritium organiquement lié et en ^{14}C mesurées dans l'herbe permettent de mettre en évidence un marquage par les rejets d'effluents à l'atmosphère opérés par le site du Tricastin.

Dans l'environnement aquatique, la détection des ^{58}Co et ^{60}Co dans les phanérogames et du ^{60}Co dans les sédiments collectés en aval du site du Tricastin témoignent du marquage du milieu aquatique par les rejets d'effluents liquides de ce CNPE. Des ^{58}Co et ^{60}Co sont également détectés dans les phanérogames prélevées en amont du site, à des niveaux semblables à ceux mesurés en aval ; ce qui met en évidence un marquage déjà existant en amont du site imputable aux rejets d'effluents liquides des installations situées en amont. Les activités en tritium organiquement lié et en ^{14}C mesurées dans les poissons sont supérieures aux activités mesurées hors influence et sont également plus élevées en amont qu'en aval du site. Elles mettent en évidence un marquage du milieu aquatique par les rejets liquides tritiés du CNPE du Tricastin, des autres installations présentes sur le site du Tricastin (ORANO) et des CNPE situés en amont (Cruas-Meysse, Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil et Bugey) sans pouvoir différencier l'origine de ce marquage.

8.5 Tableaux de résultats

Tableau 92 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010	juillet 2011	mai-juin 2012	mai 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	Janvier 2018	février 2019	Mars 2020
Distance par rapport au site	3,64 km	3,64 km	5 à 14,5 km	3,64 km	4,4 km	4,4 km	4,4 km	4,4 km	1,05 km	1,07 km	1,06 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	11 (1/1)	8,8 (1/1)	5,4-9,2 (7/7)	11,8 (1/1)	11,4 (1/1)	8,8 (1/1)	10,4 (1/1)	9,8 (1/1)	9,1 (1/1)	9,9 (1/1)	10,1 (1/1)
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion)											
³ H lié	n.a.	n.a.	1,3-3,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 93 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	février 2010	mars 2011	mars 2012	mars 2013	mars 2014	mars 2015	mars 2016	mars 2017	janvier 2018	février 2019	Mars 2020
Distance par rapport au site	6 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 à 27,92 km	11 km	9,43 km	9,47 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	6 (1/2)	5,1 (1/2)	2,2-6,0 (3/3)	9,1-14,8 (2/2)	3,8-20,4 (2/2)	2,3-11,1 (2/2)	1,2-7,3 (2/2)	2,2-3,2 (2/2)	2,99 (1/1)	20,1 (1/1)	4,39 (1/1)
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion)											
³ H lié	n.a.	n.a.	3,5-8,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 94 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	juillet 2010	juin 2011	juin 2012	mai 2013	septembre 2014	juin 2015	juin 2016	juin 2017	juin 2018	juillet 2019	Juin 2020
Distance au site	6 km	6 km	6 à 14,5 km	6 km	6 km	6 km	6 km	6 km	6 km	8,25 km	6,25 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,30 (1/1)	0,47-0,59 (2/3)	0,38 (1/1)	-	0,18 (1/1)	0,15 (1/1)	-	0,17 (1/1)	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	0,9-3,8 (2/2)	n.a.	n.a.	2,9 (1/1)	1,9 (1/1)	1,9 (1/1)	2,2 (1/1)	2,6 (1/1)	1,5 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	1,3-6,1 (2/2)	n.a.	n.a.	3,3 (1/1)	3,2 (1/1)	2,4 (1/1)	3 (1/1)	3,8 (1/1)	2 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	230,2-231,3 (2/2)	n.a.	n.a.	230 (1/1)	227 (1/1)	229 (1/1)	229 (1/1)	230 (1/1)	231 (1/1)

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

Tableau 95 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010	avril 2011	mai 2012	mai 2013	juin 2014	2015	2016	2017	2018	Avril 2019	Juin 2020
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)											
¹³⁴ Cs	-	0,20 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³⁷ Cs	-	0,21 (1/1)	-	-	0,10 (1/1)	-	-	-	0,068 (1/1)	0,084 (1/1)	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)											
³ H libre	n.a.	n.a.	3,1-4,0 (2/2)	n.a.	n.a.	2,8 (1/1)	7,3 (1/1)	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)	3,4 (1/1)	3,4 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	3,6-7,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	5,7 (1/1)	3,2 (1/1)	3,1 (1/1)	3,3 (1/1)	3,7 (1/1)
¹⁴ C	241,3 (1/1)	243,2 (1/1)	234-237,7 (2/2)	237,3 (1/1)	237,3 (1/1)	232-311 (4/4)	230-321,0 (5/5)	242-283,4 (2/2)	229-285 (4/4)	**	242-279 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. **: Pas de ressource pour le prélèvement trimestriel d'herbe des mois d'avril 2019 (fiche de constat 2019-TRI-01), de juillet 2019 (fiche de constat 2019-TRI-02), d'octobre 2019 (fiche de constat 2019-TRI-03) et de janvier 2020 (fiche de constat 2020-TRI-01).

Tableau 96 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010	avril 2011	avril 2012	mai 2013	avril 2014	avril 2015	avril 2016	avril 2017	avril 2018	avril 2019	Septembre 2020
Distance par rapport au site	11 km	11 km	8 et 11 km	11 km	11 km	11 km	11 km	11 km	11 km	11 km	4,66 km
Nature	lait	lait	lait	lait	lait	lait	lait	lait	lait	lait	lait
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
¹³⁷ Cs	0,053 (1/1)	0,034 (1/1)	0,029- 0,130 (2/2)	0,025 (1/1)	0,02 (1/1)	0,016 (1/1)	-	0,0164 (1/1)	0,0112 (1/1)	0,013 (1/1)	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)											
³ H libre	1,9 (1/1)	1,8 (1/1)	1,2-3,2 (2/2)	0,8 (1/1)	-	4,2 (1/1)	4,6 (1/1)	6,0 (1/1)	3,4 (1/1)	5,1 (1/1)	2,9 (1/1)
³ H lié	4,8 (1/1)	6,3 (1/1)	3,6-4,5 (2/2)	4,3 (1/1)	2,5 (1/1)	4,3 (1/1)	4,3 (1/1)	4,1 (1/1)	3,3 (1/1)	3,5 (1/1)	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	234,5-235 (2/2)	n.a.	n.a.	226-230 (3/3)	226-234 (4/4)	231 (1/1)	235 (1/1)	228 (1/1)	238 (1/1)

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

Tableau 97 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons d'eau de boisson et d'irrigation collectés dans l'environnement du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	février 2010	mars 2011	avril 2012	mai 2013	juin 2014	juin 2015	juin 2016	juin 2017	juin et septembre 2018	juillet 2019	2020
Distance par rapport au site	14 km	14 km	5 à 14 km	16,5 km	8,2 à 16,5 km	14,22 km					
Nature	eau	eau	eau	eau	eau	eau	eau	eau	eau	eau	eau
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)											
¹³⁴ Cs	n.a.	n.a.	0,00024 (1/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³⁷ Cs	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁴ Mn	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹)											
³ H libre	5,7 (1/1)	12 (1/1)	1,8-9,2 (4/4)	4,8 (1/1)	5,7 (1/1)	4,2 (1/1)	3,9 (1/1)	6,3 (1/1)	3,7-3,9 (2/2)	4,6-5 (2/2)	n.a.

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

Tableau 98 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de sédiments collectés dans l'environnement aquatique du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	février 2010		mars 2011		avril et juillet 2012		avril 2013		mars 2014		mars 2015		mars 2016		mars 2017		janvier 2018		février 2019		Mars 2020		
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																							
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹³⁷ Cs	10,2 (1/1)	3,8-6,3 (2/2)	3,4 (1/1)	3,6-5,9 (2/2)	3-3,4 (2/2)	3,5-6,4 (4/4)	3,4 (1/1)	4,6-6,6 (2/2)	3,5 (1/1)	3,1-5,5 (2/2)	-	4,3 (1/1)	4,9-5,4 (2/2)	1,97 (1/1)	3,5-3,8 (2/2)	2,41 (1/1)	2,68-3,40 (2/2)	2,07 (1/1)	2,98-4,24 (2/2)	2,23 (1/1)	2,63-3,92 (2/2)	2,1 (1/1)	4,63 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁶⁰ Co	-	0,3 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70 (1/2)	-	0,35 (1/1)
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28 (1/2)	-	-
Émetteurs β (TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion et ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)																							
TOL	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	37-59 (2/2)	10-135 (5/5)	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	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	201,3 (1/1)	66,8-246 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Tableau 99 – Activités en radionucléides émetteurs γ des échantillons de mousse collectés dans l'environnement aquatique du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	juillet 2010		juin 2011		juillet 2012		septembre 2013		juillet 2014		septembre 2015		août 2016		septembre 2017		août 2018		Septembre 2019		2020	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³⁷ Cs	1,4 (1/1)	1,3 (1/1)	1,73 (1/1)	1,96 (1/1)	3,4 (1/1)	1,73 (1/1)	1,95 (1/1)	1,48 (1/1)	1,4 (1/1)	2,7 (1/1)	1,87 (1/1)	1,36 (1/1)	1,61 (1/1)	1,07 (1/1)	1,51 (1/1)	1,63 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	1,17 (1/1)	0,38 (1/1)	-	-	0,77 (1/1)	-	3,0 (1/1)	-	0,72 (1/1)	-	1,60 (1/1)	0,25 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	-	-	0,66 (1/1)	0,41 (1/1)	-	-	-	-	1,5 (1/1)	0,37 (1/1)	-	0,22 (1/1)	0,92 (1/1)	0,77 (1/1)	-	0,27 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	-	-	0,28 (1/1)	0,30 (1/1)	-	-	-	-	0,37 (1/1)	0,22 (1/1)	0,36 (1/1)	-	0,28 (1/1)	0,28 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{123m} Te	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³¹ I	-	-	n.a.	n.a.	25,9 (1/1)	14,4 (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. : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 100 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de végétaux (phanérogames immergées) collectés dans l'environnement aquatique du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	juillet 2010		juin 2011		juillet 2012		septembre 2013		juillet 2014		septembre 2015		août 2016		septembre 2017		août 2018		septembre 2019		Juillet 2020	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																						
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,4 (1/1)	0,5-0,8 (2/2)	0,41 (1/1)	0,50-0,62 (2/2)	1,9-2,5 (2/2)	0,41-0,83 (3/3)	0,42 (1/1)	0,42-1,02 (2/2)	0,3 (1/1)	0,49-1,12 (2/2)	0,35 (1/1)	0,42-1,02 (2/2)	0,38 (1/1)	0,31-0,49 (2/2)	0,66 (1/1)	0,60-0,68 (2/2)	0,25 (1/1)	0,28-0,53 (2/2)	0,145 (1/1)	0,125-0,192 (2/2)	0,27 (1/1)	0,25 (1/1)
⁵⁸ Co	0,5 (1/1)	0,2-0,8 (2/2)	0,31 (1/1)	1,01 (1/2)	-	-	-	-	0,96 (1/1)	0,34-0,37 (2/2)	-	-	0,69 (1/1)	0,51 (1/2)	-	-	-	-	-	0,37 (1/2)	1,58 (1/1)	1,3 (1/1)
⁶⁰ Co	-	0,4 (1/2)	-	0,42 (1/2)	-	-	-	-	0,3 (1/1)	0,17 (1/2)	-	-	-	0,17-1,01 (2/2)	-	0,50 (1/2)	-	0,191 (1/2)	-	1,38 (1/2)	0,49 (1/1)	1,42 (1/1)
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	0,16 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	7 (1/1)	6-12 (2/2)	20,4 (1/1)	33 (1/1)	7,7-9,4 (2/2)	6,2-8,1 (2/2)	2,7 (1/1)	7,3 (1/1)	3,8 (1/1)	6,7 (1/2)	2,7 (1/1)	5,3 (1/1)	-	1,0 (1/1)	6,7 (1/1)	11,2 (1/1)	1,52 (1/1)	1,59 (1/1)	1,07 (1/1)	2,41 (1/1)	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ de dessiccation, TOL : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ de C)																						
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,4 (1/1)	4,6-6,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,0 (1/1)	8,1 (1/1)	2,9 (1/1)	19,6 (1/1)	n.a.	n.a.	17,7 (1/1)	10,8 (1/1)	9,5 (1/1)	4,7 (1/1)	n.a.	n.a.
TOL	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,9 (1/1)	6,3-11,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	10,1 (1/1)	8,4 (1/1)	7,1 (1/1)	6,7 (1/1)	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	226 (1/1)	253,7-292,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	276,7 (1/1)	293,4 (1/1)	309,6 (1/1)	346,1 (1/1)	n.a.	n.a.

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

Tableau 101 – Activités en radionucléides émetteurs γ et β des échantillons de poissons (muscles) pêchés dans l'environnement aquatique du site du Tricastin lors des études radioécologiques de 2010 à 2020

Date	avril 2010		avril 2011		juin 2012		septembre 2013		avril 2014		avril 2015		avril 2016		avril 2017		avril 2018		avril 2019		Juin 2020	
Situation par rapport au site	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval	amont	aval
Émetteurs γ d'origine artificielle ($Bq.kg^{-1}$ frais)																						
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,07 (1/1)	0,22 (1/1)	0,099 (1/1)	0,136 (1/1)	0,056 (1/1)	0,075 (1/1)	0,083 (1/1)	0,108 (1/1)	0,041 (1/1)	0,065 (1/1)	0,055 (1/1)	0,141 (1/1)	0,030 (1/1)	0,047 (1/1)	0,039 (1/1)	0,052 (1/1)	0,065 (1/1)	0,139 (1/1)	0,029 (1/1)	0,025 (1/1)	0,018 (1/1)	0,0231 (1/1)
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{54}Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (3H libre : $Bq.L^{-1}$ de dessiccation, TOL : $Bq.L^{-1}$ d'eau de combustion, ^{14}C : $Bq.kg^{-1}$ de C)																						
3H libre	6,2 (1/1)	6,7 (1/1)	16,1 (1/1)	15,2 (1/1)	4,5 (1/1)	3,1 (1/1)	3,8 (1/1)	2,0 (1/1)	1,2 (1/1)	11,1 (1/1)	7,0 (1/1)	9,6 (1/1)	3,1 (1/1)	2,2 (1/1)	2,8 (1/1)	5,7 (1/1)	1,4 (1/1)	n.a.	11,1 (1/1)	n.a.	4,3 (1/1)	n.a.
TOL	9,7 (1/1)	20,5 (1/1)	14,7 (1/1)	19,9 (1/1)	9 (1/1)	11,9 (1/1)	10,2 (1/1)	7,8 (1/1)	11,6 (1/1)	11,3 (1/1)	8,4 (1/1)	10,2 (1/1)	9,1 (1/1)	7,9 (1/1)	5,6 (1/1)	8,2 (1/1)	5,3 (1/1)	6,0 (1/1)	8,4 (1/1)	5,6 (1/1)	7,5 (1/1)	6,4 (1/1)
^{14}C	970 (1/1)	1080 (1/1)	1297 (1/1)	945 (1/1)	881 (1/1)	905 (1/1)	969 (1/1)	817 (1/1)	1065,4 (1/1)	902,1 (1/1)	870 (1/1)	870 (1/1)	980 (1/1)	890 (1/1)	662 (1/1)	910 (1/1)	746 (1/1)	708 (1/1)	602 (1/1)	971 (1/1)	895 (1/1)	713 (1/1)

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

Tableau 102 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	10/03/2020	Sols	Sol de friche	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,25	02/09/2020	381±33	33,5±4,0	n.a.	19,0±8,0	n.a.	≤ 14	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	09/06/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Parties aériennes	cendre	21,74	07/09/2020	2 330±230	≤ 0,90	≤ 2,1	≤ 28	9,0±1,5	133±13	Bq.kg ⁻¹ sec
Zone sous les vents à plus 5 km	Mondragon	10/03/2020	Mousses terrestres	<i>Scleropodium purum</i> <i>Scleropodium purum</i>	Parties aériennes	frais	3,75	12/03/2020	206±26	≤ 3,5	n.a.	≤ 119	n.a.	848±68	Bq.kg ⁻¹ sec

n.a : non analysé.

Tableau 103 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin 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	$^{131}\text{I}^*$	Unité
Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	09/06/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Parties aériennes	cendre	21,74	07/09/2020	$\leq 0,18$	$\leq 0,17$	$\leq 0,45 \leq 0,27 \leq 0,27 \leq 0,23 \leq 0,44 \leq 0,43$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec				
Zone sous les vents à plus 5 km	Mondragon	10/03/2020	Mousses terrestres	<i>Scleropodium purum</i> <i>Scleropodium purum</i>	Parties aériennes	frais	3,75	12/03/2020	$\leq 0,62$	$4,39 \pm 0,77$	$\leq 0,57 \leq 0,74 \leq 0,71 \leq 0,62 \leq 0,60 \leq 1,8 \leq 0,66$	Bq.kg ⁻¹ sec					
Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	10/03/2020	Sols	Sol de friche	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,25	02/09/2020	$\leq 0,33$	$10,10 \pm 0,80$	$\leq 1,0 \leq 0,22 \leq 0,70 \leq 0,20 \leq 1,2 \leq 0,60$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec				

n.a : non analysé.

* Du fait de sa courte période radioactive, l' ^{131}I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 104 – Activités en tritium libre mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin 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
Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	09/06/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Eau extraite par lyophilisation	18,41	03/09/2020	1,50±0,70	1,42±0,66	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	09/06/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Eau extraite par lyophilisation	2,67	26/07/2020	3,40±0,70	2,13±0,44	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone sous les vents à plus 5 km	Lapalud	15/09/2020	Produits laitiers	Lait de chèvre	Eau extraite par lyophilisation	7,26	22/10/2020	2,90±0,70	2,50±0,60	Bq.L ⁻¹ d'ECH.

Tableau 105 – Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin 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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	09/06/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	18,41	20/10/2020	2,00±0,80	0,056±0,023	Bq.kg ⁻¹ frais
Zone influencée proche (< 5 km)	Bollène	09/06/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente non id.	Résidu sec obtenu après lyophilisation	2,67	20/10/2020	3,70±0,80	0,74±0,16	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 106 – Activités en ^{14}C mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du site du Tricastin 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)	$\delta^{12/13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	C TOT. (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Zone sous les vents à plus 5 km	Bollène	09/06/2020	Légumes	Laitue <i>Lactuca sativa</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	18,41	11/12/2020	231±11	-29,43	103,1±4,9	4,82±0,23	21	Frais
Zone sous les vents à plus 5 km	Lapalud	15/09/2020	Produits laitiers	Lait de chèvre	Résidu sec obtenu après lyophilisation	7,26	24/10/2020	238±12	-28,98	106,1±5,4	16,16±0,81	68	Liquide

Tableau 107 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Rhône en amont du tricastin	Donzère	10/03/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,57	14/09/2020	382±34	29,6±3,6	n.a.	29,0±9,0	n.a.	27,0±7,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de tricastin	Bollène	10/03/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,97	14/09/2020	424±37	36,5±4,4	n.a.	25±15	n.a.	44±10	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du tricastin	Donzère	29/07/2020	Phanérogames aquatiques	Potamot pectiné <i>Potamogeton</i> sp	Parties aériennes	cendre	8,67	17/09/2020	610±60	5,90±0,80	12,8±1,4	≤ 13	6,6±1,0	42,5±4,2	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de tricastin	Bollène	29/07/2020	Phanérogames aquatiques	Potamot pectiné <i>Potamogeton</i> sp	Parties aériennes	cendre	6,95	17/09/2020	560±50	4,20±0,60	6,80±0,80	≤ 11	4,20±0,70	13,3±1,5	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de cruas	Châteauneuf-du-Rhône	08/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	cendre	4,06	04/09/2020	97,0±9,0	≤ 0,040	≤ 0,080	≤ 1,2	≤ 0,090	≤ 0,15	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval de tricastin	Vénéjan	09/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	cendre	4,47	08/09/2020	101±10	≤ 0,029	≤ 0,060	≤ 1,0	≤ 0,070	≤ 0,12	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a : non analysé.

Tableau 108 – Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin lors du suivi radioécologique 2020

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité Frais/Sec	Date de mesure	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	Unité	
Rhône en amont du tricastin	Donzère	10/03/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,57	14/09/2020	≤ 0,70	≤ 0,15	≤ 0,24	≤ 0,22	≤ 1,0	≤ 0,40	≤ 0,14	2,10±0,21	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de tricastin	Bollène	10/03/2020	Sédiments	Sédiments de milieu dulçaquicole	Produits de tamisage (retenu sur tamis)	sec	1,97	14/09/2020	≤ 1,0	0,35±0,14	≤ 0,37	≤ 0,32	≤ 1,4	≤ 0,60	≤ 0,20	4,63±0,43	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en amont du tricastin	Donzère	29/07/2020	Phanérogames aquatiques	Potamot pectiné <i>Potamogeton sp</i>	Parties aériennes	cendre	8,67	17/09/2020	1,58±0,22	0,49±0,11	≤ 0,12	≤ 0,100	≤ 0,13	≤ 0,22	≤ 0,090	0,270±0,060	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de tricastin	Bollène	29/07/2020	Phanérogames aquatiques	Potamot pectiné <i>Potamogeton sp</i>	Parties aériennes	cendre	6,95	17/09/2020	1,30±0,18	1,42±0,20	≤ 0,100	≤ 0,090	≤ 0,11	≤ 0,17	≤ 0,070	0,250±0,050	Bq.kg ⁻¹ sec
Rhône en aval de cruas	Châteauneuf-du-Rhône	08/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	cendre	4,06	04/09/2020	≤ 0,021	≤ 0,013	≤ 0,013	≤ 0,0100	≤ 0,013	≤ 0,021	≤ 0,0090	0,0180±0,0050	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval de tricastin	Vénéjan	09/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	cendre	4,47	08/09/2020	≤ 0,016	≤ 0,0100	≤ 0,0100	≤ 0,0080	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,0060	0,0231±0,0042	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 109 – Activités en tritium lié (TOL) mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin 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 sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Rhône en aval de cruas	Châteauneuf-du-Rhône	08/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,50	18/10/2020	7,50±0,80	1,09±0,12	Bq.kg ⁻¹ frais
Rhône en aval de tricastin	Vénéjan	09/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Muscle	4,65	18/10/2020	6,40±0,90	0,89±0,13	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 110 – Activités en ^{14}C mesurées dans des échantillons collectés dans l'environnement aquatique du CNPE du Tricastin 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)	$\delta^{12/13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	C TOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Rhône en aval de cruas	Châteauneuf-du-Rhône	08/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,50	09/10/2020	895±43	-26,21	397±19	101,8±4,9	110	Frais
Rhône en aval de tricastin	Vénéjan	09/06/2020	Poissons	Brème commune <i>Abramis brama</i>	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,65	09/10/2020	713±34	-24,61	315±15	73,5±3,5	100	Frais

SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DES CNPE DU RHONE ET DU SITE EN DEMANTELEMENT DE CREYS-MALVILLE

En milieu terrestre, le ^{137}Cs est le seul radionucléide émetteur gamma détecté dans la quasi-totalité des échantillons. Sa présence est rémanente des retombées atmosphériques globales anciennes (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl). Les rejets de tritium à l'atmosphère opérés 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. La gamme du bruit de fond observé dans un environnement hors influence d'un apport industriel local a diminué à 1 Bq.L^{-1} et laisse maintenant apparaître un marquage par les rejets tritiés de certaines matrices prélevées dans l'environnement terrestre. Sous les vents dominants à proximité des sites ($< 5 \text{ km}$), un marquage par les rejets à l'atmosphère de ^{14}C peut être mis en évidence. 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.

En milieu 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 aériens d'armes nucléaires et accident de Tchernobyl), une contribution des rejets liquides des CNPE ne peut être exclue. 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-Meysses 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 libre et organiquement lié dont l'origine peut être attribuée aux rejets liquides des différentes installations rhodaniennes ainsi qu'aux activités passées de l'industrie horlogère. Plusieurs résultats de mesure sont d'une part, supérieurs au bruit de fond observé à distance de tout apport industriel et, 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 Creys-Malville 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 qui conduit vraisemblablement à des activités ambiantes supérieures à celles de l'amont.

RÉFÉRENCES

1. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017*. 2018, IRSN. 353 p. p.
2. Bé, M., Chisté, V., Dulieu, C., Kellet, M.A., Mougéot, X., Arinc, A., Chechev, V.P., Kuzmenko, N.K., Kibédi, A., et Nichols, A.L. *Table of radionuclides*. Monographie BIPM-5 2016; Accessible à l'adresse: <https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographie-ri-5.html>.
3. IRSN, *Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement*. 2017, IRSN. 76 p.
4. ASN, *Livre blanc du tritium*, 2010, ASN. 304 p p.
5. IPSN, *Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague*. 1998, IPSN. 17 p.
6. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014*. 2015, IRSN. 252 p.
7. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., *TRANSMER, hydrodynamic model for medium- and long-term simulation of radionuclides transfers in the English Channel and southern North Sea*. Radioprotection, 2005. **40**: S575-S580 p.
8. IRSN, *Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sécurité Nucléaire*. 2008, IRSN. 24 p.
9. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français: Conséquences environnementales et exposition des personnes*. Sciences et techniques, ed. E.T. Doc2008, Paris: Lavoisier. 190 p.
10. IAEA/WMO. *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*. 2013. Accessible à l'adresse: <http://www.iaea.org/water>.
11. Olive, P., Hubert, P., et Ravailleau, S., *Estimation pratique de "l'âge" des eaux souterraines en Europe par le tritium*. Revue des sciences de l'eau, 1996. **4**: 523-533 p.
12. IRSN, *Niveau d'activité du tritium dans l'environnement. Contribution à la synthèse de la DEI sur le tritium*. 2008, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n° 2008-34, 57 p.
13. IRSN, *Le tritium dans l'environnement. Point de vue de l'IRSN sur les questions clés et les pistes de recherches et développement*. 2010, IRSN. Rapport Rapport DEI 2010-01, 23 p.
14. IRSN, *Bilan de l'état radioécologique de l'environnement français de 2018 à 2020*. 2021, IRSN. 408 p. p.
15. Eyrolle-Boyer, F., Claval, D., Antonelli, C., Tournieux, D., et Cossonnet, C., *1963-2013 : Fifty years of anthropogenic tritium in our environment - Focus on the Rhône valley (South east France)*. 10th International Conference on Tritium Science and Technology, "TRITIUM 2013", Nice, 2013 p.
16. Levin, I. et Hesshaimer, V., *A unique tracer of global carbon cycle dynamics*. Radiocarbon, 2000. **42**(1): 69-80 p.
17. Roussel-Debet, S., Gontier, G., Siclet, F., et Fournier, M., *Distribution of Carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. **87**(3): 246-259 p.
18. IRSN, *Tchernobyl, 25 ans après*. in *Collection thématique de l'IRSN2011*, IRSN. 48 p.
19. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environnementales et exposition des personnes*. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
20. IRSN, *Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement*. 2011, IRSN. Rapport DEI/2011-01, 90 p.
21. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. 2018 [cited 2018; Accessible à l'adresse: http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiqués_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matière_de_rejets_hospitaliers_medicine_nucleaire].
22. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n° 2007-21, 45 p.
23. Reimann, C., Filzmoser, P., et Garrett, R.G., *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. Science of the Total Environment, 2005. **346**: 1-16 p.
24. Duffa, C., *Répartition du plutonium et de l'américium dans l'environnement terrestre de la basse vallée du Rhône*, 2001, Thèse de Aix-Marseille III. 179 p.

25. Masson, O., Piga, D., Gurriaran, R., et D'Amico, D., *Impact of an exceptional Saharan dust outbreak in France: PM10 and artificial radionuclides concentrations in air and in dust deposit*. Atmospheric Environment, 2010. **44**(20): 2478-2486 p.
26. IRSN, *Constat radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu terrestre*. 2012, IRSN. Rapport PRP-ENV/SESURE/2012-06, 62 p.
27. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. **17**(4) p.
28. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting of 14C data*. Radiocarbon, 1977. **19**(3): 355-363 p.
29. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissement des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Rapport Note technique LNHB/04-13, 8 p.
30. Vray, F., Debayle, C., et Louvat, D., *Long-term flux of Chernobyl-derived 137Cs from soil to French rivers : a study on sediment and biological indicators*. Journal of Environmental Radioactivity. 2003. **68**: 93-114. p.
31. Renaud, P. et Louvat, D., *Magnitude of fission product depositions from atmospheric nuclear weapon test fallout in France*. Health Physics, 2004. **86**(4): 6 p.
32. IRSN, *Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement*. 2011, IRSN. Rapport Rapport DEI/2011-01, 90 p.
33. IAEA, *Monitoring isotopes in rivers : creation of the global network of isotopes in rivers (GNIR)*. 2012, IAEA. Rapport IAEA-TECDOC-1673, 258 p.
34. Rank, D., Papesch, W., Heiss, G., et Tesch, R., *Isotopic composition of river water in the danube basin -results from the joint danube survey 2 (2007)*. Austrian Journal of Earth Sciences, 2009. **102**(2): 170-180 p.
35. IRSN, *Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 p.

ANNEXES

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements	194
Annexe 2. Choix des matrices prélevées	194
2.1. Domaine terrestre	194
2.1.1. Les bryophytes	194
2.1.2. Les sols	195
2.1.3. L'herbe	195
2.1.4. Les végétaux cultivés	195
2.1.5. Le lait	195
2.2. Domaine aquatique continental	195
2.2.1. Les eaux	195
2.2.2. Les sédiments	195
2.2.3. Les mousses	195
2.2.4. Les phanérogames	196
2.2.5. Les poissons, mollusques et crustacés	196
Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses	196
Annexe 4. Choix des analyses	196
Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain	196
5.1. Domaine terrestre	196
5.1.1. Sols	196
5.1.2. Végétaux	196
5.1.3. Lait	197
5.2. Domaine aquatique continental	197
5.2.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe)	197
5.2.2. Sédiments	197
5.2.3. Végétaux	197
5.2.4. Poissons	197
Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons	198
6.1. Domaine terrestre	198
6.1.1. Sols	198
6.1.2. Végétaux	198
6.1.2.1. Mesurage des émetteurs gamma	198
6.1.2.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	199
6.1.3. Lait	199
6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma	199
6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	199
6.2. Domaine aquatique continental	199
6.2.1. Eau de boisson	199
6.2.1.1. Mesurage des émetteurs gamma	199
6.2.1.2. Mesurage du tritium	199
6.2.2. Sédiments	199
6.2.3. Végétaux	199
6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma	199
6.2.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	200
6.2.4. Poissons, crustacés, mollusques	200
6.2.4.1. Mesurage des émetteurs gamma	200
6.2.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	200
Annexe 7. Techniques d'analyses	200
7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments	200
7.1.1. Teneur en matière organique	200
7.1.2. Granulométrie	200
7.2. Identification des espèces vivantes	201
7.2.1. Mesure du tritium libre	201

7.2.2. Mesure du tritium organiquement lié.....	201
7.2.3. Mesure du ¹⁴ C.....	202
7.2.4. Spectrométrie γ	202
Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées.....	203
Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement	204
9.1. Radioactivité d'origine naturelle	204
9.2. Radioactivité d'origine artificielle.....	205
9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires.....	205
9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires.....	206
9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal.....	206
9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations.....	206
9.3. Sources de ³ H	206
9.4. Sources de ¹⁴ C	207
Annexe 10. Laboratoires d'analyses	208

ANNEXES

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

Les bryophytes, les phanérogames aquatiques ou les algues sont utilisés comme indicateur des activités présentes dans les vecteurs de diffusion des rejets (air et eau). Les sols et sédiments sont des matrices d'accumulation des radionucléides. Pour répondre à des besoins de radioprotection, des produits végétaux (légumes-feuilles essentiellement) ou animaux consommables localement (poissons, mollusques, crustacés, lait de vache ou de chèvre) font l'objet d'une surveillance. Les eaux destinées à l'irrigation ou à la consommation sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Afin de rendre les études autour des CNPE français homogènes et d'établir si besoin des comparaisons, les plans d'échantillonnage sont établis de manière standardisée et, autant que possible, reproduits d'un site à l'autre. La Figure 16 page 193 présente de manière schématique le plan d'échantillonnage avec notamment le type de matrices prélevées. Des prélèvements supplémentaires ou des prélèvements de matrices différentes peuvent être réalisés, en particulier dans le cadre des prescriptions techniques formulées par l'A.S.N., en matière de surveillance de l'environnement. La stratégie d'échantillonnages et d'analyses, fournie par EDF, est mise à jour annuellement par EDF en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de la réglementation.

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

La mesure gamma permet de quantifier les activités d'un large spectre de radionucléides naturels et artificiels. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue lors des premiers suivis radioécologiques annuels. Une recherche spécifique de ^{137}I par spectrométrie gamma a été entreprise depuis 1997 sur quelques végétaux terrestres et aquatiques. Outre les mesures des niveaux d'activités des radionucléides émetteurs gamma, les activités en tritium libre (HTO) ont été quantifiées annuellement depuis l'année 2000. L'amélioration des limites de détection et des capacités métrologiques font que, depuis 2009, la quantification des activités en tritium organiquement lié (TOL) et carbone-14 (^{14}C) est introduite dans la stratégie d'étude.

Pour chaque échantillon prélevé, une aliquote est conservée pendant 10 ans après l'année de prélèvement pour permettre de nouvelles analyses, le cas échéant (Figure 16 page 193).

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

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

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

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

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

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

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

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [27] donnait du bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

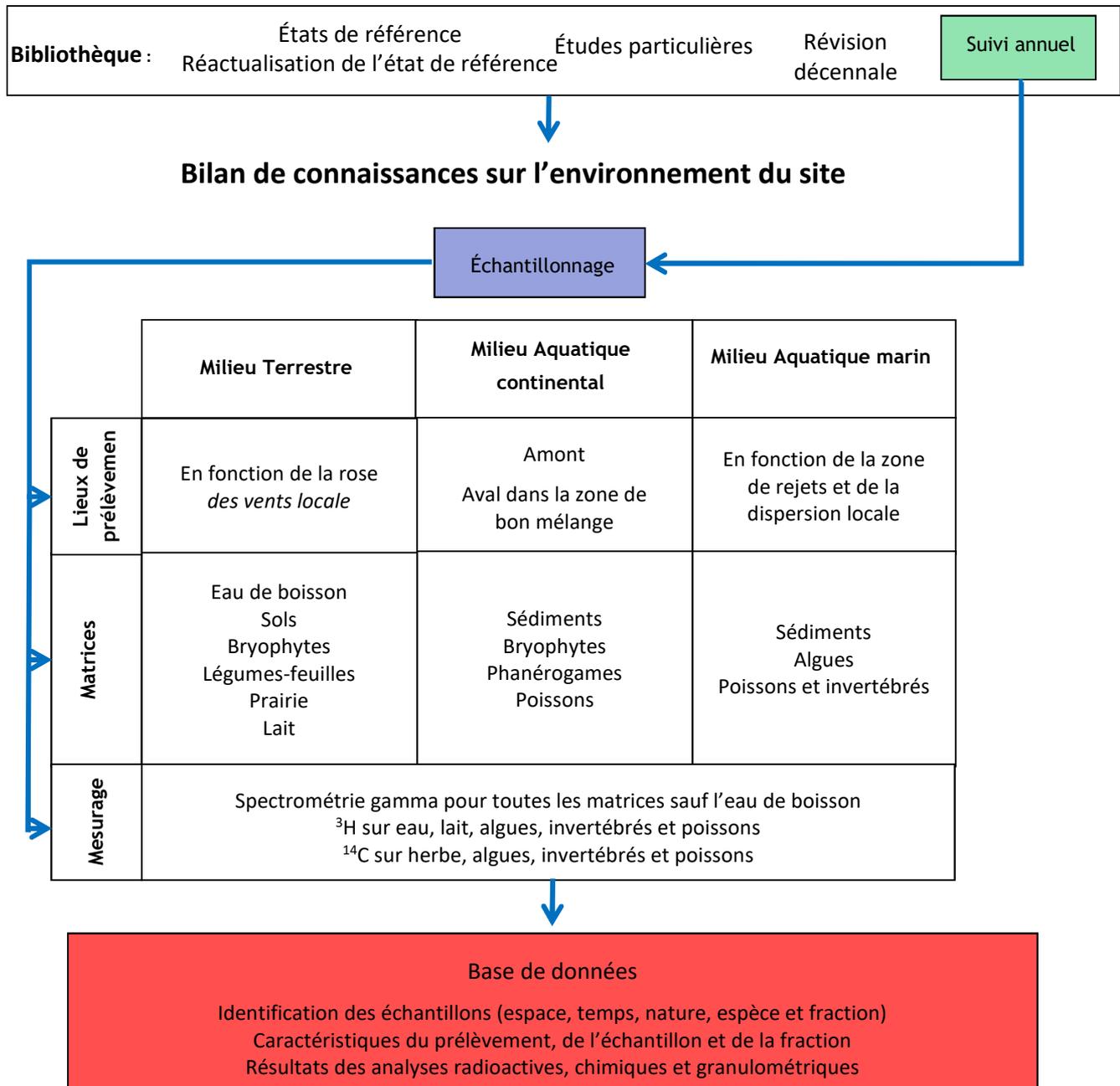


Figure 16 – Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements

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

Annexe 2. Choix des matrices prélevées

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

les échantillons prélevés, dont la représentativité dépend notamment du radionucléide recherché, de la disponibilité dans l'environnement de la matrice échantillonnée, de la fréquence de prélèvement, de la zone de prélèvement, des méthodes de prélèvement et de conservation de l'échantillon...

les mesures réalisées, dont la représentativité dépend des traitements subis par l'échantillon, du protocole et des contraintes analytiques, de l'appareillage utilisé...

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

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

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

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

2.1. Domaine terrestre

2.1.1. Les bryophytes

Les bryophytes terrestres constituent d'excellents indicateurs des apports atmosphériques. En effet, ne disposant pas de racines, leur principale voie d'absorption est aérienne. Des processus actifs de conduction d'eau par capillarité et d'échanges d'ions par voie extracellulaire permettent aux mousses de piéger les éléments nécessaires à leur croissance. En plus de ce mode d'intégration actif, les phénomènes passifs d'accumulation des poussières atmosphériques par piégeage mécanique contribuent à concentrer la radioactivité du fait d'un

important rapport surface/volume. Leur cycle de vie pluriannuel en fait un indicateur pertinent pour l'observation des apports atmosphériques à long terme.

2.1.2. Les sols

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

2.1.3. L'herbe

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

2.1.4. Les végétaux cultivés

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

2.1.5. Le lait

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

2.2. Domaine aquatique continental

2.2.1. Les eaux

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

2.2.2. Les sédiments

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

2.2.3. Les mousses

A l'instar des mousses du milieu terrestre, les mousses du milieu aquatique sont particulièrement pertinentes pour rendre compte d'un marquage du fait de leur grande surface d'échange avec leur compartiment ambiant. Les activités mesurées dans ces végétaux résultent des radionucléides essentiellement présents dans la phase particulaire, car leur morphologie favorise le piégeage des particules en suspension dans l'eau. Ces plantes n'ayant pas de racines sensu stricto, elles sont prélevées et analysées entières.

2.2.4. Les phanérogames

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

2.2.5. Les poissons, mollusques et crustacés

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

Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses

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

Annexe 4. Choix des analyses

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

Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain

5.1. Domaine terrestre

5.1.1. Sols

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

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

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

5.1.2. Végétaux

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

5.1.3. Lait

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

5.2. Domaine aquatique continental

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

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

5.2.2. Sédiments

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

5.2.3. Végétaux

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

5.2.4. Poissons

Les pêches sont réalisées au moyen de filets de type monofilament en nylon, de mailles de 10 à 70 mm. Ils sont installés au-dessus de zones profondes. Fixés en un point, ils sont disposés passivement dans le courant. Cette technique est efficace pour assurer la capture d'individus effectuant des migrations transversales et pour s'assurer de l'obtention d'un lot de poissons de taille homogène. Ces pêches sont réalisées de façon diurne avec une pose n'excédant pas 3 heures.

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

Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons

6.1. Domaine terrestre

6.1.1. Sols

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

6.1.2. Végétaux

6.1.2.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, les échantillons sont immédiatement nettoyés et pesés frais. Ils sont ensuite placés en étuve à moins de 105 °C jusqu'à dessiccation complète (24 à 48 h). Le poids sec de l'échantillon est noté, puis le résidu sec est mis au four. La montée en température s'effectue par paliers successifs afin d'éviter l'inflammation des échantillons (Figure 17 page 198). À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre, afin de concentrer le maximum de matière dans le minimum de volume. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en matière plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL, référencées. Le poids du contenu est noté puis la géométrie est expédiée au service de métrologie de l'IRSN afin d'effectuer une spectrométrie γ . Le rapport poids frais / poids sec est déterminé sur chaque aliquote de façon à exprimer l'ensemble des résultats dans la même unité ($\text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$).

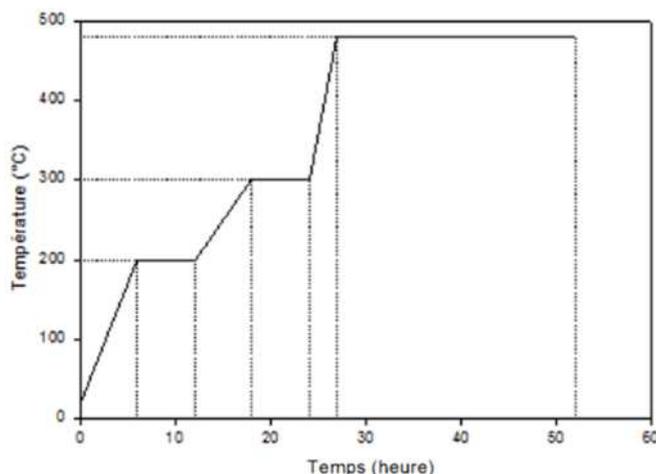


Figure 17 – Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps

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

6.1.2.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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

6.1.3. Lait

6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

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

6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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

6.2. Domaine aquatique continental

6.2.1. Eau de boisson

6.2.1.1. Mesurage des émetteurs gamma

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

6.2.1.2. Mesurage du tritium

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

6.2.2. Sédiments

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

6.2.3. Végétaux

6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

Après égouttage, le poids frais des végétaux (ou de leur fraction) est noté à titre indicatif. Ces échantillons sont ensuite séchés à 105 °C jusqu'à poids constant. Les produits secs sont pesés, puis incinérés selon un cycle de 52 h jusqu'à 480°C (Figure 17 page 198). Les cendres sont pesées et broyées. En fonction du volume de matières préparé, un conteneur 380 mL (sec) ou 17 mL (cendres) est utilisé pour un comptage en spectrométrie γ . Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

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

6.2.3.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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

6.2.4. Poissons, crustacés, mollusques

6.2.4.1. Mesurage des émetteurs gamma

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

6.2.4.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

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

Annexe 7. Techniques d'analyses

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

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

7.1.1. Teneur en matière organique

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

7.1.2. Granulométrie

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

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

Le fractionnement des sables se fait par la superposition de tamis de $200\ \mu\text{m}$ et de $50\ \mu\text{m}$. Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à $50\ \mu\text{m}$.

7.2. Identification des espèces vivantes

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

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

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

7.2.1. Mesure du tritium libre

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

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

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

7.2.2. Mesure du tritium organiquement lié

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

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à $1\ 000^\circ\text{C}$. Le second four est réglé à une température de 1000°C . Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

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

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

7.2.3. Mesure du ^{14}C

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par accélérateur est privilégiée sur les échantillons présentant un faible taux de matière organique, les sols et les sédiments notamment.

Avant la mesure par scintillation, le carbone des échantillons est oxydé en dioxyde de carbone dans une bombe à combustion. Le dioxyde de carbone est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, donne de l'acétylène. Ce dernier est trimérisé en benzène. La multiplication par le rapport 78/72 de l'activité mesurée en benzène par scintillation permet d'exprimer l'activité en Bq.kg^{-1} de carbone.

Avant la mesure par spectrométrie, les sédiments et les sols à traiter sont totalement décarbonatés durant plusieurs jours dans de l'acide dilué, puis rincés à l'eau ultrapure jusqu'à un pH neutre. Les échantillons sont brûlés pendant 4 heures à 900 °C. La quantité de carbone contenu dans le gaz est mesurée. Le CO_2 obtenu est ensuite réduit par H_2 en présence de poudre de fer à 575°C. Le carbone se dépose sur la poudre de fer et le mélange est pressé dans une cible afin d'être mesuré.

L'activité en ^{14}C de l'échantillon est calculée en comparant les intensités mesurées séquentiellement des faisceaux de ^{14}C , ^{13}C et ^{12}C de chaque échantillon avec ceux de standards de CO_2 préparés à partir de l'acide oxalique de référence HOxI.

La mesure des rapports isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et du carbone total s'effectuent sur un couplage d'un analyseur élémentaire relié à un spectromètre de masse isotopique par combustion totale du prélèvement analytique à 1 050°C sous courant d'un mélange d'oxygène et d'hélium. Le carbone des échantillons est transformé en CO_2 et quantifié par des détecteurs spécifiques infrarouge CO_2 . Ces analyses sont réalisées par l'Institut des Science Analytique (CNRS) de Villeurbanne.

7.2.4. Spectrométrie γ

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

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

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

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

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

Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées

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

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

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

Les activités en ¹⁴C sont reportées en Bq.kg⁻¹ de carbone ainsi qu'en pMC (pourcentage de carbone moderne). Le pMC est calculé à partir du résultat en Bq.kg⁻¹ de carbone (A ci-dessous) et du résultat de la mesure du rapport ¹³C/¹²C (δ¹³C ci-dessous) :

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

d'après [28]

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

$$BqS = BqC (C / 1000)$$

Dans les tableaux récapitulatifs concernant les données antérieures relatives à un site, une vision synthétique de l'ensemble des résultats disponibles est donnée par l'utilisation de leur gamme de variation. Ces tableaux comprennent les valeurs minimales et maximales mesurées pour chaque radionucléide décelé, ainsi que leur fréquence de détection (égale au nombre d'échantillons où le radionucléide est détecté de manière significative divisé par le nombre d'échantillons analysés). Lorsqu'aucune valeur significative n'a été obtenue, les données chiffrées sont remplacées par un tiret (-).

Dans les tableaux des résultats de l'année ainsi que dans le texte, les résultats sont accompagnés de l'incertitude statistique, calculée pour un intervalle de confiance de 95 %, et sont présentés dans les tableaux par : « valeur ± incertitude » (± 2 σ). De 1996 à 2010, ces tableaux indiquaient, en outre, la Limite de Détection (LD) associée à la mesure des radionucléides non détectés. Depuis 2011, cette LD fait place au Seuil de Décision (SD = LD/2). En outre, le couple « valeur ± incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [29].

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ¹³⁷Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [30]. Ainsi les résultats de chacun des deux prélèvements en aval sont normalisés selon leur granulométrie pour être ramenés à la granulométrie du prélèvement en amont selon la formule :

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

Où

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

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

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

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

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

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

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

Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement

9.1. Radioactivité d'origine naturelle

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

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

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

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

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

Les activités en radionucléides naturels dans les sols et sédiments métropolitains ont fait l'objet de publications dont un rapport IRSN [22].

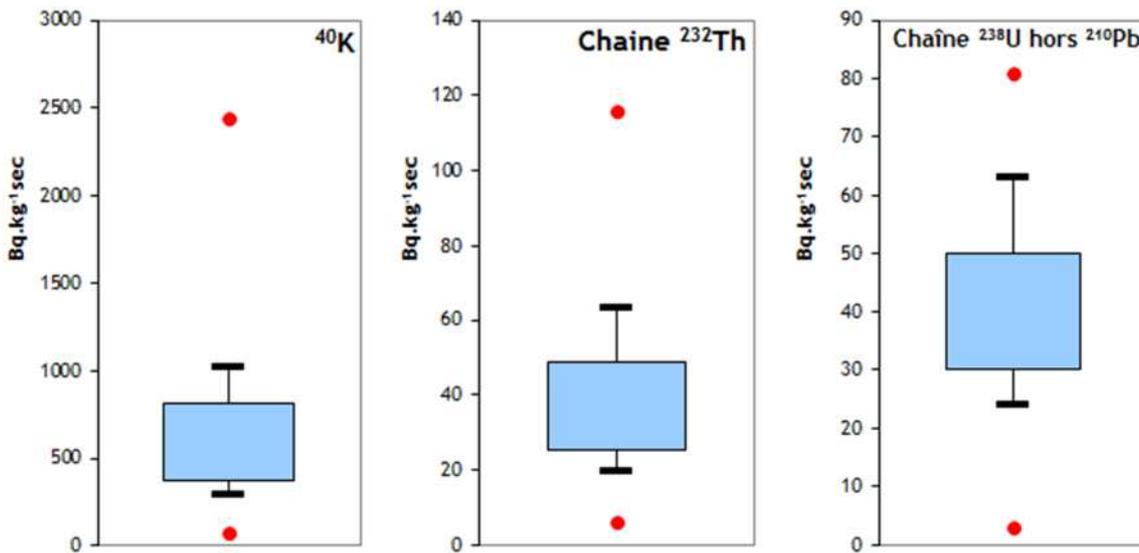


Figure 18 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1^{er} et 3^{ème} quartiles, 1^{er} et 9^{ème} déciles, minimum et maximum)

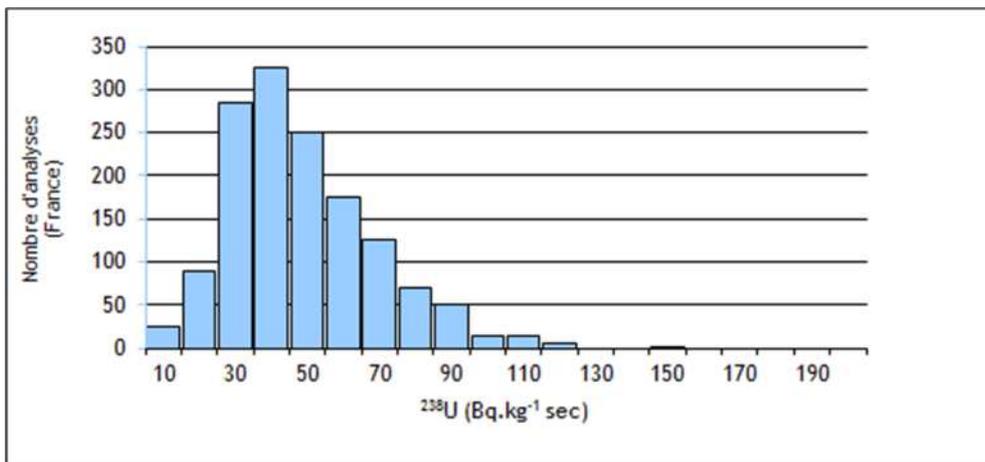


Figure 19 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

9.2. Radioactivité d'origine artificielle

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

9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires

Les essais nucléaires atmosphériques, qui se sont déroulés essentiellement de 1945 à 1962, ont libéré en majorité des produits de fission, tels que le ^{134}Cs , le ^{90}Sr et les radio-isotopes 238, 239 et 240 du plutonium. Les

retombées ont conduit à un marquage chronique de l'environnement qui perdure depuis l'arrêt des essais américains et soviétiques en août 1963.

Jusqu'au 16 octobre 1980, la Chine a continué à effectuer des essais nucléaires aériens à Lop Nor (40°N, 90°O). Les mesures réalisées consécutivement à ces essais dans des échantillons d'air ou des échantillons biologiques ont montré la présence de ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb et ^{125}Sb [31].

9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires

L'accident ayant entraîné l'émission radioactive quantitativement la plus importante est celui de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986. Cet accident a libéré dans l'atmosphère des radionucléides divers représentatifs du cœur du réacteur, dont les plus abondants sont les $^{134+137}\text{Cs}$, ^{131}I , le ^{132}Te , le ^{140}Ba et les $^{103+106}\text{Ru}$. La progression du nuage a conduit, surtout dans l'est et le sud-est de la France, à partir du 29 avril, à une montée nette de la radioactivité des aérosols. Les dépôts, essentiellement sous forme humide, ont affecté directement et par lessivage des sols, les bassins versants français, tout comme les écosystèmes aquatiques de l'est et du nord de l'Europe.

Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon au cours de la seconde moitié du mois de mars 2011 ont occasionné en France des détections faibles et fugaces dans les matrices terrestres de ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I et ^{132}Te . Le rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ est proche de 1 [32]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire implique la génération d'isotopes stables et radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission), et de l'activation des différents matériaux de structure (produits d'activation). Après traitement, contrôle et dilution, les effluents liquides faiblement radioactifs sont rejetés dans les cours d'eau ou la mer conformément à la législation en vigueur.

Globalement, les principaux radionucléides émetteurs γ émis par les réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement normal sont : ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{134}Cs et ^{137}Cs . Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ^{58}Co , ^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Les quantités rejetées au cours des années 90 ont diminué d'environ un facteur dix. Cependant, la composition des effluents liquides est variable d'un CNPE à l'autre, en fonction de sa conception, de son mode d'exploitation, de son âge et de l'historique d'exploitation de la tranche.

Les effluents atmosphériques radioactifs sont rejetés dans l'environnement, après traitement des effluents atmosphériques hydrogénés et stockage durant trente jours au minimum.

9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations

Des centres d'études, des centres militaires ainsi que des centres de traitements ou de stockage du combustible usé peuvent occasionner des marquages avec des signatures plus ou moins proches de celui des CNPE

Les services de médecine nucléaire rejettent du ^{131}I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.

9.3. Sources de ^3H

En dehors des rejets de ^3H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^3H est déjà présent dans l'environnement. Sur l'ensemble du globe, la plus grande part provient très majoritairement des essais nucléaires aériens. Localement, les sites CEA de Marcoule, ORANO La-Hague, Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc sont aussi à l'origine d'un net marquage de l'environnement. Les résidus de l'industrie horlogère peuvent augmenter sensiblement les niveaux de radioactivité des systèmes aquatiques.

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L^{-1} . Le ^3H a été massivement produit lors des essais nucléaires aériens. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans l'eau de pluie dans les années soixante, l'activité volumique à proximité de la zone d'étude est descendue à 10 Bq.L^{-1} en 1980 après le dernier essai aérien. Aujourd'hui, l'activité volumique de l'eau de pluie est proche de 1 Bq.L^{-1} .

Hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre sont à l'équilibre entre l'eau atmosphérique et l'eau libre des matrices du milieu terrestre [4]. L'activité en tritium organiquement lié mesurée dans les échantillons biologiques rend compte de l'activité atmosphérique du tritium au cours de la période de croissance de l'échantillon.

En milieu aquatique continental, hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre des échantillons sont à l'équilibre avec les activités atmosphériques actuelles [4, 33, 34]. Les activités en tritium organiquement lié dans les sédiments sont plus élevées que celles mesurées dans les végétaux et poissons, elles-mêmes supérieures au tritium libre des eaux de surface. Hors influence de toute activité industrielle actuelle, les niveaux observés résultent de l'exposition des organismes aquatiques à deux sources de tritium différenciées par leur forme (libre et organiquement lié) et par leur âge : le tritium libre atmosphérique actuel et le tritium organiquement lié, drainé sur le bassin versant et rémanent d'une époque où les niveaux de tritium libre atmosphérique étaient plus élevés.

9.4. Sources de ^{14}C

En dehors des rejets autorisés de ^{14}C liquides et atmosphériques par les CNPE, le ^{14}C est déjà présent dans l'environnement.

Les essais nucléaires aériens ont massivement apporté du ^{14}C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C est montée jusqu'à 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décru. Elle est, en 2020, proche de 224 Bq.kg^{-1} de carbone,[1].

En milieu aquatique, l'activité spécifique du ^{14}C varie avec sa dilution dans les substances carbonées, en particulier les carbonates anciens issus des roches sédimentaires appauvries en ^{14}C . Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique ; les activités spécifiques dans l'eau et les végétaux, hors influence industrielle locale y sont plus faibles : inférieures à 220 Bq.kg^{-1} de carbone [1, 35].

Annexe 10. Laboratoires d'analyses

ANALYSES	LABORATOIRE
Radionucléides émetteurs alpha Radionucléides émetteurs gamma (+ Iode-129) Strontium-90 Carbone-14 (méthode benzène) Tritium libre et lié Technétium-99 Nickel-63	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Métrologie de la Radioactivité dans l'Environnement (LMRE) Le bois des Rames - Bâtiment 501 91400 Orsay
Carbone-14 (méthode benzène) Fer-55	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) 31 rue de l'écluse 78116 Le Vésinet
Carbone-14 (méthode AMS)	Laboratoire de mesure du carbone-14 Bâtiment 450 porte 4E CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex Isoptech Zrt. P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie
Iode-127 Calcium Carbone et rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Centre National de la Recherche Scientifique Service central d'analyses 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne
Granulométrie 5 fractions Teneurs en matière organique, calcium et aluminium Capacité d'échange cationique	Institut national de la recherche agronomique Laboratoire d'analyse des sols d'Arras (LAS) 273 rue de Cambrai 62000 Arras

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31 av. de la division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

COURRIER

B.P 17 - 92260 Fontenay-aux-Roses

TÉLÉPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

MEMBRE DE
ETSON



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

EDF
Direction Production Nucléaire
CNPE de Tricastin
CS 40009
26131 SAINT PAUL TROIS CHATEAUX
TEL : 04 75 50 39 99

<https://www.edf.fr/centrale-nucleaire-tricastin>