



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

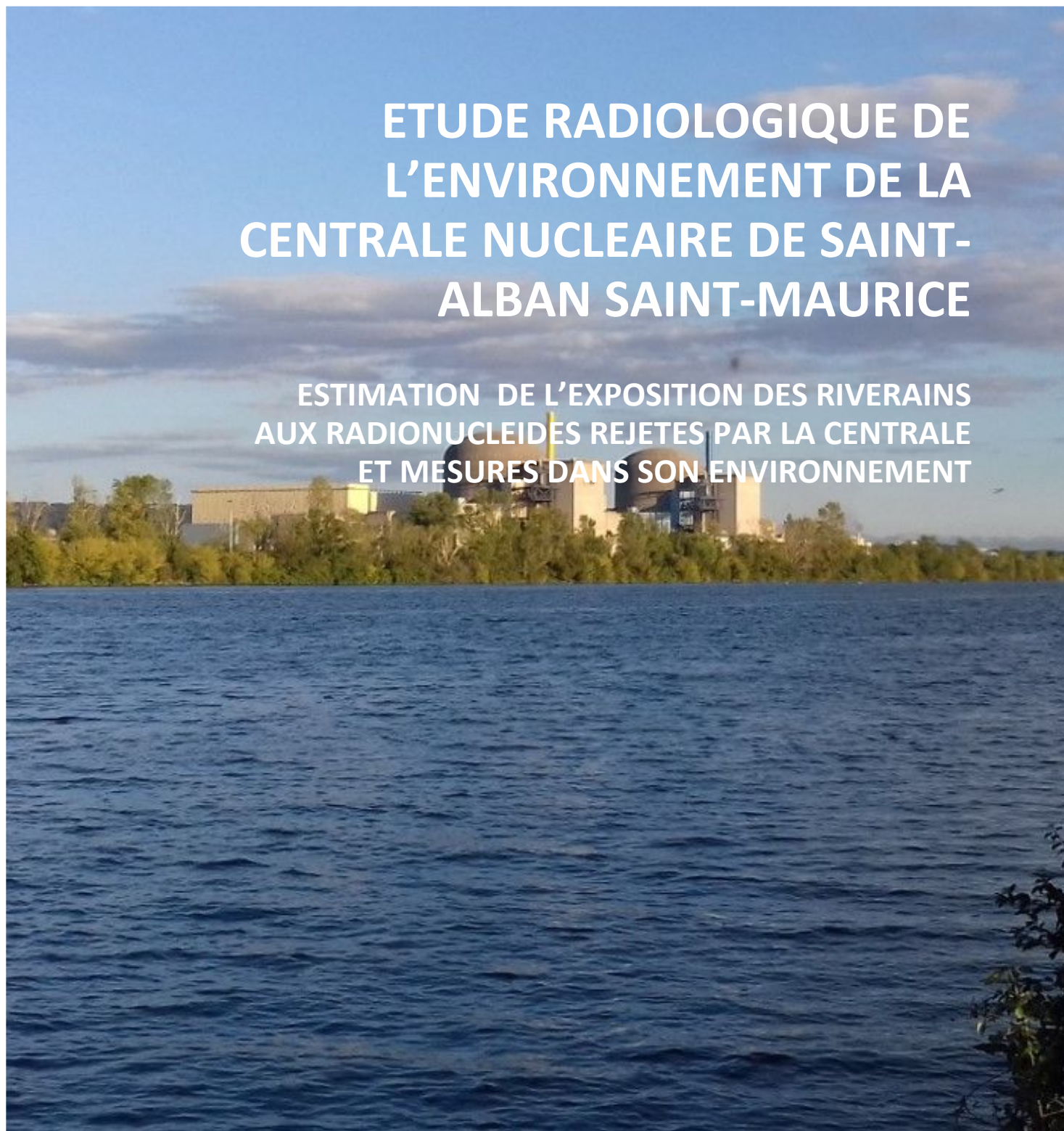
*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

ETUDE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE SAINT- ALBAN SAINT-MAURICE

ESTIMATION DE L'EXPOSITION DES RIVERAINS
AUX RADIONUCLEIDES REJETES PAR LA CENTRALE
ET MESURES DANS SON ENVIRONNEMENT



L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLEAIRES ET RADIOLOGIQUES

Expertiser, rechercher, protéger, anticiper, partager, telles sont les missions de l'IRSN au service des pouvoirs publics et de la population.

La singularité de l'Institut réside dans sa capacité à associer chercheurs et experts pour anticiper les questions à venir sur l'évolution et la maîtrise des risques nucléaires et radiologiques.

Les femmes et les hommes de l'IRSN ont à cœur de faire connaître leurs travaux et de partager leurs savoirs avec la société. Ils contribuent ainsi à améliorer l'accès à l'information et le dialogue avec les parties prenantes.

L'Institut concourt aux politiques publiques de sûreté et sécurité nucléaires, de santé, d'environnement et de gestion de crise.

Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous la tutelle conjointe du ministre chargé de l'Environnement, du ministre de la Défense, et des ministres chargés de l'Énergie, de la Recherche et de la Santé, l'IRSN inscrit pleinement son action dans les politiques de modernisation de l'État avec sa démarche de management des risques et la mise en œuvre d'une politique globale en matière de responsabilité sociétale

Dans le cadre de ses missions, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) contribue notamment à la veille permanente en radioprotection sur le territoire national.

À cet égard, la surveillance radiologique de l'environnement, réalisée par l'IRSN, participe :

- à la vérification du fonctionnement des installations qui sont autorisées à rejeter de la radioactivité dans l'environnement ;
- à l'analyse de l'évolution des niveaux de radioactivité – dans le temps et l'espace – et à la détection d'éventuelles élévations inhabituelles de ces niveaux ;
- à l'évaluation de l'exposition des populations et des écosystèmes aux rayonnements ionisants ;
- à la mise en place de moyens susceptibles d'être mobilisés en situation d'urgence radiologique ou en situation post-accidentelle ;
- à la qualification des modèles de dispersion de la radioactivité dans l'environnement et d'évaluation de ses impacts.

Elle est assortie d'une obligation de transparence qui conduit l'Institut à publier régulièrement ses résultats de mesure sur le réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement et des synthèses sur l'état radiologique des territoires sur le site internet de l'Institut.

L'INSTITUT
COMPTE
ENVIRON
1 816
COLLABORATEURS

parmi lesquels
de nombreux
ingénieurs,
médecins,
agronomes,
vétérinaires,
techniciens,
experts
et chercheurs.

Pour mener à bien
ses missions,
l'IRSN dispose
**D'UN BUDGET
D'ENVIRON
271 M€**

DES RESEAUX DE PRELEVEMENT ET DE MESURE CONÇUS POUR UNE SURVEILLANCE REGULIERE

La surveillance radiologique régulière de l'environnement faite par l'IRSN repose sur des réseaux de balises de télédétection et de stations de prélèvement des milieux, installés de manière permanente en des points particuliers du territoire, au plus proche des installations nucléaires ou en dehors de l'influence de celles-ci.

Deux réseaux pour surveiller l'air

- **Le réseau Téléray**, constitué de sondes qui mesurent en continu le débit de dose gamma ambiant dans l'air. Elles transmettent en temps réel leurs données à la salle de télésurveillance de l'IRSN, et sont mises à disposition du public en quasi temps réel via un site web (www.teleray.irsn.fr). Dès qu'une augmentation anormale de radioactivité est détectée, une alarme est envoyée à l'IRSN et une investigation est menée.
- **Le réseau OPER A-Air**, qui est constitué de préleveurs d'aérosols fonctionnant en continu. Ils permettent d'obtenir une mesure précise, grâce à une analyse en laboratoire, des radionucléides fixés sur les aérosols présents dans l'air.

Deux réseaux pour surveiller l'eau

- **Le réseau Hydrotéléray** mesure en continu la radioactivité des principaux fleuves français recevant les effluents des centrales nucléaires.
- **Le réseau des hydrocollecteurs** prélève en continu les eaux et les matières en suspension dans les cours d'eau situés généralement en aval des installations nucléaires.

Un réseau pour surveiller les aliments

Avec l'aide des réseaux de préleveurs et des laboratoires de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) et de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), l'IRSN organise la collecte périodique et la mesure de denrées alimentaires pour en évaluer la radioactivité.

Et les autres compartiments...

L'IRSN complète cette surveillance régulière par le prélèvement et l'analyse d'autres supports environnementaux de la radioactivité (sol, herbe, sédiment, mousse terrestre, mousse aquatique, algue, ...). Ils permettent l'établissement de chroniques précieuses dans l'optique d'une analyse temporelle des évolutions.

ET UNE APPROCHE TERRITORIALISÉE...

En complément de sa surveillance régulière, l'IRSN réalise des études ponctuelles à l'échelle régionale ou bien centrées sur l'environnement proche des installations nucléaires.

Les premières appelées « constats radiologiques régionaux » font la synthèse des connaissances relatives aux niveaux de radioactivité naturelle et artificielle sur l'emprise géographique d'une région, d'un territoire ou d'un bassin versant. Elles permettent la mesure d'échantillons rarement analysés, de denrées présentant une valeur économique particulière pour le territoire et de répondre à des attentes ou des questions particulières des parties prenantes. Elles contribuent également à établir une cartographie des zones d'influence des principales installations nucléaires d'une région et à actualiser les connaissances sur le bruit de fond radiologique local hors zone d'influence des installations nucléaires.

Les secondes appelées « Etudes radiologiques de sites » ont pour objectif d'affiner les connaissances sur l'influence radiologique d'une installation nucléaire sur son environnement proche, d'estimer de manière réaliste - par des mesures spécifiques combinées à des modélisations - les expositions des populations avoisinantes et d'associer les acteurs de la société civile à l'étude et à sa restitution.

... POUR DES MESURES RENDUES PUBLIQUES

Que ce soit dans le cas de la surveillance régulière, avec les réseaux de surveillance des différents milieux, ou bien dans le cadre d'études ponctuelles, l'IRSN diffuse vers le public l'ensemble des résultats de ses mesures. Pour les mesures réalisées en temps réel par le réseau Téléray, la publication des résultats est quasi instantanée via un site web dédié (www.teleray.irsn.fr). Les mesures nécessitant un traitement préliminaire des échantillons et donc un temps d'acquisition plus long (cas des denrées par exemple) sont diffusées, quant à elles, dès que disponibles, sur le site public du RNM (www.mesure-radioactivite.fr).

RESUME

En complément de la connaissance issue de la surveillance de l'environnement des sites nucléaires, l'IRSN a engagé en 2019 un programme innovant visant une caractérisation radiologique plus précise de cet environnement : les « Études radiologiques de site » (ERS). L'environnement de la centrale nucléaire d'EDF de Saint-Alban Saint-Maurice (Isère) a été choisi par l'IRSN pour réaliser une étude pilote afin de mettre en place une méthodologie transposable à d'autres sites similaires.

Ce programme d'étude prévu sur 3 ans (2019-2021) a pour objectifs principaux d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'influence des rejets radioactifs de la centrale sur son environnement, d'estimer de manière plus réaliste l'exposition des populations avoisinantes en prenant en compte leurs habitudes de vie, et de proposer aux citoyens qui le souhaitent de s'impliquer dans le programme. Il est organisé autour de trois axes principaux :

- l'implication des acteurs locaux ;
- des mesures de radioactivité dans les différents milieux de l'environnement (atmosphérique, aquatique et terrestre) ;
- des enquêtes de proximité, destinées à connaître les habitudes de vie des populations riveraines.

Malgré les fortes contraintes liées à la pandémie de COVID 19 durant la période de l'étude, les objectifs ont été atteints et le planning a été tenu notamment grâce à la forte mobilisation et la participation active des acteurs locaux. Ce sont plus de 970 prélèvements dans l'environnement, plus de 1200 analyses radiologiques qui ont été réalisés et plus de 270 personnes qui ont été interrogées.

L'objet du présent rapport est de présenter l'estimation, au travers du calcul de dose, de l'exposition des populations riveraines aux radionucléides rejetés par la centrale sur la base des

résultats des mesures de radioactivité dans l'environnement et des informations collectées sur le mode de vies des riverains.

Les résultats et les informations recueillies lors de cette étude ont permis d'estimer la dose liée aux rejets radioactifs de la centrale nucléaire de Saint-Alban entre 0,08 et 0,25 $\mu\text{Sv}/\text{an}$. Il apparaît que ces doses sont de l'ordre de grandeur de celle estimée à l'aide de codes de calculs par l'exploitant sur la base des rejets réels et sont inférieures de plusieurs ordres de grandeur à la limite d'exposition du public de 1 000 μSv par an (en dehors des expositions médicales et naturelles).

Mot-clés

Exposition, dose, Saint-Alban, tritium, carbone 14, Centre Nucléaire de Production d'Electricité, CNPE, centrale nucléaire, étude radiologique de site.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	7
2. PRÉSENTATION DU CENTRE NUCLÉAIRE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	8
2.1 LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN	8
2.2 RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN	9
2.3 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN	11
2.4 ESTIMATION PAR EDF DE L'EXPOSITION LIÉE AUX REJETS RADIOACTIFS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN	13
3. EXPOSITION DE LA POPULATION FRANÇAISE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS ET BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE	15
3.1 EXPOSITION DE LA POPULATION	15
3.2 NOTION DE « BRUIT DE FOND » RADIOLOGIQUE.....	16
— LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE NATUREL.....	16
— LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE RÉMANENT DES RETOMBÉES ANCIENNES.....	16
— RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE ÉGALEMENT PRÉSENTS DANS L'ENVIRONNEMENT HORS INFLUENCE D'INSTALLATION NUCLÉAIRE	17
4. ESTIMATION PAR LES MESURES DE RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT DE L'EXPOSITION DES RIVERAINS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN LIÉE AUX REJETS RADIOACTIFS	20
4.1 ACTUALISATION DES INFORMATIONS CONCERNANT LES MODES DE VIE DES RIVERAINS	21
— PROFIL DE LA POPULATION ENQUETÉE.....	22
— HABITUDES ALIMENTAIRES DE LA POPULATION ENQUETÉE	22
— BUDGET ESPACE TEMPS DE LA POPULATION ENQUETÉE	24
4.2 CONNAITRE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'AIR	25
— ACTIVITÉS EN TRITIUM À PROXIMITÉ ET À DISTANCE DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN [36]	25
— ÉTUDE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES AÉROSOLS À PROXIMITÉ DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN [36].....	26
— ACTIVITÉS EN CARBONE 14 À PROXIMITÉ DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN.....	29
4.3 CONNAITRE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES DENRÉES CONSOMMÉES	30
— ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES VÉGÉTAUX ET LES DENRÉES TERRESTRES.....	30
— ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES POISSONS	35
— ÉTUDE DES ACTIVITÉS DE TRITIUM DANS LES EAUX DE NAPPES PHRÉATIQUES À PROXIMITÉ ET À DISTANCE DE LA CENTRALE [41].....	37
— PLATEAUX REPAS [40]	38
4.4 EXPOSITION LIÉE AUX REJETS DE LA CENTRALE D'UN RIVERAIN ADULTE SUR LA BASE DES RÉSULTATS DE L'ERS	39
— Calcul de l'exposition par incorporation :	39

— Calcul de l'exposition par inhalation :	41
— Calcul de l'exposition externe :	43
— Résultats	44
5. CONCLUSION	47
6. ANNEXES	48
7. RÉFÉRENCES.....	50

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission de surveillance de l'environnement, l'IRSN a souhaité renforcer ses connaissances scientifiques sur l'influence des rejets radioactifs des sites nucléaires sur leur environnement ainsi que l'exposition radiologique, induites par ces rejets, de la population avoisinante. C'est à cette fin scientifique et en complément de la connaissance issue de la surveillance réglementaire de l'environnement des sites nucléaires, que l'IRSN a démarré en 2019, un programme innovant visant une caractérisation radiologique plus précise de ces environnements : les « Études radiologiques de site » (ERS) [1]. L'environnement du Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE), communément appelé « centrale nucléaire », de Saint-Alban Saint-Maurice (Isère) a été choisi par l'IRSN pour réaliser une étude pilote, afin de mettre en place une méthodologie transposable à d'autres sites similaires. En effet, le fonctionnement d'une centrale nucléaire, entraîne la production d'effluents radioactifs rejetés dans l'atmosphère et en milieu aquatique. Ces rejets, encadrés par des autorisations propres à chaque centrale nucléaire, délivrées par l'ASN¹, sont effectués après contrôle et surveillance des niveaux de radioactivité conformément à la réglementation.

Le choix de réaliser cette première ERS dans l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban ne résulte pas d'une préoccupation environnementale ou sanitaire spécifique, mais s'explique par le fait que les acteurs locaux, à travers la Commission Locale d'Information (CLI)² de Saint-Alban, ainsi que l'exploitant de la centrale nucléaire (EDF), ont accepté d'en faciliter la réalisation.

Ce programme d'étude prévu sur 3 ans (2019-2021)³ a pour objectifs principaux d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'influence des rejets radioactifs de la centrale sur son environnement, d'estimer de manière plus réaliste l'exposition des populations avoisinantes en prenant en compte leurs habitudes de vie, et de proposer aux citoyens qui le souhaitent de s'impliquer dans le dimensionnement du programme, de s'approprier ses concepts, ses enjeux et les résultats des mesures de la radioactivité environnementale. Il est organisé autour de trois axes principaux :

- Des études de terrain dans les différents compartiments de l'environnement (atmosphérique, terrestre et aquatique), par l'acquisition de mesures de radioactivité à proximité et à distance du site. Ces études permettent de multiplier et diversifier ponctuellement les types de prélèvements et d'analyses effectués dans le cadre de la surveillance réglementaire. Ainsi que de mettre en œuvre des moyens techniques de prélèvement et de mesure très performants afin de pouvoir mesurer des niveaux de radioactivité en dessous des seuils fixés par la réglementation ;
- Des enquêtes de proximité pour actualiser les informations sur les modes de vie des habitants résidant autour du site (habitudes alimentaires, utilisation de l'espace et du temps, usage de l'environnement...) ;
- L'implication des acteurs locaux, en leur donnant la possibilité de participer à la définition et la réalisation du programme d'études, afin de d'assurer de répondre à leurs préoccupations, de les informer et de leur restituer de manière pédagogique l'état radiologique de leur environnement et les niveaux de radioactivité auxquels ils sont exposés.

Au total ce sont plus de 970 prélèvements dans l'environnement de la centrale et plus de 1200 analyses qui ont été réalisés, et plus de 270 personnes qui ont été interrogées grâce à l'implication des acteurs locaux, au travers notamment du groupe de suivi, constitué de membre de la CLI, et aux nombreuses collaborations locales (exploitants agricoles, riverains, élus, fédérations de chasse et de pêche, gestionnaires de réseau d'eau potable...). Les résultats de ces différentes études ont fait, ou feront, l'objet de rapports publics disponibles sur le site internet de l'IRSN⁴.

L'objet du présent rapport est de présenter les résultats, ainsi que la méthodologie, du calcul de l'exposition de la population riveraine aux radionucléides rejetés par la centrale, basés sur la connaissance des modes de vie des riverains, notamment leurs habitudes alimentaires, la connaissance des concentrations en éléments radioactifs présents dans l'air inhalé et dans les denrées produites et consommées localement.

¹ L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) assure, au nom de l'État français, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, pour protéger les personnes et l'environnement.

² CLI : Instance d'information et de concertation regroupant les élus locaux, les représentants d'associations de protection de l'environnement, les représentants des syndicats de salariés du nucléaire, les experts : scientifiques, médecins, chefs d'entreprises, universitaires...

³ Le planning général de l'ERS a dû être adapté face à la situation inédite liée à l'épidémie de Coronavirus Covid-19, ainsi certaines études ont été décalées, d'autres annulées. Néanmoins, une restitution publique des principaux résultats a été faite le 09 mars 2022. Pour ce faire, les études permettant une estimation réaliste de l'exposition des populations ont été effectuées en priorité, celles relevant de l'acquisition d'informations nécessaires à l'amélioration des connaissances scientifiques de l'Institut ont été maintenues mais valorisées dans un second temps.

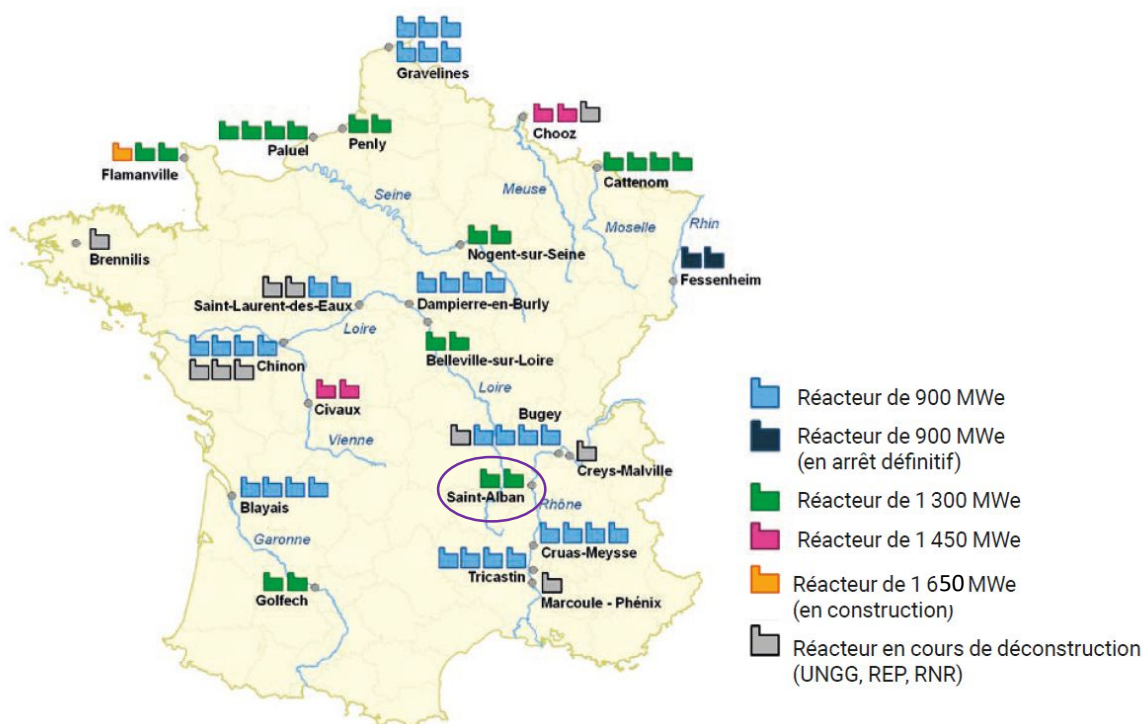
⁴ https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Etudes-complementaires/Etude-radiologique-environnement-Saint-Alban-Saint-Maurice-I-exil/Pages/ERS-Saint-Alban-sommaire.aspx#.YIZ_3pHP2UK

PRÉSENTATION DU CENTRE NUCLÉAIRE DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

2.1 LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) ou « centrale nucléaire » de Saint-Alban, exploité par EDF, est situé dans le département de l'Isère (38) à 40 km au sud de Lyon et à 20 km de Vienne, en bordure de la rive gauche du Rhône (Figure 1). Il s'étend sur une surface de près de 180 hectares sur les territoires des communes de Saint-Alban-du-Rhône et de Saint-Maurice-l'Exil. Il est l'un des 18 CNPE en exploitation qui composent le parc nucléaire d'EDF. La construction du site de Saint-Alban Saint-Maurice a été décidée en 1975, et les travaux d'aménagement ont débuté en 1978. Les deux unités de production ont été couplées au réseau en août 1985 (tranche 1 – INB⁵ 119) et juillet 1986 (tranche 2 – INB 120). Le refroidissement est assuré directement par l'eau du Rhône, sans présence d'aéroréfrigérant⁶.

Deux sites nucléaires sont situés en amont sur le Rhône, le CNPE de Bugey et le réacteur en démantèlement de Creys-Malville. Trois autres sites nucléaires se situent en aval : le CNPE de Cruas-Meyssse, le site du Tricastin (qui regroupe des installations du cycle du combustible nucléaire d'Orano et un CNPE d'EDF) et le site CEA de Marcoule.



⁵ INB : installation nucléaire de base

⁶ Aéroréfrigérant : l'eau du circuit de refroidissement peut être refroidie au contact de l'air circulant dans de grandes tours, appelées aéroréfrigérants.

Durant l'étude (janvier 2019 à décembre 2021), les unités de production de la centrale nucléaire de Saint-Alban ont été arrêtées à plusieurs reprises pour diverses raisons. Le réacteur numéro 1 a notamment été arrêté du 25 avril au 16 août 2020 et du 21 août au 26 septembre 2021 pour des opérations de maintenance programmées, le réacteur numéro 2 a quant à lui été arrêté du 7 septembre au 27 novembre 2019 et du 03 avril au 11 mai 2021.

2.2 RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN

Comme de nombreuses autres activités industrielles, l'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents liquides et gazeux. Certains de ces effluents contiennent des substances radioactives (radionucléides⁷) issues de réactions nucléaires. Les modalités de rejets dans l'environnement après contrôles des niveaux de radioactivité sont encadrées par des autorisations propres à chaque centrale [3][4][5][6]. Les rejets radioactifs sont de manière générale très inférieurs aux autorisations de rejets accordées par l'ASN.

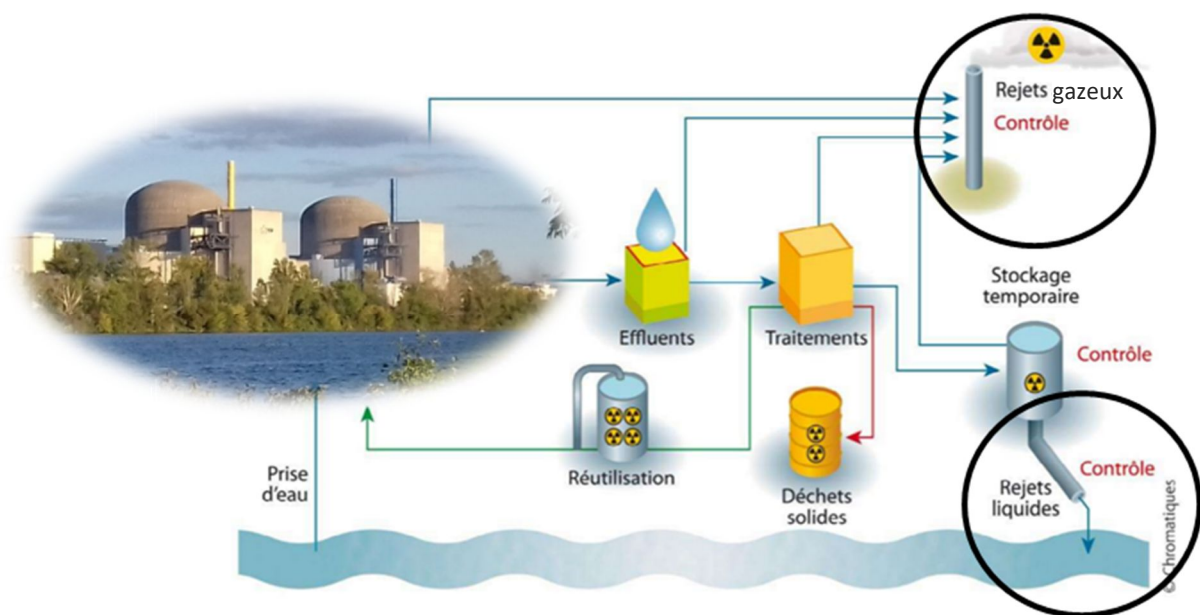


Figure 2. Illustration simplifiée des circuits de rejets liquides et gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban

Parmi les principales substances radioactives (radionucléides) susceptibles d'être présentes dans les effluents d'une centrale nucléaire, on distingue [7]:

- Les gaz rares, comme le ^{133}Xe , le ^{135}Xe et l' ^{41}Ar .
- Les produits de fission (PF), comme l'iode 131 et le césium 137, sont créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium.
- Les produits d'activation (PA) sont créés à l'extérieur du combustible ; il s'agit notamment des cobalts 58 et 60, du manganèse 54, de l'antimoine 124, du chrome 51, de l'argent 110 métastable, du nickel 63, du **tritium** et du **carbone 14**.

⁷ Radionucléide : isotope radioactif d'un élément (Exemples : le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; le carbone 14, isotope radioactif du carbone).

Les tableaux 1 et 2 présentent les activités (en GigaBecquerel⁸) rejetées par voies liquides et gazeuses par la centrale nucléaire de Saint-Alban entre 2019 et 2021 [8][9][10]. Outre les gaz rares⁹ pour les rejets gazeux, le tritium et le carbone 14 sont les principaux radionucléides rejetés par la centrale. Ces rejets sont relativement constants depuis plusieurs années [11].

Tableau 1. Rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2021 (EDF : Rapports environnement annuels du CNPE de Saint-Alban [13][14][15])

Rejets d'effluents radioactifs liquides			Activités rejetées		
		Limites annuelles réglementaires	2019	2020	2021
Tritium	GBq	80 000	62 100	48 570	55 850
Carbone 14	GBq	190	20,3	18,7	29
Iodes	GBq	0,1	0,011	0,012	0,019
Autres PF-PA	GBq	10	0,33	0,42	0,36

Tableau 2. Rejets d'effluents radioactifs gazeux du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2021 (EDF : Rapports environnement annuels du CNPE de Saint-Alban [13][14][15])

Rejets d'effluents radioactifs gazeux			Activités rejetées		
		Limites annuelles réglementaires	2019	2020	2021
Gaz rares	GBq	25 000	617	662	1750
Tritium	GBq	4 500	1 240	1 044	878
Carbone 14	GBq	1 400	514	371	375
Iodes	GBq	0,8	0,029	0,018	0,037
Autres PF-PA	GBq	0,1	0,0069	0,004	0,005

Le rapport « historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban » [11], disponible sur le site internet de l'IRSN, présente un historique des rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban. Ce document réalisé en amont du lancement de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale précise qu'aucun événement significatif pour l'environnement (ESE) déclarés sur les 10 dernières années par l'exploitant n'a été de nature à occasionner un marquage significatif et persistant de l'environnement.

⁸ L'unité de mesure utilisée pour quantifier la radioactivité est le Becquerel (Bq) ; elle équivaut à 1 désintégration par seconde. Pour les rejets, il est courant d'utiliser des multiples : Giga Bq (GBq) = 10⁹ Bq ; Téra Bq (TBq) = 10¹² Bq.

⁹ Les gaz rares rejetés dans l'atmosphère n'interagissent pas avec l'environnement ; notamment, ils ne se fixent pas dans les denrées, en revanche ils contribuent à l'exposition externe de la population.

2.3 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN

Depuis la mise en production de la centrale nucléaire de Saint Alban et le « point zéro »¹⁰ radiologique de l'environnement effectué par l'IPSN¹¹ entre 1980 et 1981, le programme de surveillance de l'environnement ainsi que les acteurs qui le mettent en œuvre ont beaucoup évolué. De nos jours, l'exploitant doit réglementairement mettre en œuvre un plan de surveillance de l'environnement en application de la décision de l'ASN [3] qui fixe la nature, les fréquences, la localisation des différents prélèvements, ainsi que la nature des analyses à faire.

Le plan de surveillance de l'environnement consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyses, dans les différents compartiments de l'environnement de la centrale (atmosphérique, terrestre et aquatique) à proximité, sous et hors vents dominants, en amont et en aval du point de rejet d'effluents liquides. Les principaux objectifs de cette surveillance de routine sont de détecter dans l'environnement les radionucléides présents dans les rejets effectués en situation de fonctionnement normal, de mesurer leur activité et, le cas échéant, d'alerter d'une augmentation anormale des niveaux et de tout dépassement vis-à-vis des limites prescrites par l'Autorité. Les résultats des analyses sont comparés soit à des limites réglementaires quand elles existent, soit à des valeurs repères (seuil de décision¹², analytiques ou de quantification ou bruit de fond environnemental (§ 3.2), par exemple). Ce plan de surveillance est complété, à l'initiative d'EDF, par des évaluations décennales plus exhaustives et des études radioécologiques annuelles, visant à connaître de manière plus précise l'évolution des niveaux de radioactivité dans les différents compartiments de l'environnement.

L'IRSN, dans le cadre de ses missions, réalise également une surveillance autour des CNPE. Cette surveillance régulière vise à évaluer l'influence du fonctionnement du site sur son environnement et sur la population, à déterminer les niveaux d'activités à proximité de celui-ci ainsi que leur évolution dans le temps et à détecter toute élévation anormale de la radioactivité. Pour répondre à ces objectifs complémentaires des mesures réalisées en routine par l'exploitant, cette surveillance repose sur des moyens (ou dispositifs) de prélèvement et de mesure performants permettant d'atteindre le plus souvent le bruit de fond ou, a minima, de mesurer de très faibles activités.

La surveillance radiologique de l'environnement menée par ces différents acteurs répond donc aux objectifs suivants :

- La protection sanitaire des populations et de l'environnement au regard des expositions radiologiques.
- La connaissance de l'état radiologique de l'environnement.
- La détection précoce de toute élévation anormale de radioactivité pouvant résulter d'un incident ou d'un accident survenant dans une installation nucléaire.
- Le respect de la réglementation par les exploitants exerçant une activité nucléaire.
- L'information du public.

En pratique, la surveillance radiologique de l'environnement repose sur trois types de dispositifs de prélèvements et/ou de mesures :

- Des prélèvements ponctuels d'échantillons environnementaux mesurés a posteriori en laboratoire : les eaux de pluie, les eaux de surface (eaux douces et eaux de mer), les indicateurs biologiques (mousses, algues), les sols et les sédiments, ainsi que les denrées alimentaires (lait et produits laitiers, viande, poisson, mollusques, crustacés, céréales...);
- Des dispositifs de prélèvement en continu avec une mesure différée des échantillons collectés en laboratoire : essentiellement les mesures effectuées dans le compartiment atmosphérique (aérosols, mesures de radionucléides spécifiques dans l'air comme le tritium et le carbone 14) et dans les eaux de surface (prélèvements par des hydrocollecteurs) ;
- Des dispositifs de mesure en continu in situ associés éventuellement à un dispositif de retransmission en temps réel principalement utilisés pour la détection précoce d'événements radiologiques : les principaux réseaux de mesures en continu sont les balises de mesures de débit d'équivalent de dose gamma ambiant.

¹⁰ Etat radiologique de l'environnement de la centrale avant la mise en service des réacteurs.

¹¹ L'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) était un institut du Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Il s'agit aujourd'hui de l'une des entités de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), depuis la fusion de l'IPSN avec l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) en 2002.

¹² 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. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés.

La surveillance réglementaire de l'environnement faite par l'ensemble des exploitants d'installations nucléaires (EDF, Framatome, Orano, CEA...) et la surveillance régulière réalisée par l'IRSN, fournissent un grand nombre de mesures de radioactivité dans les milieux (air, eau, prélèvements biologiques ou inertes) ou dans les denrées alimentaires. Pour répondre à l'objectif d'information du public sur les niveaux rencontrés dans l'environnement et contribuer à l'évaluation de l'exposition des populations, l'ensemble des résultats de cette surveillance est centralisé par le réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM-RE) qui permet, depuis 2009, la restitution des résultats de ces mesures par la constitution d'une base de données unique et d'un site Internet <https://www.mesure-radioactivite.fr/> [12] (Figure 3).

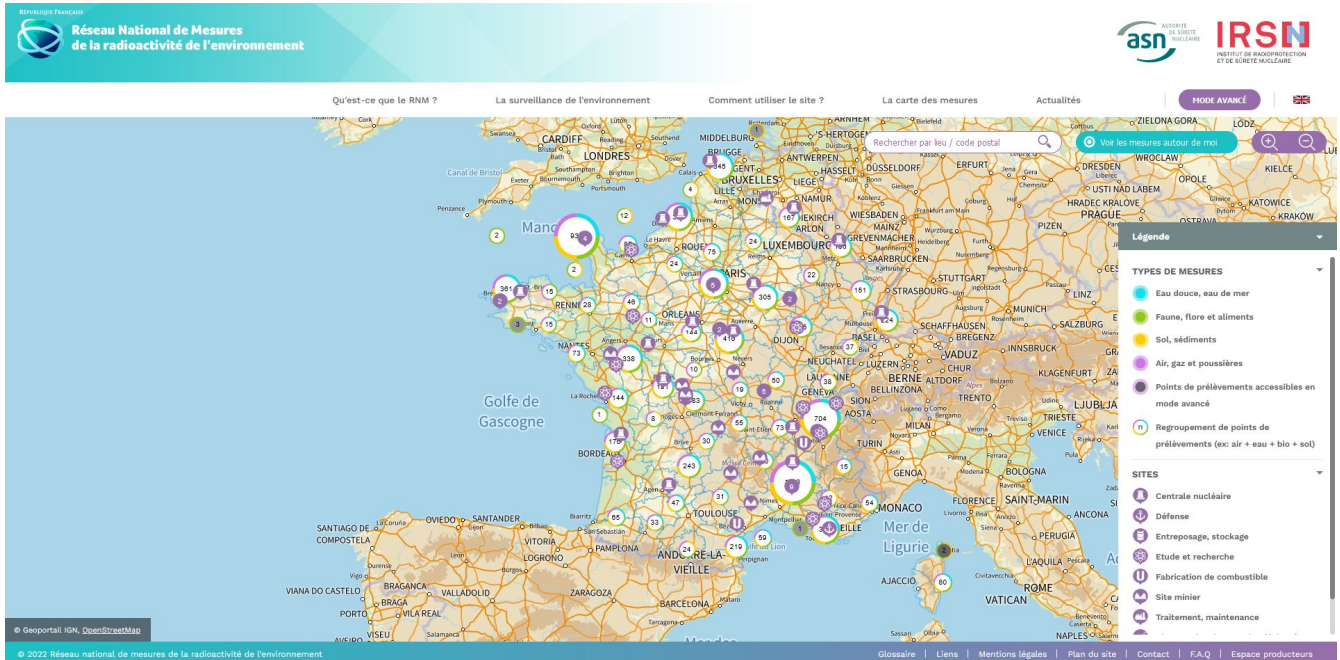


Figure 3. Page d'accueil du site internet du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement

La figure 4 illustre les différents types de données issues de la surveillance de l'environnement de la centrale de Saint-Alban, disponibles sur le site du RNM-RE.

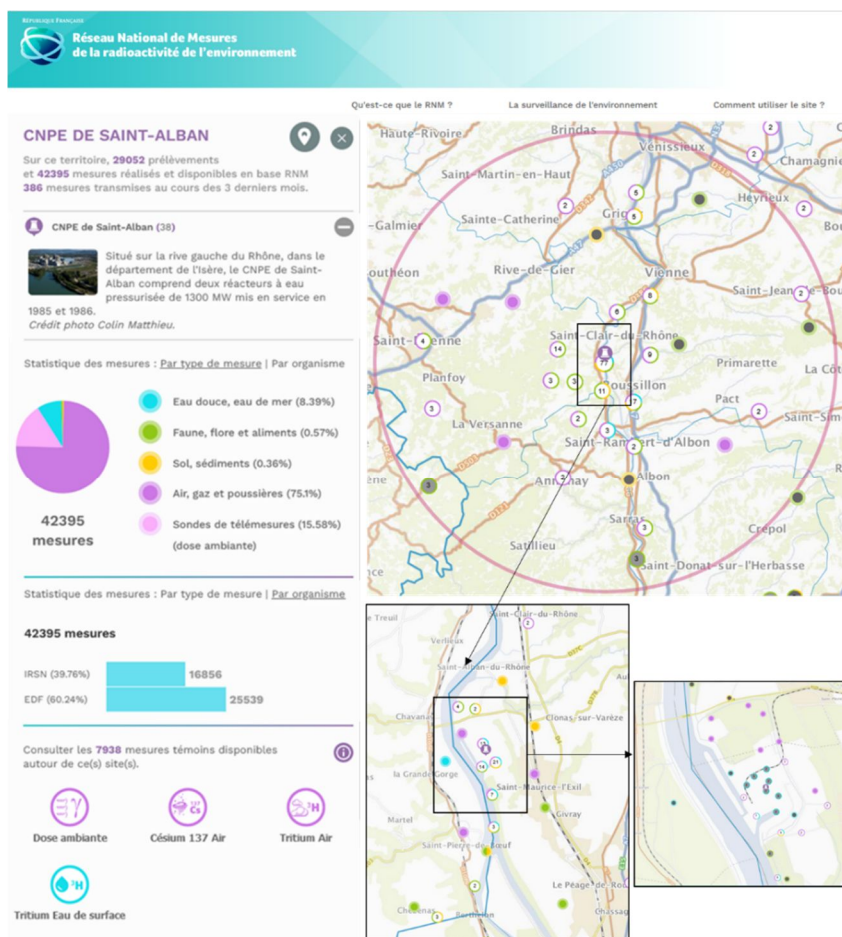


Figure 4. Exemple de données de la surveillance radiologique de l'environnement de la centrale de Saint-Alban vues depuis le RNM-RE

Chaque acteur dispose également de ses propres moyens de communication, les résultats de cette surveillance sont ainsi également accessibles sur le site internet et dans les rapports annuels d'EDF [13] à [15], et sur le site internet et dans les rapports de l'IRSN [16].

Le rapport « historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban » [11] disponible sur le site internet de l'IRSN, présente une synthèse radiologique globale et historique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban. Ce document, réalisé en amont du lancement de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale, précise que l'analyse des données historiques disponibles à l'IRSN et les mesures réalisées dans l'environnement du site ne mettent pas en évidence de marquage radiologique à proximité de celui-ci ayant pu être occasionné par un incident d'exploitation sur les dix dernières années.

2.4 ESTIMATION PAR EDF DE L'EXPOSITION LIÉE AUX REJETS RADIOACTIFS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN

Une fois dispersés dans l'environnement, les radionucléides initialement présents dans les rejets d'effluents radioactifs liquides et gazeux de la centrale peuvent contribuer à une exposition (externe et interne) de la population. Pour évaluer

l'impact radiologique sur le public, la réglementation demande de calculer la dose efficace¹³ annuelle, exprimée en Sievert¹⁴ par an (Sv/an), susceptible d'être reçue par les personnes les plus exposées aux rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques du fait de leur situation géographique et de leurs habitudes de vie.

Les conditions de rejets mises en œuvre par l'exploitant doivent ainsi permettre d'assurer que dans toutes les conditions de fonctionnement normal, y compris les plus pénalisantes, l'exposition du public reste inférieure à la limite fixée par la réglementation (article R 1333-11 du code de la santé publique) de 1 000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ (=1 mSv/an = 0,001 Sv/an).

Le calcul de la dose efficace à la population est effectué par l'exploitant par modélisation à l'aide de codes de calculs en tenant compte des mécanismes de transfert des radionucléides dans l'environnement jusqu'à l'homme et des informations sur les habitudes de vie des populations basées, le plus souvent, sur des données nationales datant des années 1990.

Deux calculs sont effectués :

- Un calcul de dose efficace dite « a priori » qui est évaluée sur la base des limites réglementaires annuelles de rejet ;
- Un calcul de dose efficace dite « a posteriori » évaluée à partir des rejets réels effectués dans l'année.

Dans les rapports environnement publiés annuellement par la centrale de Saint-Alban, la dose efficace annuelle « a posteriori » est calculée pour différentes classes d'âge (adulte, enfant de 10 ans et enfant de 1an) d'une personne dite « représentative ». Cette personne représente les individus pouvant recevoir la dose efficace annuelle maximale induite par les rejets d'effluents radioactifs autorisés de la centrale.

Les principaux facteurs d'incertitudes dans ce calcul qui tient compte de données spécifiques au site (telles que les conditions météorologiques, les habitudes alimentaires des riverains, les conditions de dispersion des effluents rejetés dans le Rhône, etc...) sont les caractéristiques de l'environnement du site et les comportements précis des populations riveraines, notamment les rations alimentaires et le taux de consommation de denrées produites localement.

Concernant la population voisine de la centrale de Saint-Alban, pour laquelle EDF ne dispose pas d'enquête locale, les données nécessaires au calcul d'exposition des populations (Variables humaines d'expositions) sont issues d'enquêtes nationales des années 1990 à 2000.

Pour effectuer ce calcul, les principales hypothèses retenues sont les suivantes :

- Les habitants consomment pour partie des aliments produits dans l'environnement proche du CNPE ;
- Les habitants vivent toute l'année sur leur lieu d'habitation (non-prise en compte de leurs périodes d'absence pour le travail, les vacances...);
- On considère que les eaux captées à l'aval des installations proviennent essentiellement de captages d'eaux superficielles, même s'il s'agit de captages en nappes d'eaux souterraines ;
- L'eau de boisson n'a subi aucun traitement de potabilisation (autre que la filtration) ;
- La pêche de poissons du Rhône est effectuée à l'aval du point de rejets liquides, sans exclure les zones de pêche interdite.

A partir de ces hypothèses, le calcul effectué par EDF de la dose efficace annuelle « a posteriori » pour un adulte conduit une valeur de 0,15 μSv en 2019, de 0,12 μSv en 2020 et de 0,16 μSv en 2021 [8] à [10].

Depuis quelques années le « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français » publié par l'IRSN [2][17] présente des estimations des doses susceptibles d'être reçues par la population résidant autour des centrales nucléaires du fait de leurs rejets, réalisées à partir de mesures environnementales. Les résultats de mesure pour un seul CNPE étant en nombre limités, les doses estimées sont des moyennes pour ce type d'installation nucléaire sur la base de toutes les données disponibles autour de l'ensemble des CNPE. Il en ressort qu'une personne qui résiderait à proximité d'un CNPE et qui cumulerait toutes les voies d'exposition recevrait une dose inférieure à 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Un des objectifs de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale de Saint-Alban est d'appliquer la méthodologie d'estimation de doses à la population locale, en prenant en compte les résultats des mesures réalisées spécifiquement dans l'environnement de la centrale et les informations concernant les habitudes de vie des riverains recueillies lors des enquêtes de proximité, de manière à faire une estimation plus précise et la plus réaliste possible.

¹³ Les éventuels dommages induits par les rayonnements ionisants sur les tissus de l'organisme et leurs conséquences dépendent de l'organe touché, de la nature du rayonnement, de son énergie et du devenir du radionucléide dans l'organisme après son incorporation par inhalation ou par ingestion. L'estimation de la dose efficace permet de quantifier et de comparer les différentes expositions auxquelles peut être soumise une personne en prenant en compte les spécificités des radionucléides, de leur rayonnement ainsi que des organes exposés. La dose efficace s'exprime en Sievert (Sv).

¹⁴ Le Sievert (Sv) est l'unité de mesure utilisée pour évaluer l'impact des rayonnements ionisants sur une personne. Il est courant d'utiliser des sous-multiples du Sv : 1 milli Sv (mSv) = 0,001 Sv ; 1 micro Sv (μSv) = 0,000001 Sv. Il sert à quantifier le risque lié à une exposition à des rayonnements ionisants, et permet de comparer l'effet d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente à des organismes, des organes ou des tissus qui n'ont pas la même sensibilité aux radiations.

EXPOSITION DE LA POPULATION FRANÇAISE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS ET BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE

La population française dans son ensemble est exposée en permanence à des rayonnements ionisants d'origine naturelle et artificielle. Bien que les rejets radioactifs d'une centrale nucléaire induisent une exposition de la population riveraine, la part de cette exposition à la dose totale est inférieure à 1%. L'IRSN a publié en 2021 une actualisation du bilan de l'exposition de la population en France métropolitaine à l'ensemble des sources d'exposition aux rayonnements ionisants¹⁵ en les mettant en perspective les unes par rapport aux autres [18].

3.1 EXPOSITION DE LA POPULATION

En France métropolitaine, la population est soumise à des sources d'exposition liées à la radioactivité d'origine naturelle (tellurique, cosmique) et d'origine anthropique (médicales, rejets des sites nucléaires...). L'exposition de la population en France résulte principalement de l'activité médicale et de la radioactivité d'origine naturelle. L'exposition moyenne représente une dose efficace de 4,5 millisieverts par an (mSv/an) dont environ 3 mSv d'origine naturelle et 1,5 mSv d'origine artificielle (principalement les examens médicaux) (Figure 5). Chaque source d'exposition présente, à l'échelle du territoire et de la population, une variabilité plus ou moins importante. Ainsi, l'exposition des français peut varier en fonction de leur lieu d'habitation. Les modes de vie peuvent également influencer leur niveau d'exposition (temps passé à l'intérieur des habitations, régime alimentaire, consommation de tabac, nombre de voyages en avion...). L'IRSN a créé un outil qui permet à chacun d'estimer son exposition aux rayonnements ionisants : <https://expop.irsn.fr/>



Figure 5. Modes d'exposition aux sources de rayonnements ionisants de la population française métropolitaine

L'exposition moyenne de la population en France liée aux usages industriels et militaires passés et présents de la radioactivité est de 0,012 mSv/an (12 µSv/an), soit moins de 1 % de l'exposition moyenne annuelle totale aux rayonnements ionisants, toutes sources et origines confondues.

¹⁵ Rayonnement ionisant : rayonnement susceptible de transformer les atomes qu'il traverse en ions (atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons).

Les expositions aux sources naturelles de rayonnements ionisants sont :

- L'exposition externe due aux rayonnements cosmiques, due aux photons et aux particules venant de l'espace ;
- L'exposition externe due aux rayonnements telluriques, due aux éléments radioactifs présents dans la croûte terrestre depuis la formation de la Terre ;
- L'exposition interne suite à l'incorporation d'éléments radioactifs d'origine cosmique ou tellurique, présents dans l'air (notamment l'inhalation de radon), dans les denrées alimentaires et l'eau de boisson.

Les expositions aux sources artificielles de rayonnements ionisants sont :

- L'exposition à la rémanence dans l'environnement, des retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986 et des essais atmosphériques d'armes nucléaires effectués de 1945 à 1980 ;
- L'exposition locale liée aux radionucléides présents dans les rejets de fonctionnement des installations nucléaires civiles ou militaires ;
- L'exposition médicale (radiologie, médecine nucléaire...).

3.2 NOTION DE « BRUIT DE FOND » RADIOLOGIQUE

Le « bruit de fond » radiologique, correspond aux activités des différents radionucléides présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers...). Il résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens de radionucléides artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire (retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées de l'accident de Tchernobyl). Le bruit de fond radiologique est abordé plus en détail dans le rapport de synthèse des études menées dans l'environnement terrestre de la centrale de Saint-Alban [40] et dans le rapport IRSN « Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain » [19]. Ce chapitre est un résumé des principales informations à retenir pour une meilleure compréhension du présent rapport.

LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE NATUREL

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines :

- Le rayonnement cosmique : il engendre la production de radionucléides « cosmogéniques » comme le **tritium (^3H)**, le **carbone 14 (^{14}C)**, le béryllium 7 (^7Be) et le sodium 22 (^{22}Na).
- Les radionucléides telluriques présents sur Terre depuis sa formation : il s'agit principalement du potassium 40 (^{40}K), et des produits des chaînes de désintégration de l'uranium 238 (^{238}U), de l'uranium 235 (^{235}U) et du thorium 232 (^{232}Th). Présents dans l'écorce terrestre, ces quatre radionucléides persistent encore aujourd'hui en raison de leur très longue période radioactive¹⁶. Le radon (Rn), est un gaz radioactif issu de la chaîne de désintégration de l'uranium 238.

LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE RÉMANENT DES RETOMBÉES ANCIENNES

Retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires

Ces essais ont libéré dans l'atmosphère de nombreux radionucléides de 1945 jusqu'au début des années 1980. Ne subsistent aujourd'hui que le **tritium**, le **carbone 14**, le **césium 137 (^{137}Cs)**, le strontium-90 (^{90}Sr), les isotopes 238, 239, 240 et 241 du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu et ^{241}Pu), et l'américium 241 (^{241}Am) provenant de la désintégration du plutonium 241.

¹⁶ Période radioactive (ou demi-vie) : temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Retombées de l'accident de Tchernobyl

Les masses d'air contaminées par l'accident de Tchernobyl ont affecté la France au début de mai 1986. Parmi les trois principaux radionucléides mesurés (iode 131 et les césiums 134 et 137), seul le **césium 137** est encore présent en quantité mesurable dans l'environnement.

Retombées de l'accident de Fukushima

Les retombées atmosphériques en France métropolitaine des radionucléides issus de l'accident de Fukushima (2011, Japon), ont été faibles et fugaces : des traces d'iode 131, césium 134 et césium 137 ont été détectées de fin mars jusqu'en mai 2011. L'influence en France de ces dépôts n'est plus mesurable depuis mi-2011 [20].

Réservoirs des radionucléides rémanents des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl :

Pour le tritium et le carbone 14, le « réservoir » dans l'environnement est l'air, leurs concentrations sont très homogènes sur le territoire. En revanche, pour l'ensemble des autres radionucléides, le sol est le réservoir. Il existe des zones éparées du territoire où la rémanence de ces retombées, notamment de celles de l'accident de Tchernobyl, est plus importante [21].

On appelle « bruit de fond » radiologique de l'environnement, l'activité radiologique liée aux radionucléides d'origine naturelle et d'origine artificielle rémanents des retombées anciennes.

RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE ÉGALEMENT PRÉSENTS DANS L'ENVIRONNEMENT HORS INFLUENCE D'INSTALLATION NUCLÉAIRE

Certains radionucléides qui constituent le bruit de fond radiologique sont également présents dans les rejets autorisés d'un centre nucléaire de production d'électricité (cf. §.2.2), en particulier le tritium, le carbone 14 et le césium 137.

Pour évaluer la contribution de ces rejets aux activités observées dans l'environnement, il est indispensable de connaître le plus précisément possible les activités de ces radionucléides dans les zones géographiques hors influence des rejets : le « bruit de fond ».

Les principales caractéristiques et les comportements dans l'environnement du tritium, du carbone 14 et du césium 137 ont été détaillés dans le rapport de synthèse des études menées dans l'environnement terrestre de la centrale de Saint-Alban [40] et dans le rapport IRSN « Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain » [19] et plusieurs publications. Ce paragraphe rappelle les principales informations pour une meilleure compréhension du contenu de ce rapport.

Rappels sur Le tritium [2] ; [19] ; [22] à [26]

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène (**H**), émetteur de rayonnement bêta, de période radioactive de 12,32 ans. L'hydrogène étant un constituant de l'eau (H_2O) et de la matière organique (**CHONPS**¹⁷), il en est donc de même du tritium. Il est désigné par « HTO ou tritium libre » s'il est sous forme d'eau tritiée et par « TOL » (pour tritium organiquement lié) s'il est intégré à la matière organique.

Le tritium dans l'environnement est d'origines naturelle et artificielle. Le tritium est produit naturellement dans les hautes couches de l'atmosphère où il interagit très rapidement avec l'oxygène de l'air pour former des molécules d'eau (H_2O) tritiées (HTO).

L'eau tritiée (HTO) atmosphérique (vapeur d'eau de l'air et eau de pluie) suit le cycle de l'eau et de ce fait est transférée à toutes les composantes de l'environnement : eaux de surface (cours d'eau, lacs...), eaux souterraines, eaux marines mais également dans l'eau présente dans les tissus biologiques végétaux, animaux et de l'homme. Les échanges sont très rapides et tendent à établir un équilibre d'activité entre ces différentes composantes. **On considère que l'activité volumique d'eau tritiée (HTO) dans un échantillon de plante est égale à l'activité volumique moyenne d'eau tritiée (HTO) dans la vapeur**

¹⁷ CHONPS est un acronyme mnémotechnique désignant les six principaux éléments chimiques qui constituent les êtres vivants : le carbone C, l'hydrogène H, l'oxygène O, l'azote N, le phosphore P et le soufre S.

d'eau de l'air au cours des heures qui ont précédé son prélèvement. Dans les plantes, lors de la photosynthèse¹⁸, le tritium organiquement lié (TOL) est produit à partir du tritium libre (HTO) présent dans l'air. **On considère que l'activité volumique de TOL dans une plante est égale à l'activité volumique moyenne de HTO dans la vapeur d'eau de l'air dans laquelle elle s'est développée.** L'activité volumique de HTO dans une plante peut s'exprimer en Bq/L d'eau de dessiccation (Bq/L_{ed}) celle du TOL en Bq/L d'eau de combustion¹⁹ (Bq/L_{ec}). Elles sont exprimées en Bq/L dans la plupart des publications sans préciser « de dessiccation » ou « de combustion ».

Les animaux terrestres incorporent du tritium principalement par l'ingestion d'aliments solides (HTO et TOL) et d'eau d'abreuvement (HTO). **On considère que l'activité volumique de tritium, HTO ou TOL, dans un échantillon de produit animal est du même ordre de grandeur que celles des denrées qu'il a consommées dans les jours précédents sont prélèvement.**

La teneur en tritium total d'un échantillon est donc égale à la somme de la teneur en tritium libre et de la teneur en tritium organiquement lié. L'activité en tritium des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre peut donc s'exprimer en Bq/L quelle que soit la matrice étudiée (eau libre, vapeur d'eau atmosphérique, séchage ou combustion de la matière organique). Cette activité est plus précise que le « Bq/kg frais » pour caractériser le bruit de fond en tritium et les très faibles influences des rejets des installations nucléaires.

Pour exprimer ces résultats de mesure en Bq/kg de matière fraîche, on utilise les équations suivantes :

- Tritium libre (HTO) : Bq de HTO/kg frais = (Bq/L_{ed}) x (teneur en eau exprimée en L/kg frais²⁰)
- Tritium lié (TOL) : Bq de TOL/kg frais = (Bq/L_{ec}) x (volume d'eau produit lors de la combustion de la matière organique²¹) x (rapport de poids sec sur poids frais obtenu lors du séchage)

Dans le cas d'une denrée alimentaire, la radiotoxicité du tritium incorporé sous forme de TOL étant plus de 2 fois supérieure à celle du tritium incorporé sous forme de HTO, il est nécessaire de considérer séparément ces deux composantes de l'activité massique totale pour estimer les doses liées à l'ingestion de denrées.

Dans le cadre du calcul de l'exposition au tritium libre dû à l'ingestion des denrées, pour calculer l'activité en tritium en Bq/kg de matière fraîche, l'activité en tritium libre en Bq/L_{ed} est remplacée par celle en tritium organiquement lié en Bq/L_{ec}. En effet, l'activité en tritium libre permet de reconstituer l'activité en tritium dans les végétaux au moment du prélèvement, mais elle n'est pas représentative d'une activité moyenne intégrée sur la durée de croissance.

Sur la période de l'étude radiologique menée par l'IRSN dans l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban, entre 2019 et 2021, le bruit de fond radiologique en tritium dans les différentes composantes de l'environnement, hors influence de toute installation autorisée à rejeter ce radionucléide est compris entre 0,37 à 2 Bq/L d'eau.

Rappels sur le carbone 14 [2] ; [19] ; [28] à [31]

Le carbone 14, symbolisé par « ¹⁴C », est un des isotopes radioactifs du carbone (C). Le carbone est naturellement présent sur Terre sous la forme de deux isotopes stables : le carbone 12 (98,9 %) et le carbone 13 (1,1 %) et d'une quantité infime de carbone 14. Le carbone 14 est un émetteur bêta (β), de période radioactive de 5 734 ans. L'activité en carbone 14 peut être exprimée en Becquerel par unité de masse de carbone (Bq/kg de C). Cette unité, beaucoup plus précise que les activités massiques et volumiques habituelles (Bq/kg frais, Bq/L, Bq/m³...), permet de caractériser le bruit de fond dans toutes les composantes de l'environnement et confère une meilleure sensibilité à déceler de très faibles influences des rejets d'une installation nucléaire.

Le carbone 14 d'origine naturelle est produit en permanence dans les hautes couches de l'atmosphère (origine cosmogénique) sous l'action des rayons cosmiques. Le carbone 14 a été également massivement produit et introduit dans l'environnement lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Enfin, le carbone 14 est, avec le tritium, l'un des deux radionucléides les plus rejetés dans les effluents liquides et gazeux des installations nucléaires.

Dans l'environnement, le carbone 14 existe sous deux formes principales, l'une minérale (¹⁴CO₂ gazeux et ¹⁴CH₄ dans l'air, ¹⁴CO₂ dissous et carbonates dans les eaux), l'autre sous forme de matière organique constituée de composés carbonés

¹⁸ La photosynthèse est le processus bioénergétique qui permet à des organismes de synthétiser de la matière organique en utilisant l'énergie lumineuse, l'eau et le dioxyde de carbone.

¹⁹ L'eau de combustion est l'eau récupérée lors de la combustion de la matière organique sèche.

²⁰ La teneur en eau d'un échantillon frais est extrêmement variable : de 0,2 L/kg frais pour des céréales à plus de 0,9 L/kg frais pour certains légumes-feuilles ou champignons.

²¹ La quantité d'eau produite lors de la combustion de la matière organique sèche est assez constante, de l'ordre de 0,6 L/kg de matière sèche.

fabriqués par les organismes vivants. **Comme le carbone stable, le carbone 14 sous forme de dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'air sous forme gazeuse ou dans l'eau sous forme dissoute suit le cycle du carbone.**

Il est incorporé par les végétaux lors de la photosynthèse, devenant ainsi du carbone organique qui se transfère aux animaux et aux hommes par la chaîne alimentaire. Les animaux incorporent du carbone 14 par ingestion de matière organique (végétale ou animale) et excrètent du CO₂ par la respiration lorsqu'ils sont vivants et lorsqu'ils meurent, leur matière organique subit une dégradation (minéralisation) qui réémet du CO₂ directement ou après un certain temps de rétention dans les sols ou dans les sédiments.

On considère que l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone des organismes végétaux et animaux terrestres équivaut à l'activité moyenne de l'air dans lequel ils vivent, si cette activité dans l'air est assez constante, ce qui est le cas à l'échelle d'une année en dehors de toute influence anthropique locale.

Le bruit de fond estimé du carbone 14 dans l'environnement terrestre lors de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale de Saint-Alban entre 2019 et 2021 est compris entre 216 et 232 Bq/kg de C.

A partir de ces activités exprimées par unité de masse de carbone, on peut en déduire les activités massiques exprimées en Bq/kg frais ou en Bq/L en tenant compte de la teneur en carbone stable.

L'exposition au carbone 14 présent dans l'environnement résulte essentiellement de son incorporation par ingestion de denrées. Les doses liées à son inhalation et à l'exposition externe sont négligeables au regard de celle liée à l'ingestion de denrées.

Pour estimer la contribution des rejets de la centrale nucléaire aux activités de tritium et de carbone 14 mesurées dans l'environnement, l'activité moyenne du bruit de fond radiologique de l'année de prélèvement est retranchée ;

Par exemple, en 2019, l'activité volumique correspondant au bruit de fond du tritium en milieu terrestre était de 0,9 Bq/L et l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone correspondant au bruit de fond était de 225 Bq/kg de C.

De ce fait, les activités qui se trouvent dans la gamme du bruit de fond, mais néanmoins supérieures à l'activité moyenne du bruit de fond, présentent une activité ajoutée. On considère par exemple, qu'une activité de tritium de 1,5 Bq/L mesurée en 2019 et se situant donc dans la gamme du bruit de fond comprise entre 0,42 à 2,2 Bq/L, présente une activité ajoutée de 0,6 Bq/L par rapport à la valeur de référence du bruit de fond en tritium en 2019 de 0,9 Bq/L.

Rappels sur le césium 137 [2][19][32][33]

Le césium 137 n'existe pas à l'état naturel. Le césium 137 est un émetteur bêta (β), d'une période radioactive de 30,07 années. En se désintégrant, il donne naissance au baryum 137m (^{137m}Ba), puis au Baryum 137 (¹³⁷Ba) avec une émission gamma de forte énergie (661,7 keV) qui est utilisée pour quantifier le césium 137 par spectrométrie gamma.

C'est un des nombreux isotopes radioactifs du césium, produit lors de la fission de l'uranium. Il figure parmi les radionucléides autorisés à être rejetés par les installations nucléaires. En France métropolitaine, le césium 137 présent dans l'environnement hors influence d'installation nucléaire a pour origines principales les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et les retombées de l'accident de Tchernobyl (1986) [21].

Le bruit de fond en césium 137 n'est pas homogène sur le territoire français contrairement au tritium et au carbone 14.

En tant qu'analogie chimique du potassium, le césium est un élément très mobile dans l'environnement, on le retrouve dans toutes ses composantes. Il est transféré aux végétaux par interception des aérosols atmosphériques et des gouttes d'eau de pluie contaminée, et aux animaux lors de l'ingestion d'aliments et d'eau.

Le césium 137 présent dans l'environnement induit une exposition externe - c'est le cas du césium présent dans les sols ou dans l'air - ainsi qu'une exposition interne liée à son incorporation par ingestion de denrées et, dans une moindre mesure, par inhalation.

ESTIMATION PAR LES MESURES DE RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT DE L'EXPOSITION DES RIVERAINS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN LIÉE AUX REJETS RADIOACTIFS

Un des principaux objectifs de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban est d'estimer l'exposition des populations riveraines aux radionucléides rejetés par la centrale, la plus réaliste possible à partir des résultats des différentes études qui ont été menées. Une personne habitant à proximité de la centrale peut être exposée aux radionucléides rejetés dans l'environnement de plusieurs manières. Si la source de rayonnement est extérieure au corps humain, dans l'air ou le sol par exemple, on parle d'exposition externe. Si le radionucléide pénètre dans l'organisme par inhalation ou ingestion, on parle d'exposition interne. Cette exposition interne va persister jusqu'à ce que le radionucléide disparaisse soit par décroissance radioactive, soit éliminé (excrété) par l'organisme. Cette élimination peut être très rapide ou très longue selon les radionucléides. Aussi, pour estimer de façon la plus réaliste possible l'exposition radiologique aux radionucléides contenus dans les rejets radioactifs du CNPE, il faut connaître les habitudes de vie des populations et déterminer les activités des radionucléides imputables à ces rejets.

Ainsi, pour actualiser les informations relatives aux riverains de la centrale, l'IRSN a entrepris, avec la collaboration et la participation active des acteurs locaux, des enquêtes de proximité afin de recueillir des précisions sur leur emploi du temps et leur régime alimentaire. Par ailleurs, plusieurs études ont été menées dans les différentes composantes de l'environnement pour connaître le plus précisément possible les activités des radionucléides présents dans l'air respiré et dans les denrées consommées.

Le périmètre de la présente étude regroupe 45 communes situées, tout ou partie, dans un rayon de 10 km autour du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice (Figure 6). Le choix de cette distance est basé sur les connaissances concernant l'influence quantifiable des rejets atmosphériques autorisés de la centrale, en fonctionnement normal, sur son environnement, qui, au de-là des 10 km dans la direction des vents dominants, ne sont généralement plus décelables. D'une superficie de 44 660,5 hectares, le territoire étudié se situe sur quatre départements (Ardèche, Isère, Loire et Rhône) et borde le département de la Drôme.

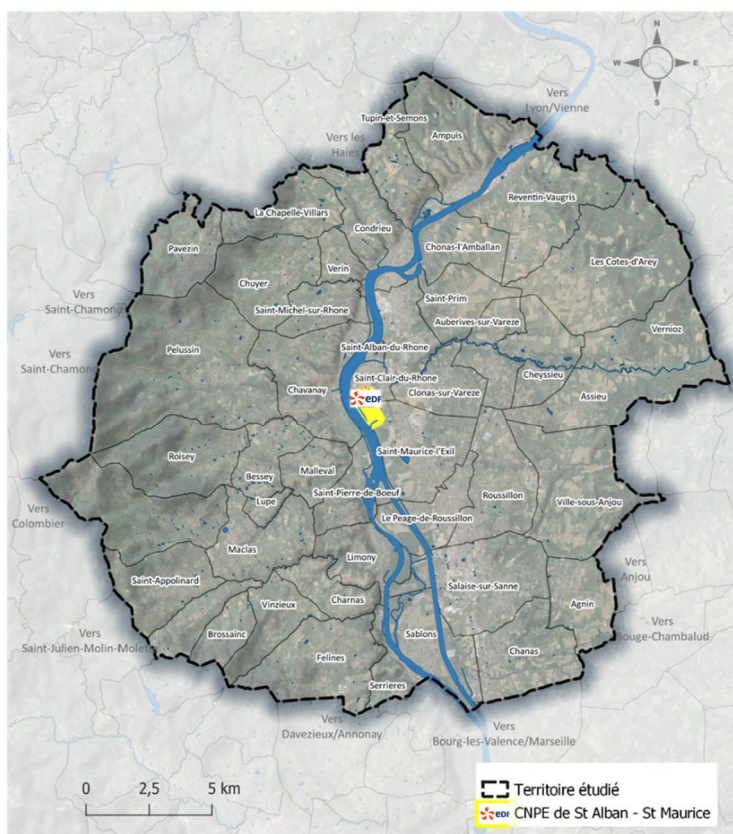


Figure 6. Communes situées dans un rayon de 10 Km autour du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice [34]

4.1 ACTUALISATION DES INFORMATIONS CONCERNANT LES MODES DE VIE DES RIVERAINS

Ces informations sont indispensables pour réaliser une évaluation plus réaliste des expositions potentielles de la population aux rejets de la centrale. En effet, les calculs effectués par l'exploitant dans le cadre des autorisations sont basés sur des informations issues de données nationales datant pour la plupart des années 1990. Pour ce faire, l'IRSN a réalisé des enquêtes de proximité pour recueillir principalement des informations sur les « habitudes alimentaires » et sur la gestion de « l'espace et du temps » [35] ainsi qu'une étude sur les caractéristiques de l'environnement de la centrale (occupation des sols, infrastructures, mouvements de population) [34].

Les deux enquêtes ont été menées conjointement en juillet et août 2020 :

- Une enquête dite « alimentaire » sur les habitudes de consommation, notamment de produits locaux, par l'ensemble du foyer ;
- Une enquête dite « budget-temps » sur les déplacements quotidiens de chaque membre du foyer.

Cette étude se base sur les habitudes alimentaires d'une population qui pratique principalement la consommation de produits locaux. Les foyers recherchés possèdent des jardins potagers, des vergers, sont cueilleurs, chasseurs ou pêcheurs, ou consomment des produits locaux. Il s'agit effectivement de caractériser la consommation des populations vivant à proximité du site nucléaire en termes de denrées alimentaires d'origine locale (productions agricoles ou d'élevages familiaux, achat à des producteurs locaux, produits issus de la chasse et de la cueillette ainsi que les jardins potagers) et d'évaluer le temps passé, durant une année, à l'intérieur des bâtiments ou en extérieur dans le périmètre de la zone étudiée.

Sur les 45 communes situées toute ou partie dans le rayon des 10 km autour de la centrale, 120 foyers volontaires (soit plus de 270 personnes) répartis sur 34 communes ont été interrogés. L'IRSN a ainsi pu exploiter 115 carnets de consommations familiales concernant l'« enquête alimentaire » et 275 questionnaires individuels « budget espace-temps ». Ce sont d'excellent taux de retour (95 et 98%).

PROFIL DE LA POPULATION ENQUETÉE

Sur 275 habitants interrogés, 140 sont des femmes et 135 sont des hommes, soit 51% et 49% respectivement. La tranche d'âge la plus représentée des habitants interrogés concerne les personnes de 60-74 ans (42%). Les personnes de 45-59 ans représentent près d'un quart du panel. On retrouve une proportion similaire entre les 15-29 ans, les 30-44 ans et les 0-14 ans. Les personnes de 75 ans et plus représentent 6 % des personnes interrogées. On retrouve également une majorité de personnes « retraitées » (43%), les personnes « actives » représentent 37 % du panel, les « élèves scolarisés » 17% et les personnes « au foyer » (3%). Parmi les actifs interrogés : 35% sont des « employés, ouvriers », 27% des « professions intermédiaires » (infirmiers, techniciens, professions paramédicales, etc.), 16 % des agriculteurs, 13% des cadres et 9 % des artisans, commerçants et chefs d'entreprise.

HABITUDES ALIMENTAIRES DE LA POPULATION ENQUETÉE

L'objectif de cette enquête réalisée auprès de 120 foyers est de recueillir des informations sur les habitudes alimentaires des foyers. Pour réaliser cette enquête, un questionnaire « alimentaire » composé notamment d'un carnet de relevé des consommations sur une semaine a été remis aux foyers qui se sont portés volontaires pour y répondre. Ce questionnaire permet de recenser les pratiques d'autoconsommation et de consommation locale afin de prendre en compte les spécificités alimentaires locales. Il est entendu ici par autoconsommation, la consommation de denrées alimentaires d'origine locale ou autoproduites, cultivées dans un rayon de 20 km autour de la centrale (jardins potagers, productions agricoles ou d'élevages) ou issues de la chasse, de la pêche et de la cueillette. Les quantités brutes journalières des divers aliments solides et liquides consommées par chaque famille sont notées, en distinguant les produits issus de l'autoconsommation et de l'agriculture locale et ceux issus de la grande distribution. Les produits autoconsommés, ou issus de l'agriculture locale, sont scindés en deux afin de pouvoir distinguer les produits consommés frais et les produits consommés après congélation, après séchage ou après mise en conserve. Sur les 120 foyers interrogés, 115 questionnaires ont pu être exploités.

La consommation totale d'aliments solides et liquides estimée par cette enquête varie selon les foyers, il est néanmoins possible d'établir des rations alimentaires moyennes et de regarder les habitudes alimentaires qui se distinguent et qui peuvent avoir une influence sur le calcul d'exposition.

Pour l'ensemble de l'échantillon interrogé, la ration journalière moyenne d'aliments solides est estimée à environ 1,8 kg par jour et la ration alimentaire liquide moyenne journalière est estimée à environ 2 litres par jour.

Le régime alimentaire moyen issu de cette enquête (quantités consommées et taux de consommation de produits locaux, par catégories d'aliments) est présenté en annexe 1.

La figure 7 montre la composition de ces rations alimentaires moyennes.

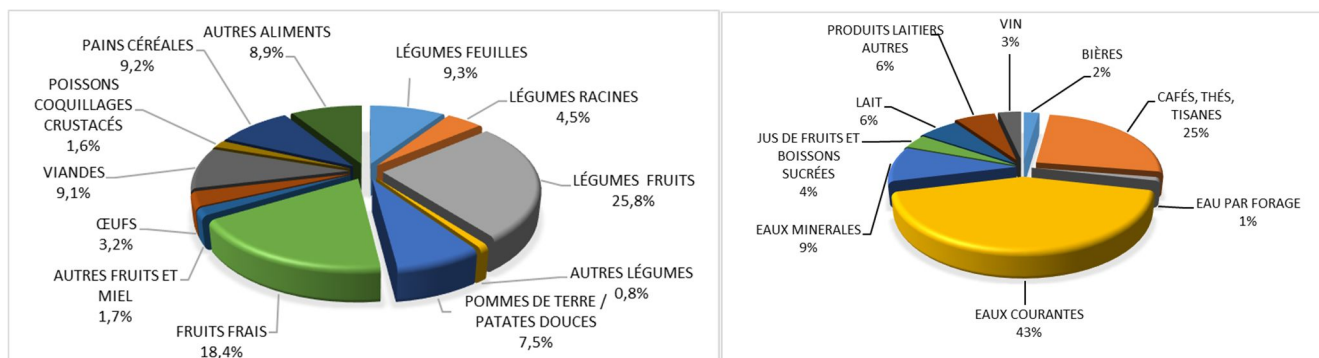


Figure 7. Ration alimentaire moyenne solide et liquide [35]

Il apparaît que les légumes fruits représentent 25,8% de la ration solide (principalement des tomates 43%), viennent ensuite les fruits frais qui représentent 18,4% dont plus d'1/4 de pêches (28%). On retrouve ensuite une proportion similaire autour de 9% de légumes feuilles (majoritairement des salades 44%), de pain, biscottes et autres aliments à base de céréales (pâtes, semoules) et des viandes (tous animaux confondus). Suivent les pommes de terre (7,5%), les légumes racines 4,5% (dont la moitié est la carotte), les œufs (3,2%) et les poissons, coquillages et crustacés (1,6%).

Sur l'ensemble des foyers interrogés, 68% consomment l'eau de la ville, 30% consomment de l'eau en bouteille (plate ou gazeuse) et 2% consomment l'eau d'un forage particulier. La moyenne annuelle de consommation d'eau courante est de 315 litres par an par habitant. Les cafés, thé et tisanes, préparés avec de l'eau de boisson, sont également très consommés : la moyenne annuelle est de 186,3 litres par an par habitant. La ration alimentaire liquide moyenne se compose des eaux

courantes (42,6%), des tisanes, le thé, le café (25,2%), du lait et des produits laitiers liquides (12,1%) des eaux minérales (9,5%) et du vin (3,5%). Les autres boissons alcoolisées (autres que le vin et la bière) ne sont pas comptabilisées dans l'étude.

Les résultats de ces enquêtes permettent de connaître précisément les quantités d'aliments consommés par la population riveraine. Pour évaluer la contribution des radionucléides rejetés par la centrale, il faut prendre en compte parmi tous ces aliments consommés le taux d'autoconsommation. L'autoconsommation, tous aliments solides confondus, représente environ 1,3 kg/j soit 71% de la ration solide journalière moyenne et l'autoconsommation, tous liquides confondus, représente environ 0,225 L/j, soit environ 11 % de la ration liquide journalière moyenne totale.

Sur les 115 foyers interrogés dont les questionnaires ont pu être exploités :

- 100 foyers possèdent un potager et 90 des arbres fruitiers.
- 87 foyers consomment régulièrement des produits (légumes, fruits ou animaux) provenant d'une exploitation locale ou d'un marché paysan.

La figure 8 présente l'estimation du taux d'autoconsommation moyen par catégories d'aliments composant la ration alimentaire solide moyenne.

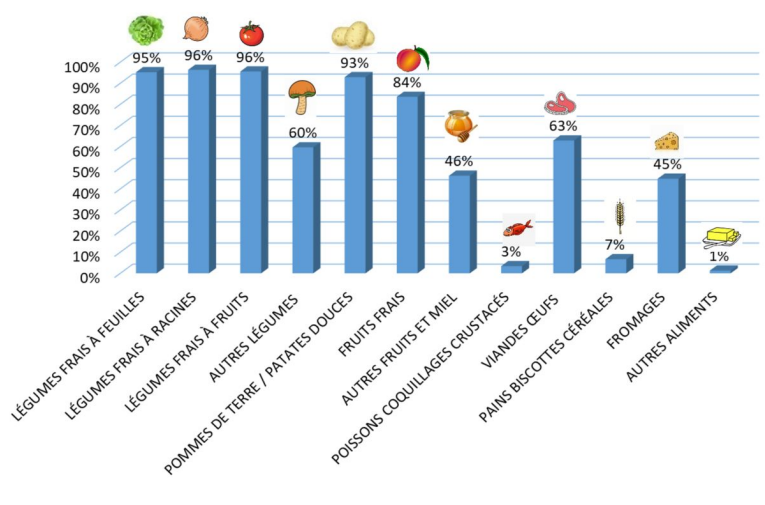


Figure 8. Autoconsommation moyenne des aliments solides d'après l'enquête alimentaire [35]

Les taux d'autoconsommation de certaines catégories d'aliments ainsi estimés apparaissent très élevés, les légumes fruits, les légumes racines et légumes feuilles sont autoconsommés à plus de 95%, les pommes de terre à 93%, les fruits frais à 84%. L'autoconsommation de denrées d'origine animale est également importante, notamment les œufs (79%), suivis de la viande de bœuf et de veau (54%), et des volailles (57%). En effet, plusieurs élevages sont recensés dans la zone d'étude.

Il est intéressant de citer également les fromages de chèvres autoconsommés à 74%. Cette particularité s'explique par la présence d'élevages caprins et la vente de fromages locaux.

Ces taux sont très élevés pour certaines catégories d'aliments (légumes, fruits, pommes de terre) par rapport aux données nationales. Ils sont néanmoins tout à fait cohérents avec ceux observés lors d'enquêtes locales précédentes menées par l'IRSN dans l'environnement de sites nucléaires (Tricastin et Marcoule notamment) Ces écarts s'expliquent en partie par le choix fait de focaliser l'enquête sur les personnes pratiquant l'autoconsommation, ainsi que par un contexte local très spécifique. Le terroir local est très riche, les habitants accordent beaucoup d'importance aux produits locaux. Le contexte sanitaire durant la période de l'étude de l'enquête a probablement joué un rôle très important. L'enquête faisant suite au confinement lié au COVID, de nombreux potagers ont été agrandis, complétés, et les récoltes ont été conséquentes. Le contexte sanitaire a été propice à la culture des jardins et le besoin d'autonomie alimentaire a été très important.

L'enquête alimentaire, qui cible principalement des personnes qui pratiquent la consommation de produits locaux, nous permet de disposer de données actualisées et représentatives des spécificités locales pour chaque catégorie d'aliments consommés : quantité et taux de consommation de produits locaux.

Ces résultats, volontairement maximisant, seront utilisés pour calculer l'exposition par ingestion.

Certains foyers/personnes interrogés présentent des écarts importants par rapport aux valeurs moyennes issues de l'enquête. Ces informations sont importantes à prendre en compte pour les différents scénarios d'exposition.

A titre d'illustration, parmi ces profils spécifiques apparaissent des taux de consommation de productions locales importants comme les légumes feuilles (≈ 220 kg/an pour un profil moyen d'environ 60 kg/an), les légumes racines (≈ 130 kg/an pour

un profil moyen d'environ 29,4 kg/an), de fruits frais (≈ 200 kg/an pour un profil moyen d'environ 104 kg/an). Un chasseur peut consommer/détenir jusqu'à plus de 100 kg/an de gibiers (profil moyen environ 2,3 kg/an) et un pêcheur peut consommer plus de 8 kg/an de poissons du Rhône (profil moyen environ 0,3 kg/an).

Certaines de ces quantités sont très élevées, il est important de noter que certains foyers interrogés (+ de 50%) pratiquent le don ou le partage des récoltes (fruits, tomates, noix...) ou des produits transformés (bocaux, coulis, confitures...).

BUDGET ESPACE TEMPS DE LA POPULATION ENQUÊTÉE

L'objectif de l'enquête « budget espace-temps » est de recueillir des informations sur la répartition des activités de la population, notamment du temps passé dans la zone d'étude (10 km autour de la centrale) et hors de la zone d'étude ainsi qu'à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. L'enquête « budget espace-temps » a concerné chaque individu des foyers interrogés dans le cadre de l'enquête alimentaire, soit 275 personnes.

Il apparaît que les personnes enquêtées restent majoritairement à l'intérieur d'habitation dans la zone d'étude que ce soit en journée normale d'activité ou en journée de congé. Les personnes interrogées passent en moyenne 3,6 heures (de 0,5h à 14,5h) à l'extérieur d'un bâtiment (jardin, promenade, équipements sportifs...) au sein de leur commune de résidence en journée normale d'activité et en moyenne 4,9 heures (de 1 à 17,5h) en journée de congés (Figure 9).

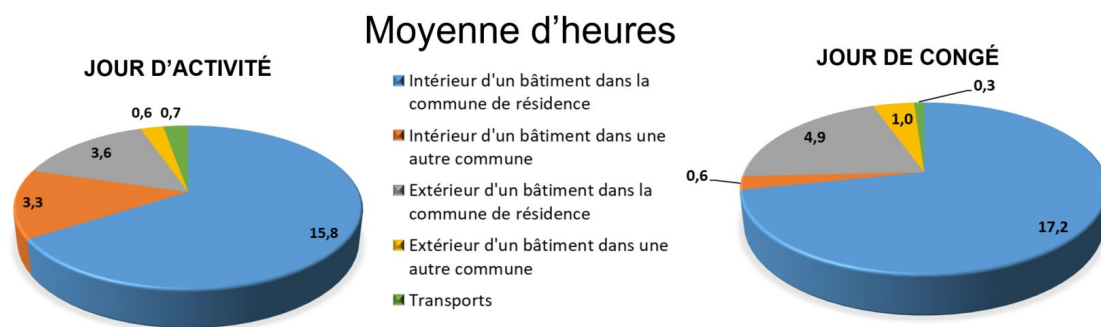


Figure 9. Moyennes d'heures passées sur une journée à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, dans et hors la zone d'étude [35]

En moyenne, les habitants enquêtés quittent la zone d'étude environ 1 mois par an pour leur activité professionnelle (ou scolaire) et 1 mois pour leurs congés : soit deux mois par an. Ces jours hors zones ne sont pas consécutifs, mais étalés sur l'année (week-end et jours de congés) (Figure 10).

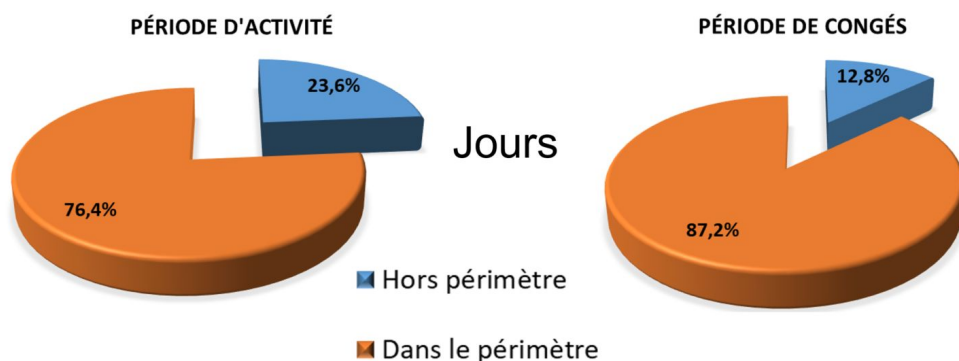


Figure 10. Pourcentage du temps passé dans le périmètre et hors du périmètre d'étude [35]

En moyenne, les personnes interrogées restent 10 mois par an dans la zone d'étude.

Ces résultats seront utilisés pour calculer l'exposition par inhalation et l'exposition externe.

Ces informations moyennes varient en fonction des catégories socioprofessionnelles et de la classe d'âge. Les agriculteurs par exemple passent en moyenne 9,5 h/jour à l'extérieur d'un bâtiment dans la zone d'étude lors d'une journée normale d'activité et 7,6 h/jour lors d'une journée de congés type. Ils ne passent que 8 jours en dehors de la zone d'étude en journées normales d'activité et 14 jours durant les jours de congé, soit une vingtaine de jours par an.

Les modes de vies de certaines personnes interrogées présentent des écarts importants par rapport aux valeurs moyennes issues de cette enquête. Certains habitants restent tout au long de l'année dans la zone d'étude 100% du temps et passent plus de 8h/j en extérieur. Ces informations sont à prendre en compte pour les différents scénarios d'exposition.

4.2 CONNAITRE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'AIR

Pour connaître le plus précisément possible les activités des différents radionucléides issus des rejets de la centrale présents dans l'air dans le périmètre d'étude, l'IRSN a entrepris trois études avec la collaboration des acteurs locaux. La première étude concerne la mesure du tritium dans la vapeur d'eau de l'air à proximité et à distance du site. La deuxième étude a consisté à mesurer les activités dans les aérosols au point d'activité maximale à 1km au sud de la centrale. Enfin, l'IRSN a installé un dispositif de prélèvement d'air au même emplacement en vue de faire des analyses précises des concentrations en carbone 14 dans l'air.

— ACTIVITÉS EN TRITIUM À PROXIMITÉ ET À DISTANCE DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN [36]

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement réalisée par l'exploitant, un dispositif de piégeage du tritium atmosphérique par barbotage [37] est installé à 1 km au sud du site (sous les vents dominants). L'analyse de HTO sur les prélèvements hebdomadaires de ce dispositif, associés à la métrologie mise en œuvre, permettent d'atteindre des seuils de décisions de l'ordre de 0,25 Bq/m³ en HTO dans l'air. Si ces performances métrologiques sont en adéquation avec les objectifs assignés à cette mesure et les exigences réglementaires en termes de performances métrologiques (la limite réglementaire environnementale pour ce radionucléide étant fixée à 50 Bq/m³ d'air), ce seuil de décision ne permet pas de quantifier les activités de tritium dans l'air autour d'un CNPE qui sont très inférieures à cette valeur de 0,25 Bq/m³.

Dans l'objectif de mesurer précisément les activités en tritium dans l'air et de mieux connaître la zone influencée par les rejets atmosphériques tritiés de la centrale, l'IRSN, avec la contribution des acteurs locaux et de l'exploitant EDF, a mené une étude de janvier à octobre 2019. Pour réaliser cette étude, deux types de dispositif de prélèvement ont été mis en œuvre : des piègeurs passifs de la vapeur d'eau de l'air autonome [38] qui ont été répartis en 15 points entre 1 et 8 km du site et un dispositif de prélèvement par barbotage permettant de différencier les formes chimiques du tritium au point d'influence théorique maximal situé à 1 km au sud de la centrale. L'IRSN a associé à ces dispositifs de prélèvement la mise en œuvre de techniques de mesure performantes permettant d'atteindre des seuils de décision de l'ordre de 0,7 Bq/L de vapeur d'eau de l'air ($\approx 0,07$ Bq/m³ d'air) pour les piègeurs passifs et 0,1 Bq/L pour le barboteur. Les emplacements pour installer les premiers dispositifs de prélèvement ont été choisis d'après les résultats d'une simulation de la zone influencée par les rejets atmosphériques de la centrale à l'aide des codes de calculs de l'IRSN. Au regard des premiers résultats obtenus, d'autres dispositifs ont été répartis pour évaluer cette zone d'influence. Deux dispositifs ont été placés à plus de 8 km de la centrale, hors vents dominants, donc hors influence, pour caractériser le bruit de fond local. Chaque piègeur passif tritium implanté est systématiquement associé à un hygromètre numérique afin de mesurer les données de température et d'humidité. Ces informations permettent de convertir les activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique, exprimées en Bq/L, en activités volumiques exprimées en Bq/m³ d'air.

Résultats

Sur l'ensemble de l'étude, 195 résultats de mesure de tritium contenu dans la vapeur d'eau de l'air ont été exploités. Les activités volumiques les plus élevées ont été mesurées à 1 km au nord et au sud du site, avec des moyennes similaires d'environ 4 Bq/L de vapeur d'eau de l'air sur l'ensemble de la période d'étude. Les prélèvements de vapeur d'eau réalisés au niveau des dispositifs les plus éloignés présentent des activités moyennes de l'ordre de 1 à 1,4 Bq/L de vapeur d'eau de l'air, ce qui relève du bruit de fond en tritium en 2019 (0,4-1,9 Bq/L). Il apparaît également qu'au-delà de 1 kilomètre à l'est et à l'ouest du site, et au-delà de 3 kilomètres au nord et 4 à 5 kilomètres au sud, les activités volumiques en tritium sont aussi dans la gamme d'activités du bruit de fond.

Sur la base de l'ensemble des résultats acquis, tous points de prélèvement confondus, les activités de tritium dans la vapeur d'eau de l'air fluctuent entre les seuils de décision métrologique ($\approx 0,7$ Bq/L de vapeur d'eau) et l'activité maximale de 9,7 Bq/L de vapeur d'eau mesurée au point situé à un kilomètre au sud du site. Les activités volumiques de tritium dans l'air

mesurées dans le cadre des surveillances de routine effectuées par EDF et l'IRSN (SD surveillance régulière de l'IRSN de l'ordre de 4-5 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Dans le cadre de l'ERS Saint-Alban, l'IRSN a mené entre juin et décembre 2019, avec la collaboration logistique d'EDF, une campagne de mesure des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité du site. Pour ce faire, l'IRSN a installé une station de collecte d'aérosols à grand débit ($\approx 330 \text{ m}^3/\text{h}$) au point AS1 du CNPE de Saint-Alban de fin juin 2019 à fin décembre 2019 (Figure 12). Une mesure par spectrométrie gamma a été réalisée sur chaque filtre collecté au bout d'une semaine de prélèvement. Ce dispositif a déjà été utilisé lors de campagnes d'expertise précédentes aux points AS1 de plusieurs CNPE [17]. Les performances de ce dispositif de prélèvement associées à la métrologie « bas niveau » de l'IRSN permettent de mesurer de très faibles niveaux de radioactivité : de l'ordre de 0,02 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour le césium 137.



Figure 12. Localisation de la station de collecte d'aérosols à grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Résultats

L'analyse des résultats par spectrométrie gamma des 27 filtres prélevés hebdomadairement révèle que, outre les radionucléides d'origine naturelle et le césium 137 rémanent des retombées anciennes (accident de Tchernobyl et essais nucléaires atmosphériques), des activités volumiques de radionucléides d'origine artificielle résultant du fonctionnement normal de la centrale électronucléaire d'EDF ont été quantifiées.

Radionucléides d'origine naturelle

Les gammes de concentrations de ces radionucléides sont, comme attendu, équivalentes à celles enregistrées par les stations de l'IRSN situées en dehors de l'influence d'installations nucléaires. Les principaux radionucléides mesurés sont le béryllium 7 (1680 à 8200 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$), le plomb 210 (208 à 1510 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$), le potassium 40 (4,4 à 21 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) et le sodium 22 (0,12 à 1,14 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Radionucléides d'origine artificielle

Le césium 137

Le césium 137 est le radionucléide d'origine artificielle le plus fréquemment mesuré lors de cette étude (100% des filtres). Les niveaux d'activité mesurés varient entre 0,06 et 1,11 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Les niveaux d'activité en césium 137 sont fortement corrélés avec les niveaux d'empoussièrement et avec les niveaux en potassium 40 dont l'essentiel provient de la remise en suspension traduisant, par conséquent, une origine majoritairement en rapport avec les retombées des essais nucléaires et celles de l'accident de Tchernobyl. Une approche basée sur l'analyse des données météorologiques a permis d'estimer le bruit de fond local en césium 137 et la contribution du CNPE. Il ressort de cette approche, détaillée dans le rapport de

synthèse des études atmosphériques [36], que le bruit de fond local est d'environ $0,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ et la contribution du CNPE est d'environ $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

L'activité moyenne en césium 137 ajoutée à ce bruit de fond par les rejets au point d'activité maximale est estimée à environ $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.

Autres radionucléides

Les autres radionucléides, caractéristiques des rejets atmosphériques des CNPE, quantifiés lors de cette étude sont : le cobalt 60, le cobalt 58 et l'antimoine 124. Les activités mesurées pour ces trois radionucléides varient entre $0,04$ et $5,3 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour 4 des 27 filtres analysés (pour les 23 autres filtres, les activités étaient trop faibles pour être quantifiées malgré les moyens mis en œuvre). Ces radionucléides n'ont jamais été mesurés par l'IRSN sur les stations de référence hors influence d'une installation nucléaire au cours des 10 dernières années.

Le cobalt 60, le cobalt 58 et l'antimoine 124, mesurés à l'état de trace à 1 km au sud de la centrale, ne sont pas présents dans l'environnement hors influence d'installations nucléaires, ils témoignent de l'influence des rejets gazeux radioactifs de la centrale de Saint-Alban.

Pour évaluer l'exposition liée à leur inhalation, compte tenu de leur faible fréquence de détection (seulement 4 filtres sur 27), les activités retenues, pour chacun d'entre eux, correspondent à la moyenne des activités mesurées significativement et des seuils de décision. Ce mode de calcul volontairement maximisant donne les activités moyennes ajoutées de : $0,25 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour le cobalt 58 et $0,07 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour le cobalt 60 et l'antimoine 124.

ACTIVITÉS EN CARBONE 14 À PROXIMITÉ DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN

La mesure du carbone 14 atmosphérique est requise dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'environnement réalisée par l'exploitant mais, la réglementation propose une alternative qui est de réaliser une surveillance au travers de mesures de carbone 14 dans des matrices biologiques terrestres avec une méthode de mesure ayant une incertitude inférieure à 15%. Contrairement au tritium de la vapeur d'eau de l'air, il n'existe pas, pour le moment, de dispositif de piégeage passif permettant de réaliser un prélèvement destiné à la mesure du carbone 14. En revanche, comme pour le tritium, il existe un dispositif de prélèvement par barbotage permettant de mesurer les activités en carbone 14 dans l'air en différenciant les différentes formes chimiques de ce dernier. Dans le cadre de l'ERS Saint-Alban, l'IRSN a installé, avec la collaboration logistique d'EDF, de février et octobre 2019, au point de surveillance réglementaire « AS1 » situé à 1 km au sud du site sous les vents dominants, un barboteur destiné à la mesure du carbone 14 (Figure 13). Ce dispositif a déjà été installé au point réglementaire AS 1 du CNPE de Cruas-Meysses, lors d'une étude d'expertise entre mai 2015 et mai 2016 [36] et a permis de quantifier les activités des différentes formes chimiques du carbone 14 présentes dans l'air et d'évaluer la contribution des rejets du CNPE et ainsi confirmer la relation qui existe entre les concentrations en carbone 14 dans l'air et celle dans les végétaux prélevés à proximité de cette centrale.



Figure 13. Localisation du dispositif de prélèvement d'air en vue d'une analyse de carbone 14

En raison d'un problème technique non identifié à ce jour, les résultats de mesure du carbone 14 dans l'air n'ont pas pu être exploités.

Pour estimer l'exposition due à l'inhalation du carbone 14 dans l'air rejeté par la centrale, l'Institut s'est basé sur les activités par unité de masse de carbone (Bq/kg de C), mesurées dans les végétaux terrestres, ainsi que sur des connaissances scientifiques relatives au transfert du carbone 14 de l'air aux végétaux (§ 3.2).

4.3 CONNAITRE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES DENRÉES CONSOMMÉES

Pour connaître le plus précisément possible les activités des différents radionucléides issus des rejets de la centrale présents dans les denrées produites et consommées localement, l'IRSN a entrepris quatre études, avec la collaboration des acteurs locaux (plus de 40 exploitations agricoles, 4 fédérations de chasse, 1 fédération de pêche, riverains, gestionnaires de réseau d'eau potable...). La première étude concerne la mesure des niveaux de radioactivité dans les végétaux et les denrées terrestres à proximité et à distance du site. La deuxième étude a consisté à mesurer les niveaux de radioactivité dans les poissons pêchés dans le Rhône en amont et en aval du point de rejet d'effluents radioactifs liquides de la centrale. La troisième étude concerne l'analyse précise des niveaux de tritium dans les eaux de nappes phréatiques qui servent à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation des cultures dans le périmètre d'étude à proximité et à distance de la centrale. Enfin, la quatrième étude a consisté à mesurer la radioactivité des aliments constituant des plateaux repas de cantines scolaires de 3 communes du périmètre d'étude privilégiant les produits locaux et de saison.

— ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES VÉGÉTAUX ET LES DENRÉES TERRESTRES

L'influence des rejets atmosphériques de la centrale de Saint-Alban sur les végétaux et denrées terrestres est surveillée au travers de prélèvements de divers échantillons prélevés annuellement par l'exploitant dans le cadre de la surveillance réglementaire et par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance (§ 2.4). Ce dispositif de surveillance qui permet de vérifier le bon respect des prescriptions réglementaires, a été complété ponctuellement dans le cadre de l'ERS, par la multiplication et la diversité des échantillons prélevés ainsi que l'utilisation de techniques métrologiques des plus performantes. En complément des informations recueillies lors des enquêtes de proximité, ces résultats sont destinés à affiner le calcul de l'exposition des riverains de la centrale. Ce sont donc plus de 100 prélèvements de végétaux et denrées terrestres qui ont été réalisés entre 1 et 20 km de la centrale (feuilles d'arbres, fruits, légumes, céréales, viandes d'élevage, œufs, lait, fromages, gibiers, miel). Les résultats des niveaux de radioactivité dans les végétaux et denrées terrestre sont présentés en détail dans un rapport dédié aux études menées dans l'environnement terrestres de la centrale de Saint-Alban [40]. Les activités ajoutées dans les denrées terrestres par catégories d'aliments sont présentées en annexe 1.

Végétaux terrestres entre 1 et 10 km du CNPE

76 prélèvements de végétaux et denrées végétales terrestres ont été effectués (Figure 14). Pour chacun de ces prélèvements des mesures du tritium (libre et tritium organiquement lié) et du carbone 14 ont été réalisées. Compte tenu des résultats mesurés sur les aérosols pour les autres radionucléides, leur détection, hors césium 137, dans les végétaux terrestres est peu probable, néanmoins pour le confirmer certains prélèvements présentant les activités les plus élevées en tritium et/ou carbone 14, témoignant de l'influence des rejets de la centrale, ont été mesurés par spectrométrie gamma.

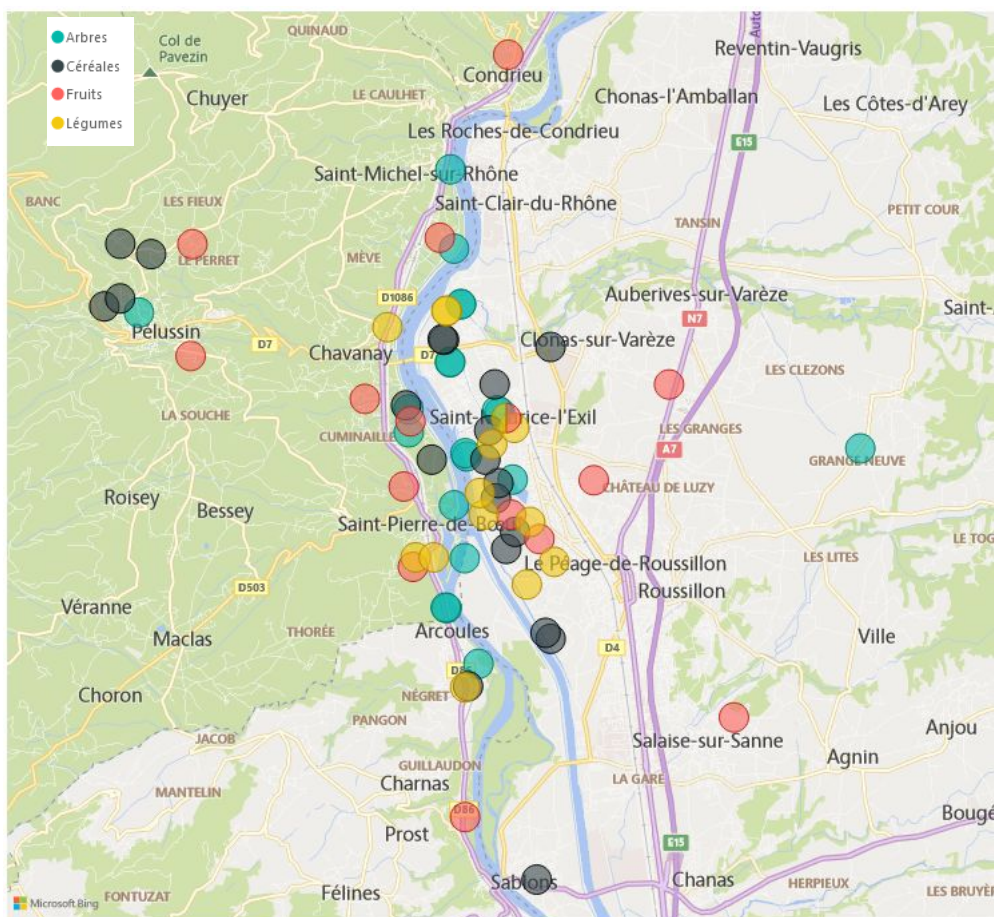


Figure 14. Localisation des lieux de prélèvement des végétaux terrestres

Carbone 14

Dans les denrées végétales terrestres, les activités de **carbone 14** sont très majoritairement (91%) dans la gamme des activités mesurées hors influence d'une installation nucléaire (bruit de fond). Elles sont comprises entre **221,2 et 239,6 Bq/kg de carbone**.

A partir des activités exprimées par unité de masse de carbone, on peut en déduire les activités massiques exprimées en Bq/kg frais en tenant compte de la teneur en carbone stable (§ 3.2). L'activité massique ajoutée maximale par catégorie de denrées est de 2,55 Bq/kg frais dans les céréales, 0,37 Bq/kg frais dans les fruits et 0,52 Bq/kg frais dans les légumes (légumes racines).

L'activité maximale ajoutée en carbone 14 dans les denrées végétales terrestres est estimée à 2,55 Bq/kg frais dans les céréales.

Dans les 6 prélèvements de feuilles d'arbres prélevées à proximité du site (0,8 à 4 km) en début de croissance (mai-juin 2019), les activités de carbone 14 sont comprises entre 224 et 241 Bq/kg de carbone ; dans les 14 prélèvements de feuilles d'arbres prélevées en fin de croissance (octobre 2019) entre 0,8 et 8 km de la centrale, elles sont comprises entre 222 et 241 Bq/kg de carbone.

Dans les 2 premiers kilomètres, les activités de carbone 14 sont supérieures au bruit de fond, témoignant de l'influence des rejets de la centrale. Les activités les plus élevées sont mesurées dans l'axe Nord-Sud (vents dominants) entre 1 et 2 km de la centrale. Hors vents dominants (axe Est-Ouest), les activités sont toutes dans la gamme du bruit de fond (Figure 15). Les activités en Bq/kg frais varient d'une nature de prélèvement à l'autre en fonction du taux de carbone et de la quantité d'eau contenue dans l'échantillon.

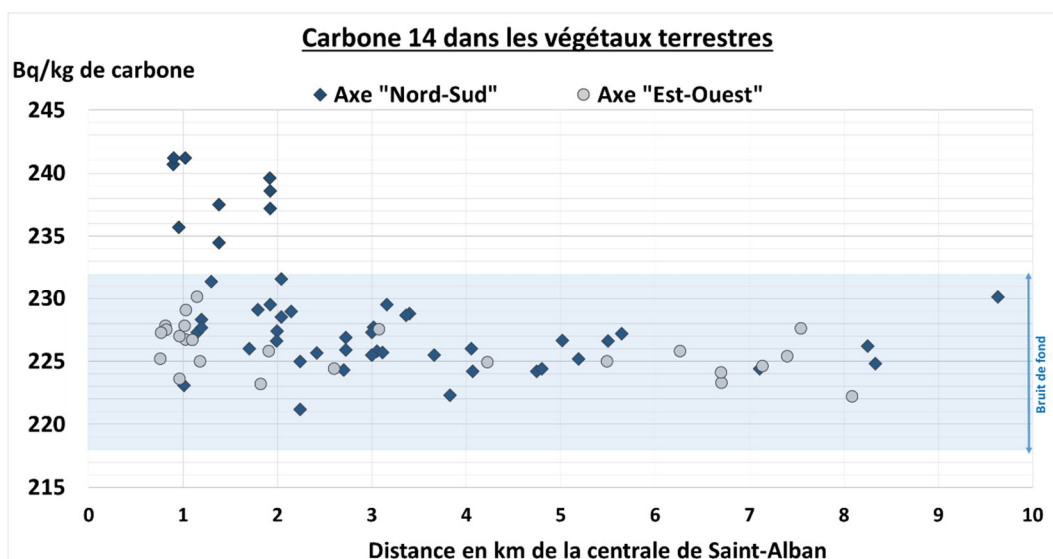


Figure 15. Évolution en fonction de la distance au site de l'activité en carbone 14 en Bq/kg de carbone dans les végétaux terrestres prélevés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban

Tritium organiquement lié

Les activités de **tritium organiquement lié** dans les denrées végétales terrestres sont majoritairement (70%) dans la gamme des activités mesurées hors influence d'une installation nucléaire. Elles sont comprises entre **0,8 et 3 Bq/L d'eau de combustion**.

L'activité massique ajoutée maximale par catégorie de denrées est de 1,24 Bq/kg frais dans les céréales, 0,10 Bq/kg frais dans les fruits et 0,13 Bq/kg frais dans les légumes (pommes de terre).

L'activité maximale ajoutée en tritium organiquement lié dans les denrées végétales terrestres est estimée à 1,24 Bq/kg frais dans les céréales.

Dans les 6 prélèvements de feuilles d'arbres à proximité du site (0,8 à 4 km) en début de croissance (mai-juin 2019), les activités de carbone 14 sont comprises entre 1,5 à 4 Bq/L d'eau de combustion ; dans les 14 prélèvements de feuilles d'arbres prélevées en fin de croissance (octobre 2019) entre 0,8 et 8 km de la centrale, elles sont comprises entre 1 et 3,3 Bq/L d'eau de combustion.

Les activités de tritium organiquement lié les plus élevées sont mesurées dans l'axe des vents dominants à proximité du site, elles diminuent progressivement sur une distance un peu plus importante que pour le carbone 14 (≈ 5 km). Hors vents dominants, les activités sont très majoritairement dans la gamme du bruit de fond. A proximité du site (1km), quelques activités témoignent de l'influence des rejets atmosphériques (Figure 16).

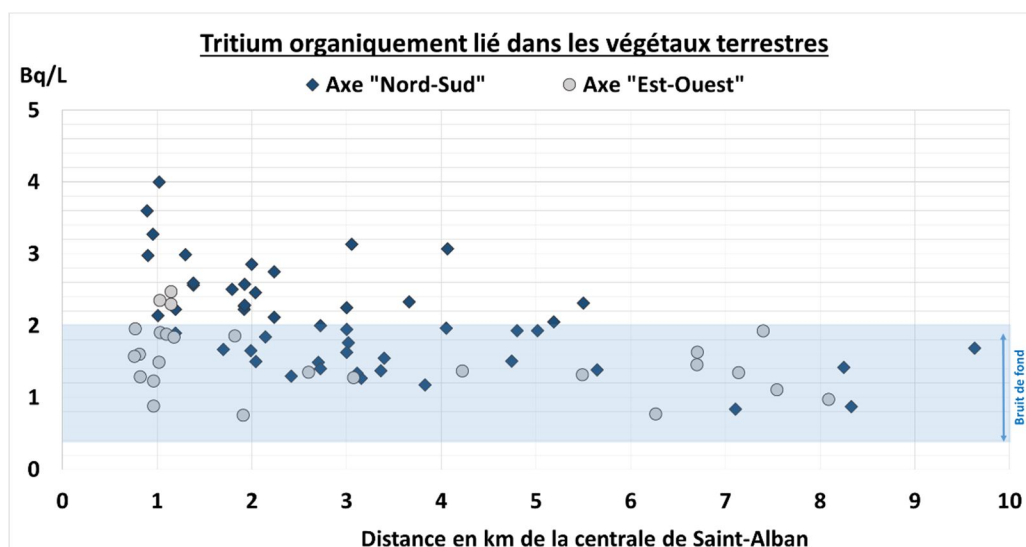


Figure 16. Évolution en fonction de la distance au site de l'activité en tritium organiquement lié en Bq/L d'eau de combustion dans les végétaux terrestres prélevés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban

Tritium libre

Les activités de **tritium libre (HTO)**, sont majoritairement (84%) dans la gamme du bruit de fond. Elles sont comprises entre le seuil métrologique d'environ **0,7 Bq/L et 2,5 Bq/L d'eau de dessiccation**.

L'activité massique ajoutée maximale par catégorie de denrées est de 1,13 Bq/kg frais dans les céréales, 0,79 Bq/kg frais dans les fruits et 1,09 Bq/kg frais dans les légumes feuilles.

L'activité maximale ajoutée en tritium libre dans les denrées végétales terrestres est de 1,1 Bq/kg frais dans les céréales et les légumes feuilles.

Dans le cadre du calcul de l'exposition au tritium libre due à l'ingestion des denrées, pour calculer l'activité de tritium en Bq/kg de matière fraîche, l'activité de tritium libre (en Bq/L d'eau de dessiccation) est remplacée par celle du tritium organiquement lié en (Bq/L d'eau de combustion), cette dernière étant représentative de l'activité moyenne intégrée sur la durée de croissance contrairement à celle du tritium libre.

L'activité massique ajoutée maximale par catégorie de denrées utilisée dans le calcul de l'exposition par ingestion est de 0,87 Bq/kg frais dans les céréales, 0,85 Bq/kg frais dans les fruits et 1,71 Bq/kg frais dans les légumes feuilles.

Autres radionucléides

En complément des analyses de tritium et de carbone 14, 8 prélèvements de végétaux ont été analysés par **spectrométrie gamma**. Le choix des végétaux a été orienté en fonction des activités en tritium et carbone 14 précédemment mesurées. Les prélèvements présentant les activités en tritium et carbone 14 les plus élevées ont été privilégiés (si le reste de matière après traitement était suffisant). Des prélèvements situés hors influence (Pélussin) ont également été sélectionnés. Le **césium 137** est le seul radionucléide d'origine artificielle mesuré au-dessus des seuils de décision par spectrométrie gamma (**entre <0,03 et 0,08 Bq/kg frais**). Ces activités massiques sont dans la gamme des activités mesurées en France hors influence d'installation nucléaire liées aux retombées anciennes.

Le césium 137 est le seul radionucléide d'origine artificielle, autre que le tritium et le carbone 14, mesuré dans les denrées végétales terrestres. Les activités étant dans la gamme du bruit de fond radiologique de l'environnement, l'activité potentiellement ajoutée par les rejets de la centrale n'est pas quantifiable.

Denrées terrestres d'origine animale

27 prélèvements de denrées terrestres d'origine animale (viandes d'élevage ou de gibier, œufs, produits laitiers, miel) ont été réalisés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban (Figure 17) :

- **17 productions locales** prélevées entre 2 et 20 km de la centrale, de septembre 2020 et mars 2021 (viande de bœuf, de veau, de porc et de volaille ; œufs de poules; fromage de chèvre ; miel ; lait de vache et de chèvre).
- **10 prélèvements de sangliers**, en collaboration avec 4 fédérations de chasse, réalisés entre 1,6 et 70 km de la centrale. Les objectifs de cette étude « gibiers » sont un peu plus larges que seulement l'étude de l'influence des rejets de la centrale sur son environnement. Il s'agit également d'étudier la variabilité des activités en césium 137 héritées des retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. En ce qui concerne le calcul de l'exposition liée aux rejets de la centrale de Saint-Alban, seuls les 8 prélèvements les plus proches (1,6 à 20 km) sont utilisés.

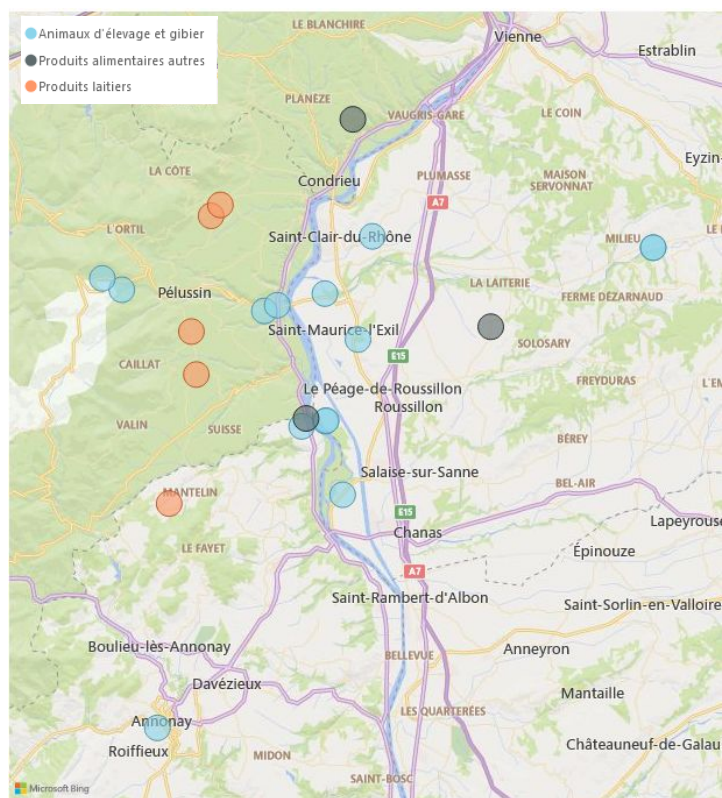


Figure 17. Localisation des lieux de prélèvement de denrées terrestres d'origine animale

Carbone 14

Les activités de carbone 14, dans les denrées terrestres produites localement autres que végétales, sont comprises entre **219,5 à 230,1 Bq/kg de carbone**. L'activité maximale ajoutée est de de 1,94 Bq/kg frais dans le fromage de chèvre.

Dans la viande de sanglier, les activités de carbone 14 sont comprises entre **229,2 à 231,1 Bq/kg de carbone**. L'activité maximale ajoutée est de 0,97 Bq/kg frais.

Les activités de carbone 14 sont très majoritairement (96%) comprises dans la gamme du bruit de fond attendu hors influence d'installation. Elles sont néanmoins majoritairement au-dessus de la moyenne de ce bruit de fond, principalement pour les gibiers. Contrairement aux végétaux terrestres, il n'y a pas de différenciation liée à l'axe de vents dominants ni de distance au site. Ceci est cohérent avec le mode de vie et d'affouragement : les sangliers couvrent un large territoire et se nourrissent dans les milieux qui contiennent de la matière organique ancienne. Certains bétails élevés à distance du site hors influence des rejets se nourrissent de fourrage cultivé en plaine à proximité de la centrale.

L'activité maximale ajoutée en carbone 14 dans les denrées terrestres autres que végétales est de 0,97 Bq/kg frais.

Tritium organiquement lié

Les activités de **tritium organiquement lié**, dans les denrées terrestres produites localement autres que végétales, sont comprises entre **0,8 et 2,2 Bq/L d'eau de combustion**. L'activité maximale ajoutée est de 0,25 Bq/kg frais dans le fromage de chèvre.

Dans la viande de sangliers elles sont comprises entre **<0,7 et 1,95 Bq/L d'eau de combustion**. L'activité maximale ajoutée est de 0,18 Bq/kg frais.

Les activités de tritium organiquement lié sont très majoritairement (87%) comprises dans la gamme du bruit de fond attendu hors influence d'installation.

L'activité maximale ajoutée en tritium organiquement lié dans les denrées terrestres autres que végétales est de 0,3 Bq/kg frais.

Tritium libre

Les activités de **tritium libre**, dans les denrées terrestres produites localement autres que végétales, qui témoignent de l'activité en tritium dans les aliments ingérés par les animaux avant les prélèvements, sont comprises entre moins de **0,8 Bq/L et 2,35 Bq/L d'eau de dessiccation**. L'activité maximale ajoutée est de 1,13 Bq/kg frais dans les œufs.

Dans la viande de sanglier, elles sont comprises entre moins de **0,7 et 2,17 Bq/L d'eau de dessiccation**. L'activité maximale ajoutée est de 0,92 Bq/kg frais.

Les activités de tritium libre sont très majoritairement (88%) comprises dans la gamme du bruit de fond attendu hors influence d'installation.

Dans le cadre du calcul de l'exposition au tritium libre due à l'ingestion des denrées, pour calculer l'activité de tritium en Bq/kg de matière fraîche, l'activité de tritium libre (en Bq/L **d'eau de dessiccation**) est remplacée par celle du tritium organiquement lié (en Bq/L **d'eau de dessiccation**), cette dernière étant représentative de l'activité moyenne intégrée sur la durée de croissance contrairement à celle du tritium libre. Les activités maximales ajoutées utilisées dans le calcul de l'exposition par ingestion sont donc de 0,98 Bq/kg frais dans la viande de bœuf, 1 Bq/L dans le lait de chèvre et 0,76 Bq/kg frais dans la viande de sanglier.

Autres radionucléides

Parmi les 27 prélèvements de denrées terrestres d'origine animale réalisés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban, 14 ont été mesurés par spectrométrie gamma : 7 de sangliers, 4 de bœufs, 1 de volailles, 1 de porc, 1 de fromage de chèvre. Le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le césium 137, les activités (de 0,02 à 0,06 Bq/kg frais dans les animaux d'élevages et le fromage, et de 0,04 à 1,2 Bq/kg frais dans les gibiers) sont, comme attendues étant donné les activités mesurées dans les végétaux, de l'ordre du bruit de fond. Les activités en césium 137 dans les sangliers sont de l'ordre du bruit de fond métropolitain hors zone de rémanence élevée des retombées anciennes (accident de Tchernobyl et essais nucléaires) [21].

Le césium 137 est le seul autre radionucléide d'origine artificielle mesuré dans les denrées terrestres d'origine animale. Les activités mesurées étant dans la gamme du bruit de fond radiologique de l'environnement, l'activité potentiellement ajoutée par les rejets de la centrale n'est pas quantifiable.

ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES POISSONS

Pour affiner l'estimation dosimétrique liée à la consommation de poissons pêchés dans le Rhône, en complément des informations issues de l'enquête alimentaire, l'IRSN a réalisé une étude des niveaux de radioactivité dans les poissons pêchés en amont et en aval de l'émissaire des rejets liquide de la centrale de Saint-Alban. Ces poissons ont été récupérés lors de campagnes de pêches scientifiques réalisées dans le cadre de la surveillance de l'environnement de la centrale ainsi que par l'intermédiaire de pêcheurs locaux. Au total, ce sont une vingtaine d'individus (sandre, perche, barbeau, carpe, brème, silure, friture) sur lesquels ont été réalisées des analyses de carbone 14, de tritium libre et de tritium organiquement lié sur les parties consommées (filets).

Les poissons considérés comme étant hors influence des rejets de la centrale de Saint-Alban ont été pêchés au niveau de Condrieu, ceux provenant de l'aval proche ont été prélevés entre l'émissaire de rejets et le barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf, et enfin, ceux provenant de l'aval lointain ont été prélevés au niveau de Saint-Rambert-d'Albon (Figure 18)

Les résultats des niveaux de radioactivité dans les poissons sont présentés en détail dans un rapport dédié aux études menées dans l'environnement aquatique de la centrale de Saint-Alban [41]. Les activités ajoutées dans les poissons sont présentées en annexe 1.

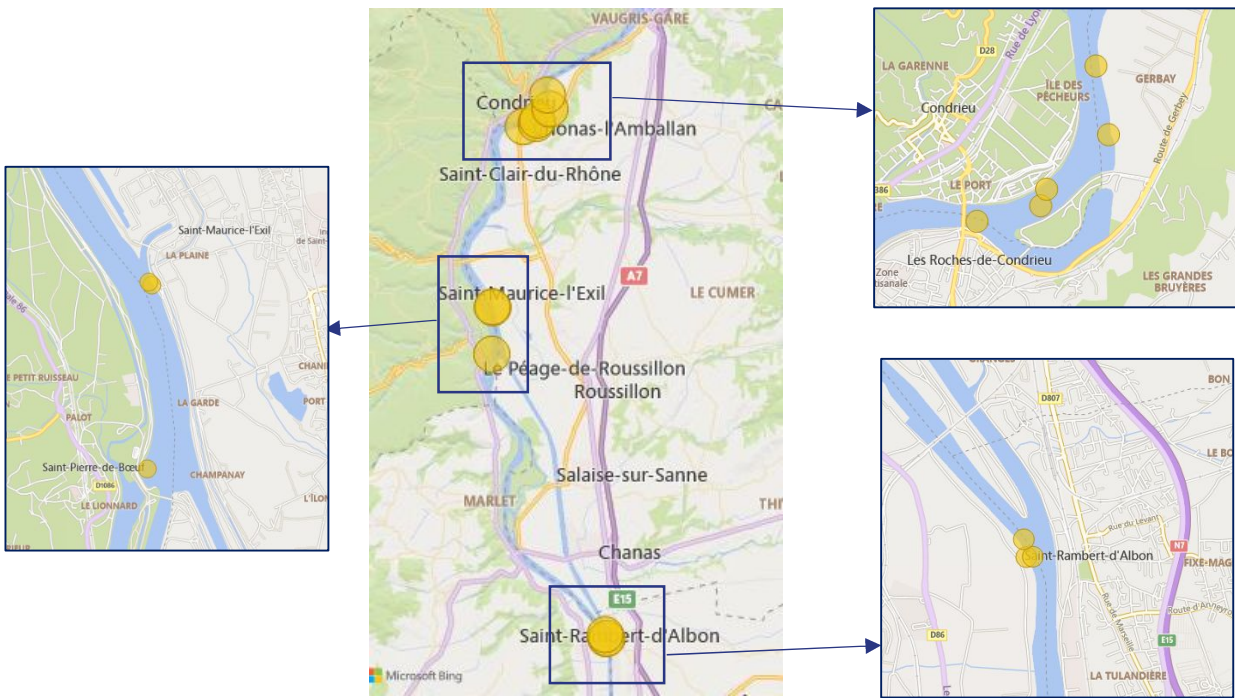


Figure 18. Localisation des lieux de prélèvement de poissons

Les activités en tritium organiquement lié (de 2,3 à 6,1 Bq/L d'eau de combustion) et en carbone 14 (de 221,2 à 315,1 Bq/kg de carbone) dans les poissons pêchés à l'amont du point de rejets liquides sont supérieures aux bruits de fond de ces radionucléides hors influence de rejets liquides d'installation nucléaire. Elles témoignent de l'influence des rejets liquides de la centrale du Bugey située en amont de Lyon (Figure 19).

Les activités en tritium organiquement lié et en carbone 14 dans les poissons pêchés à l'aval de la centrale témoignent de l'influence des rejets liquides de la centrale de Saint-Alban qui s'ajoutent à ceux de la centrale de Bugey (Figure 19). Les activités en tritium organiquement lié sont comprises entre 3,2 et 8 Bq/L d'eau de combustion, celles du carbone 14 entre 241,5 et 467,2 Bq/kg de carbone. Les activités maximales ajoutées dans les poissons pêchés à l'aval du point de rejets de la centrale sont de 0,62 Bq/kg frais pour le tritium organiquement lié et 21 Bq/kg frais pour le carbone 14.

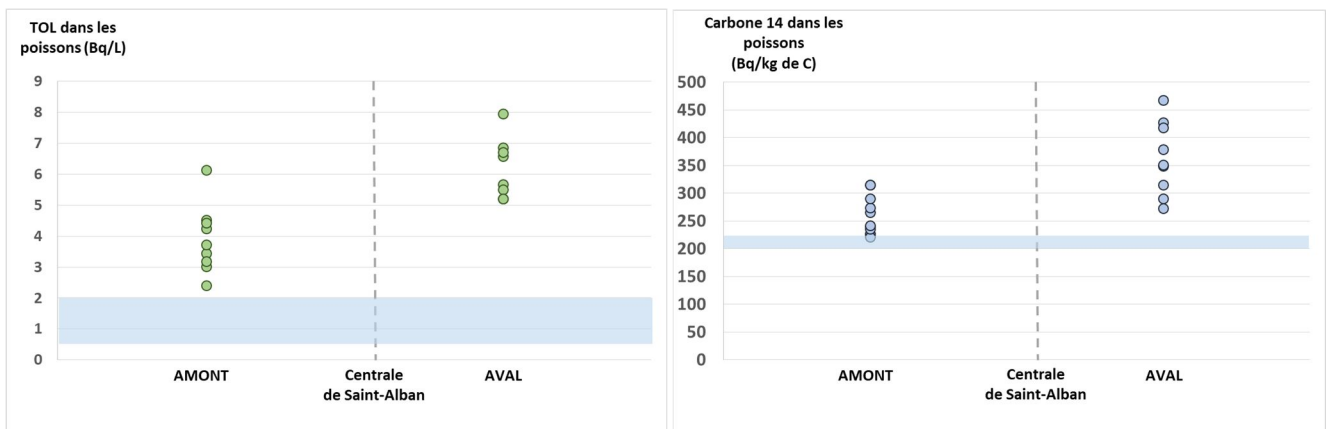


Figure 19. Activités en tritium organiquement lié (en Bq/L d'eau de combustion) et carbone 14 (en Bq/kg de carbone) des poissons du Rhône en amont et en aval de la centrale de Saint-Alban

Les résultats montrent que les poissons pêchés en aval de la centrale présentent des activités de carbone 14 et de tritium supérieures à celles des poissons pêchés en amont, sachant que les poissons pêchés en amont de Saint-Alban sont déjà marqués par les rejets de la centrale du Bugey.

D'autres radionucléides sont recherchés par spectrométrie gamma dans le cadre de la surveillance. Le césium 137 est le seul radionucléide d'origine artificielle à être quantifié par spectrométrie gamma depuis plusieurs années dans les poissons [11]. Entre 2019 et 2021, les activités sont de l'ordre de 0,04 Bq/kg frais à l'amont comme à l'aval, ne permettant pas de quantifier la contribution des rejets de la centrale de Saint-Alban par rapport au bruit de fond radiologique.

Le césium 137 est le seul autre radionucléide d'origine artificielle mesuré dans les poissons. Les activités sont du même ordre de grandeur à l'amont et à l'aval du point de rejet. L'activité potentiellement ajoutée par les rejets de la centrale n'est pas quantifiable.

— ÉTUDE DES ACTIVITÉS DE TRITIUM DANS LES EAUX DE NAPPES PHRÉATIQUES À PROXIMITÉ ET À DISTANCE DE LA CENTRALE [41]

La consommation d'eau de boisson influencée par les rejets tritiés des installations nucléaires est un des principaux contributeurs à l'exposition des populations. Il est donc primordial pour réaliser une estimation plus réaliste de cette exposition, de connaître précisément la teneur en tritium des eaux des nappes phréatiques qui alimentent les captages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) des populations et les forages de particuliers. Les objectifs principaux de cette étude sont, d'une part de mesurer précisément l'activité du tritium dans les eaux consommées par la population et, d'autre part de contribuer à l'amélioration de nos connaissances concernant les échanges entre le Rhône, où sont réalisés les rejets d'effluents radioactifs liquides tritiés, et les nappes superficielles présentes autour de la centrale.

L'IRSN a ainsi réalisé **127 prélèvements d'eaux souterraines** (Figure 20), ce qui inclut un suivi mensuel pendant une année de 7 puits d'alimentation en eau potable et, pendant l'été, de 3 puits destinés à l'irrigation des cultures ainsi qu'à des prélèvements ponctuels sur tous les points d'alimentation en eau potable (AEP) desservant les communes situées dans un rayon de 10 km autour de la centrale et des prélèvements ponctuels sur des eaux d'irrigation de cultures analysées dans le volet « denrées terrestres ».

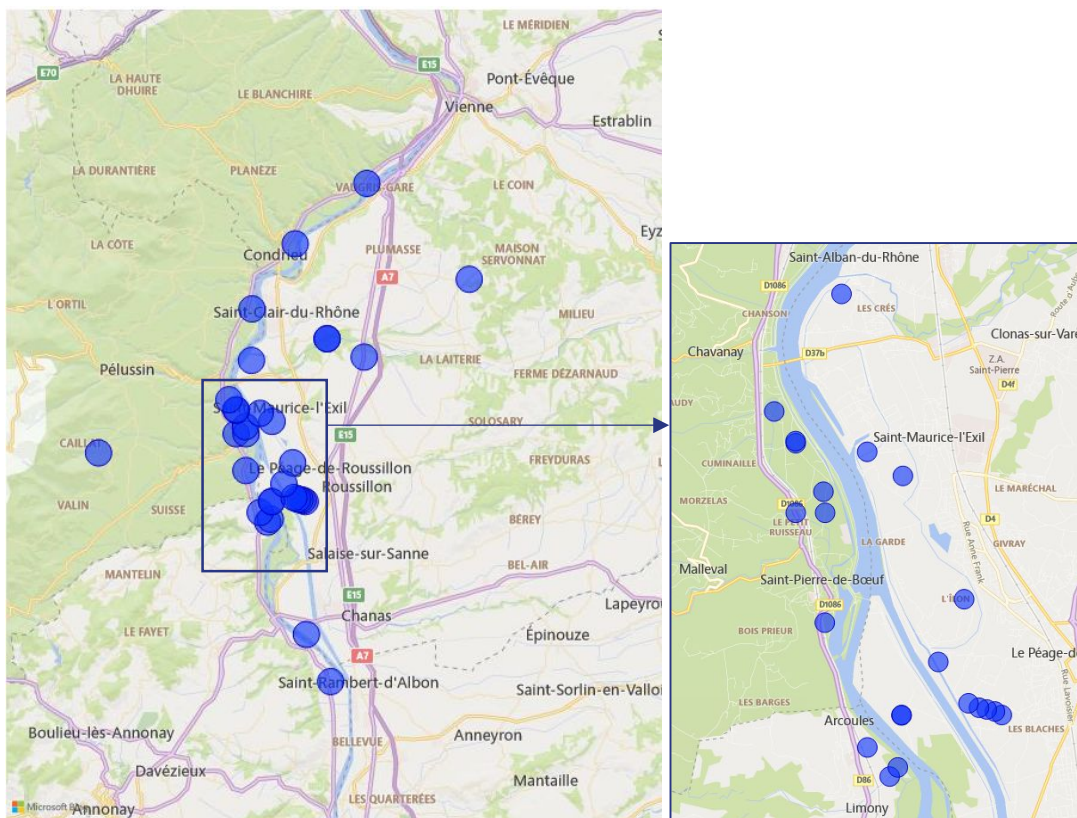


Figure 20. Localisation des lieux de prélèvement de l'eau de nappes phréatiques

Pour chaque prélèvement d'eau de nappes phréatiques, une analyse de tritium a été réalisée, avec la mise en œuvre d'une métrologie de pointe dédiée aux études et recherches qui permet de détecter des faibles activités en tritium avec un seuil de décision de l'ordre de 0,15 Bq/L, bien inférieur à celui de l'exploitant qui se doit d'assurer la surveillance réglementaire, dont les objectifs sont différents (mesures téléchargeables sur le site du RNM <https://www.mesure-radioactivite.fr/#/>) et à celui du contrôle sanitaire des eaux piloté par l'Agence Régionale de Santé (en 2020 tous les résultats sont inférieurs au seuil de décision réglementaire de 10 Bq/L ; mesures téléchargeables sur Résultats du contrôle sanitaire de l'eau distribuée commune par commune - data.gouv.fr).

Résultats :

L'ensemble des résultats obtenus (de moins de 0,14 à 4,49 Bq/L) sont conformes aux activités attendues et sont inférieurs au seuil de décision du contrôle exercé par l'Agence Régionale de Santé (9 à 10 Bq/L). Peu de variations de l'activité en tritium ont été observées au cours de la période d'étude. Les activités mesurées à Clonas sur Varèze, représentative du bruit de fond local, atteignent au maximum $0,43 \pm 0,18$ Bq/L. D'après les résultats de cette étude, le bruit de fond en tritium des eaux souterraines hors influence du Rhône est inférieur à 0,6 Bq/L. Le suivi des eaux souterraines a permis d'identifier deux contributions, d'une part les apports dans le Rhône des rejets liquides de la centrale de Bugey en amont de Lyon et d'autre part les rejets liquides de la centrale de Saint-Alban.

L'influence du Rhône est visible sur les nappes en relation plus directe avec le fleuve (notamment au niveau de l'île de la Platière) même s'il est difficile d'établir des relations simples entre l'activité dans l'eau du Rhône et celle de la nappe échantillonnée.

Le suivi du grand champ captant du Sigearpe situé au sud du site, dans la plaine de Péage de Roussillon à 2 périodes différentes de l'année (été et hiver) a permis de voir que les apports en eau par les versants situés à l'est sont prépondérants sur les puits les plus éloignés du Rhône et que l'on peut percevoir une influence du Rhône sur la nappe pour les puits les plus proches du fleuve grâce à la métrologie performante mise en œuvre pour cette étude.

Les activités supérieures au bruit de fond correspondent donc à des eaux de nappes sous influence du Rhône, milieu récepteur des rejets liquides des installations nucléaires.

L'activité maximale ajoutée en HTO dans les eaux de nappes phréatiques en communication avec le Rhône, retenue pour les évaluations dosimétriques, est de 4 Bq/L.

— PLATEAUX REPAS [40]

L'étude qui consiste à analyser le contenu de plateaux repas constitués en partie de produits locaux, servis dans des établissements de communes de Pélussin, de Saint-Maurice l'Exil et de Saint-Alban-du-Rhône, a été réalisée sur une semaine en mai 2021 en partenariat avec les élus et le personnel municipal. Pour chaque repas servi, l'IRSN a réceptionné le contenu solide du plateau, qui a été homogénéisé pour être analysé. Pour chaque ration alimentaire solide ainsi obtenue, des analyses de tritium libre, tritium organiquement lié, carbone 14 et par spectrométrie gamma, ont été réalisées. Chaque établissement a également envoyé un échantillon d'eau servie dans les cantines sur lesquels ont été réalisés des analyses de l'indice alpha global, bêta global et de tritium.

Résultats :

Il apparaît des différentes analyses qu'aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été quantifié par spectrométrie gamma et que les résultats de tritium et de carbone 14 sont dans la gamme du bruit de fond. La très grande majorité de ces résultats, hors carbone 14, est inférieure aux seuils de décision métrologique. Seul le tritium libre est mesuré à des niveaux quantifiables dans quelques rations alimentaires solides, entre 0,9 et 2,1 Bq/L.

4.4 EXPOSITION LIÉE AUX REJETS DE LA CENTRALE D'UN RIVERAIN ADULTE SUR LA BASE DES RÉSULTATS DE L'ERS

Calcul de l'exposition par incorporation :

Calcul de l'exposition par ingestion

La figure 21 présente de manière simplifiée la méthodologie de calcul de l'exposition radiologique par ingestion de radionucléides.

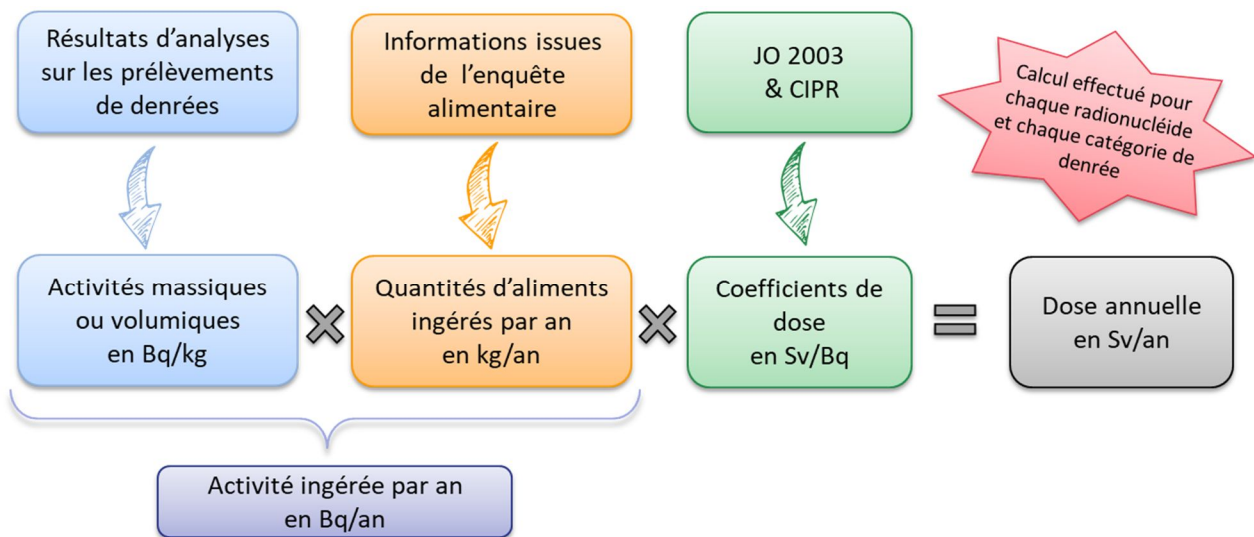


Figure 21. Schéma simplifié de la méthodologie de calcul de l'exposition par ingestion

Pour cette étude, la dose due à l'ingestion de radionucléides présents dans les rejets de la centrale est calculée de la manière suivante :

- Les activités massiques (Bq/kg) et volumiques (Bq/L) de tritium et de carbone 14 dans les denrées fraîches sont déduites de mesures d'indicateurs qui permettent de quantifier de manière plus précise les activités ajoutées du fait des rejets ; il s'agit de l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone, ainsi que des activités de tritium mesurées dans les eaux de séchage ou de combustion de la matière organique.
- Pour estimer les doses dues au tritium par ingestion de denrées, l'activité volumique du tritium libre d'une denrée est supposée égale à l'activité volumique du tritium lié mesuré dans cette denrée (pour les évaluations dosimétriques, l'activité de tritium libre potentiellement mesurée, très influencée par celle de l'air juste avant le prélèvement, est considérée comme moins représentative que celle de tritium lié).
- Lorsqu'un radionucléide est présent dans l'environnement hors influence d'installations nucléaires (bruit de fond), l'activité moyenne théorique du bruit de fond de l'année de prélèvement est soustraite de l'activité mesurée dans l'échantillon. On obtient ainsi l'activité ajoutée par les rejets radioactifs de la centrale, par radionucléide, pour chaque aliment prélevé. En choisissant la valeur moyenne du bruit de fond (et non la valeur haute ou basse de la gamme du bruit de fond) il arrive que cette valeur d'activité ajoutée soit négative, dans ce cas elle est considérée comme nulle.
- Les aliments prélevés et mesurés sont regroupés par catégories d'aliments (légumes feuilles, légumes racines, fruits...) ; si un aliment ou une catégorie d'aliment, consommé localement (régime alimentaire), n'a pas été échantillonné et analysé lors de cette étude, les activités mesurées pour une catégorie d'aliments proche sont affectées à cette catégorie.

- On considère que toutes les denrées d'origine locale proviennent de la zone échantillonnée dans le cadre de cette étude.
- Pour estimer l'exposition par ingestion de riverains adultes aux radionucléides présents dans les rejets de la centrale, deux cas ont été retenus :
 - Cas n°1 : Toutes les denrées d'origine locale consommées par la personne présentent les activités maximales ajoutées pour chaque radionucléide mesuré et chaque catégorie d'aliments.
 - Cas n°2 : La personne consomme aléatoirement des denrées produites localement, dans ce cas on utilise la moyenne des activités ajoutées pour chaque radionucléide mesuré et pour chaque catégorie d'aliments.
- En multipliant la quantité de chaque catégorie d'aliments consommée annuellement (en kg/an), par le taux de consommation de produit locaux (en %), on obtient la quantité consommée de chaque catégorie d'aliments d'origine locale. Ces informations sont issues de l'enquête de proximité menée auprès de plus d'une centaine de foyers de la zone d'étude à l'été 2020 [35]. Le profil recherché pour répondre à cette enquête étant des personnes qui consomment des produit locaux, les résultats sont volontairement majorants (Annexe 1).
- La quantité d'eau ingérée utilisée pour le calcul est égale à 578,6 L/an [35], avec un taux de 100% d'origine locale.
- L'activité annuelle incorporée (en Bq/an) d'un radionucléide du fait des rejets de la centrale via l'ingestion d'une catégorie d'aliment est calculée en multipliant l'activité ajoutée (maximale ou moyenne) de ce radionucléide (en Bq), par la quantité consommée d'origine locale de cette catégorie d'aliments (en kg/an).
- L'activité totale incorporée (maximale ou moyenne) d'un radionucléide par ingestion du fait des rejets de la centrale est la somme des activités incorporées via l'ingestion de chaque catégorie d'aliment.
- En multipliant l'activité totale incorporée (maximale ou moyenne) annuellement de ce radionucléide (Bq/an) via l'ingestion par un facteur de dose exprimé en Sv/Bq on obtient la dose par ingestion due à ce radionucléide (en Sv). Les coefficients de dose utilisés dans cette étude sont présentés en annexe 2 et sont issus du JO de 2003 [42].
- La somme des doses ajoutées dues à chaque radionucléide permet alors d'estimer la dose totale par ingestion imputable aux rejets de la centrale.

Exemple pour la catégorie d'aliments « légumes feuilles » : 10 prélèvements de salades et 3 de fanes de navets ont été réalisés entre 1 et 6 km de la centrale. La quantité consommée selon notre enquête est d'environ 63 kg/an avec un taux de consommation de production locale de 95 % soit environ 60 kg/an.

Sachant que le facteur de dose par ingestion du tritium libre est de $1,8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq ingéré, celui du tritium organiquement lié est de $4,2 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq ingéré et celui du carbone 14 de $5,8 \cdot 10^{-10}$ Sv/Bq ingéré, la dose imputable aux rejets de l'installation concernant la consommation de légumes feuilles est estimée selon les calculs ci-après :

- Carbone 14 :
 - Cas n°1 : l'activité maximale ajoutée est d'environ 0,39 Bq/kg frais, l'exposition maximale ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :

$$(0,39 \text{ Bq/kg frais}) \times (5,8 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/an} \approx 0,014 \text{ } \mu\text{Sv/an}$$
 - Cas n°2 : l'activité moyenne ajoutée est d'environ 0,09 Bq/kg frais, l'exposition moyenne ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :

$$(0,09 \text{ Bq/kg frais}) \times (5,8 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 3,1 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an} \approx 0,003 \text{ } \mu\text{Sv/an}$$
- Tritium organiquement lié :
 - Cas n°1 : l'activité maximale ajoutée est d'environ 0,07 Bq/kg frais, l'exposition maximale ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :

$$(0,07 \text{ Bq/kg frais}) \times (4,2 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/an} \approx 0,0002 \text{ } \mu\text{Sv/an}$$

- Cas n°2 : l'activité moyenne ajoutée est d'environ 0,04 Bq/kg frais, l'exposition moyenne ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :
 $(0,04 \text{ Bq/kg frais}) \times (4,2 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 1 \cdot 10^{-10} \text{ Sv/an} \approx 0,0001 \text{ } \mu\text{Sv/an}$
- Tritium libre : Pour le calcul d'exposition par ingestion de denrée, l'activité du tritium libre en Bq/L d'eau de dessiccation est considérée comme égale à celle en Bq/L d'eau de combustion du tritium organiquement lié (§ 3.2). Cette activité est multipliée par la teneur en eau du végétal pour obtenir l'activité en tritium par unité de masse (Bq/ kg frais).
 - Cas n°1 : l'activité maximale ajoutée est d'environ 1,7 Bq/kg frais, l'exposition maximale ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :
 $(1,7 \text{ Bq/kg frais}) \times (1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an} \approx 0,002 \text{ } \mu\text{Sv/an}$
 - Cas n°2 : l'activité moyenne ajoutée est d'environ 1,1 Bq/kg frais, l'exposition moyenne ajoutée par les rejets pour la consommation de 60 kg/an est estimée à :
 $(1,1 \text{ Bq/kg frais}) \times (1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq ingéré}) \times (60 \text{ kg/an}) = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an} \approx 0,001 \text{ } \mu\text{Sv/an}$

Ces calculs sont reproduits pour chaque radionucléide mesuré et chaque famille d'aliments consommés. Lorsqu'une catégorie d'aliment consommé n'a pas été analysée, ce sont les activités maximales et moyennes de la catégorie alimentaire la plus proche qui ont été affectées (exemples : fromage de vache = fromage de chèvre ; confiture = fruits).

Calcul de l'exposition par voie transcutanée

Seul le tritium peut être absorbé par la peau. Cette exposition par voie transcutanée est supposée égale à l'exposition par inhalation du tritium libre (HTO) soit 0,004 $\mu\text{Sv/an}$ pour une personne qui réside 100% de son temps au point d'activité maximale et 0,001 $\mu\text{Sv/an}$ pour une personne qui réside 10 mois par an dans la zone d'étude.

Calcul de l'exposition par inhalation :

La figure 22 présente de manière simplifiée la méthodologie de calcul de l'exposition radiologique par inhalation de radionucléides.

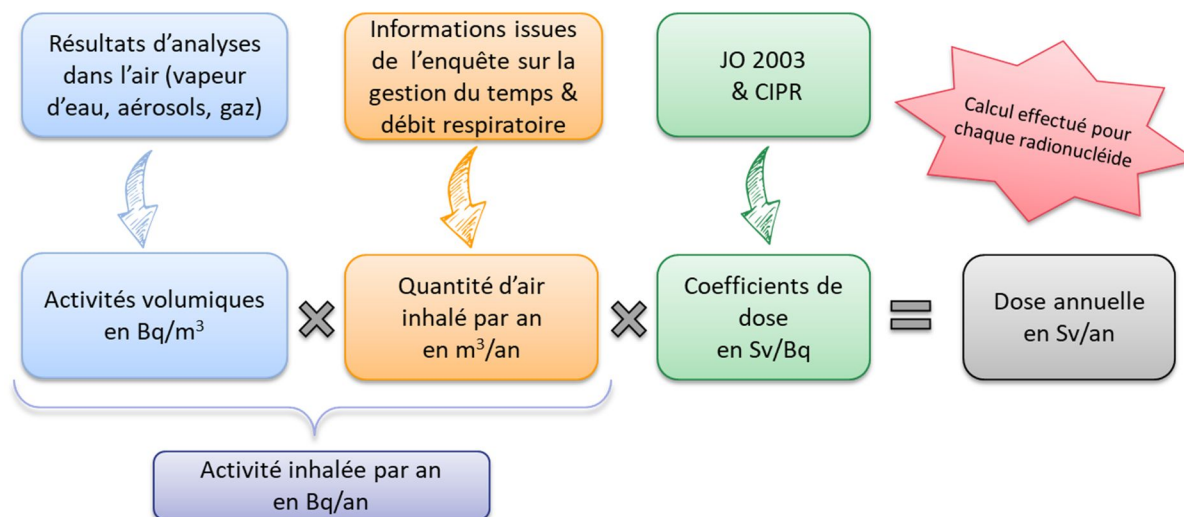


Figure 22. Schéma simplifié de la méthodologie de calcul de l'exposition par inhalation

Pour cette étude, la dose due à l'inhalation de radionucléides présents dans les rejets de la centrale est calculée de la manière suivante :

- Lorsque qu'un radionucléide quantifié dans l'air est également présent dans l'environnement hors influence d'installations nucléaires (bruit de fond), l'activité moyenne théorique du bruit de fond de l'année de prélèvement est soustraite de l'activité mesurée dans l'air. On obtient alors l'activité de ce radionucléide ajoutée du fait des rejets du CNPE.
- Pour estimer l'exposition de riverains adultes par inhalation aux radionucléides présents dans les rejets de la centrale deux cas de figure ont été retenus :
 - Cas n°1 : la personne réside au point d'activité maximale mesurée dans l'air (1km au sud de la centrale) et reste toute l'année dans cette zone.
 - Cas n°2 : la personne réside à 3 km au sud ou au nord de la centrale là où les activités dans l'air sont d'environ 0,02 Bq/m³ de tritium et quitte la zone d'étude 2 mois par an [35].
- Les activités ajoutées retenues sont les suivantes (Tableau 3) :
 - Tritium ajoutée dans la vapeur d'eau :
 - Cas n°1 : 0,04 Bq/m³ - 0,012 Bq/m³ (bruit de fond) = 0,03 Bq/m³ d'air
 - Cas n°2 : 0,022 Bq/m³ - 0,012 Bq/m³ (bruit de fond) = 0,01 Bq/m³ d'air
 - Pour estimer l'activité ajoutée en carbone 14 dans l'air, l'Institut s'est basé sur les activités par unité de masse de carbone (Bq/kg de C), mesurées dans les végétaux terrestres (feuilles d'arbres et légumes feuilles).
 - Cas n°1 = 241 Bq/kg de C - 225 Bq/kg de C (bruit de fond) = 16 Bq/kg de C
 - Cas n°2 = 229 Bq/kg de C - 225 Bq/kg de C (bruit de fond) = 4 Bq/kg de C
 - Seulement pour le cas n°1 :
 - Césium 137 ajouté : 0,000 000 3 Bq/m³ - 0,000 000 2 Bq/m³ (bruit de fond) = 0,000 000 1 Bq/m³ d'air
 - Pour le cobalt 60, le cobalt 58 et l'antimoine 124, les activités correspondent à la moyenne des activités mesurées et des seuils de décision.

Tableau 3. Activités volumiques ajoutées retenues pour l'exposition par inhalation (en Bq/m³)

Activités volumiques ajoutées retenues pour l'exposition par inhalation (en Bq/m ³)				
Radionucléides			Cas n°1	Cas n°2
Tritium	Vapeur d'eau tritiée	(HTO)	0,03	0,01
	Hydrogène tritié	(HT)	0,008	0
Carbone 14	Dioxyde de carbone	(¹⁴ CO ₂)	0,003	0,0008
	Méthane*	(¹⁴ CH ₄)	0,013	0,0033
Césium 137		(¹³⁷ Cs)	0,00000010	0
Cobalt 58		(⁵⁸ Co)	0,00000025	0
Cobalt 60		(⁶⁰ Co)	0,00000007	0
Antimoine 124		(¹²⁴ Sb)	0,00000007	0

*l'activité ajoutée en carbone 14 sous forme ¹⁴CH₄ est considérée comme 4 fois supérieure à celle du ¹⁴CO₂ [43] [44].

- La quantité d'air respirée annuellement par un adulte est calculée à partir du débit respiratoire moyen de 0,96 m³ d'air par heure (m³/h).
 - Cas n°1 : 0,96 m³/h x 365 jours x 24 heures = 8 409,6 m³/an
 - Cas n°2 : 8 409,6 m³/an x (10mois/12mois) = 7 008 m³/an
- En multipliant la quantité d'air respirée (m³/an) par l'activité d'un radionucléide ajoutée dans l'air (Bq/m³), on obtient l'activité de ce radionucléide qui est inhalée annuellement par une personne adulte du fait des rejets de la centrale (Bq/an)

- En multipliant cette activité inhalée annuellement (Bq/an) par le facteur de dose par inhalation de ce radionucléide (Sv/Bq) on obtient la dose par inhalation ajoutée due à ce radionucléide (en Sv). Les coefficients de dose utilisés dans cette étude sont présentés en annexe 2 et sont issus du JO de 2003 [42].
- La somme des doses par inhalation dues aux activités des radionucléides ajoutés dans l'air du fait des rejets de la centrale permet alors d'estimer la dose totale par inhalation imputable aux rejets de la centrale.

Exemple : les activités en **tritium dans l'air** varient entre 0,012 Bq/m³ (Bruit de fond) et 0,039 Bq/m³ au point d'activité maximale. L'activité maximale ajoutée par les rejets est donc de 0,027 Bq/m³ (0,039 - 0,012 Bq/m³). L'activité moyenne sur l'ensemble des résultats est quant à elle de 0,022 Bq/m³ d'air soit 0,01 Bq/m³ d'air ajouté par les rejets (0,022 - 0,012 Bq/m³).

Sachant que le facteur de dose du tritium libre pour l'inhalation est de $1,8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq inhalé :

- Cas n°1 : la dose ajoutée par les rejets pour une personne qui réside 100% de son temps au point d'activité maximale est estimée à :

$$(0,027 \text{ Bq/m}^3 \text{ d'air}) \times (1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq inhalé}) \times (8409,6 \text{ m}^3 \text{ d'air inhalé par an}) = 4,09 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an} \approx 0,004 \text{ } \mu\text{Sv/an}$$

- Cas n°2 : la dose ajoutée par les rejets pour une personne qui réside 10 mois par an dans la zone d'étude est estimée à :

$$(0,010 \text{ Bq/m}^3 \text{ d'air}) \times (1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/Bq inhalé}) \times (7008 \text{ m}^3 \text{ d'air inhalé par an}) = 1,26 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/an} \approx 0,001 \text{ } \mu\text{Sv/an}$$

Calcul de l'exposition externe :

Parmi les radionucléides issus des rejets de la centrale, comme les gaz rares ou certains radionucléides mesurés au-dessus du bruit de fond radiologique lors de cette étude, certains peuvent engendrer une exposition externe : exposition au panache (radionucléides dans l'air) et exposition aux dépôts (radionucléides au sol). Les données environnementales mesurées dans l'ERS Saint-Alban ne permettent néanmoins pas de reconstituer des doses significatives pour ces voies d'exposition externes. Aussi, un modèle de dispersion dans l'atmosphère des rejets gazeux a été utilisé pour fournir un ordre de grandeur de ces doses ajoutées.

Les résultats de calculs par simulation montrent que la dose totale due à l'exposition externe (panache et dépôts) est majoritairement due à l'exposition aux gaz rares présents dans le panache et plus spécialement au ¹³⁵Xe (plus d'un tiers de la dose externe) et l' ⁴¹Ar (moins de 20% de la dose externe). L'exposition externe liée aux dépôts est quant à elle principalement due au ⁶⁰Co. La dose totale due à l'exposition externe (panache et dépôts) est de l'ordre de :

- Cas n° 1 : 0,006 μ Sv/an pour une personne qui réside au point d'activité maximale mesurées dans l'air (1km au sud de la centrale) et reste toute l'année dans cette zone.
- Cas n° 2 : 0,0015 μ Sv/an pour une personne qui réside à 3 km au sud ou au nord de la centrale là où les activités dans l'air sont d'environ 0,02 Bq/m³ de tritium et quitte la zone d'étude 2 mois par an.

Dans l'évaluation de l'exposition externe associée au temps passé sur place, l'évaluation relative à la fraction passée à l'intérieur de l'habitat, sur la base des informations issues de l'enquête budget-temps pourrait prendre en compte un facteur de protection. En effet, les différents éléments de l'habitat, tels que murs (nature, épaisseur), portes et fenêtres (nombre et distribution spatiale), ventilation (débit, isolation éventuelle), contribuent à limiter la contamination intérieure (air ambiant et surfaces) et atténuent les rayonnements des radionucléides de l'extérieur.

Néanmoins, la variété habituelle de ces éléments dans l'habitat d'une zone géographique induit une variété des facteurs de protection qui pourraient être très différents d'un habitat à l'autre, d'un radionucléide à l'autre voire d'un mode de vie à l'autre. A défaut de pouvoir garantir une ou des valeur(s) pertinente(s) de facteur de protection applicable(s) à tout l'habitat de la zone géographique considérée, l'Institut a fait le choix de ne pas considérer de facteur de protection de l'habitat, rendant cette estimation de dose externe sensiblement majorante.

Résultats

Cas n°1 :

Sur la base de la ration alimentaire moyenne, volontairement majorante [35], pour un adulte (>17 ans) résidant au point d'activité maximum dans l'air, puisant son eau de boisson dans une nappe phréatique en communication avec le Rhône, consommant les produits d'origine locale les plus influencés par les rejets et ne quittant pas la zone d'étude, la dose efficace ajoutée par les rejets radioactifs autorisés de la centrale de Saint-Alban est de : **0,17 μ Sv/an**.

- o La voie d'exposition principale est l'ingestion qui représente 91,3 % de cette dose de 0,17 μ Sv/an (Figure 23).

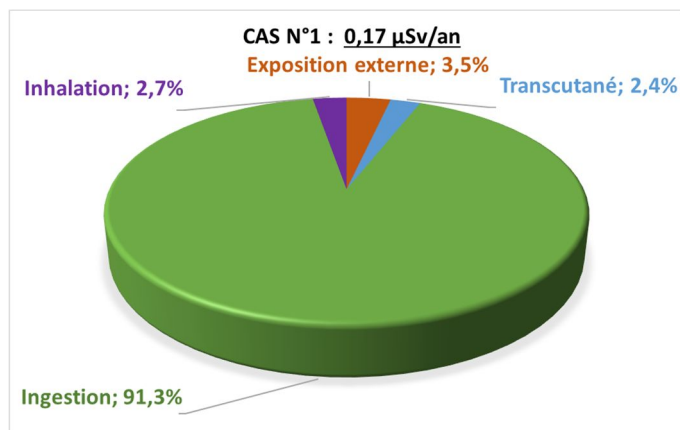


Figure 23. Cas n°1 - Contribution des voies d'exposition à la dose de 0,17 μ Sv/an

- o Le carbone 14 est le principal contributeur (67,4 %) à la dose par ingestion (Figure 24).

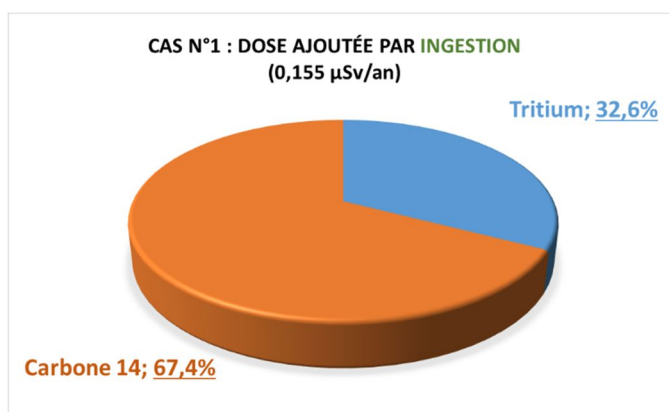


Figure 24. Cas n°1 - Contribution des différents radionucléides à la dose par ingestion

Les activités mesurées dans les aérosols en césium 137, cobalts 58 et 60 et l'antimoine 124 montrent la présence dans l'air, à un kilomètre au sud du site, de ces radionucléides caractéristiques des rejets atmosphériques de la centrale. En revanche, ces radionucléides ne sont pas quantifiés dans les denrées produites localement à l'exception du césium 137 pour lequel les activités mesurées ne permettent pas de distinguer l'apport des rejets par rapport au bruit de fond. En utilisant des vitesses de dépôt, le calcul montre effectivement que les activités théoriques ajoutées seraient de l'ordre de 0,001 à 0,003 Bq/kg, ce qui est bien en dessous des seuils de décision des appareils de mesure. Les doses efficaces par ingestion, estimées sur la base de ces activités massiques théoriques sont négligeables : de l'ordre de 0,0001 à 0,001 μ Sv/an.

- L'exposition par inhalation est quasiment exclusivement due (89%) au tritium (Figure 25).

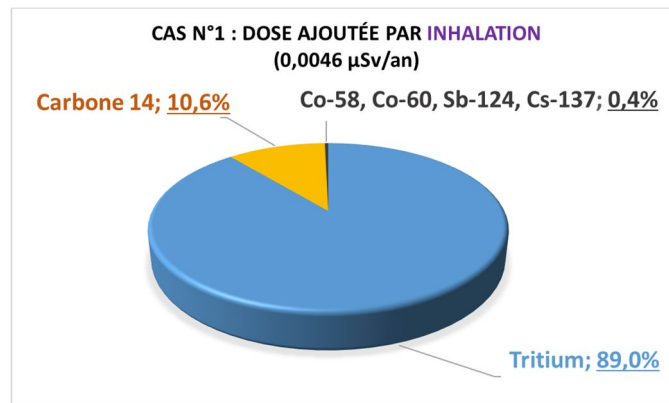


Figure 25. Cas n°1 - Contribution des différents radionucléides à la dose par inhalation

Cas n°2 :

En tenant compte de la ration alimentaire moyenne, volontairement majorante [35], des moyennes des activités mesurées dans les denrées collectées dans le périmètre d'étude et pour un temps de résidence de 10 mois par an, la dose efficace ajoutée par les rejets radioactifs autorisés de la centrale de Saint-Alban, pour un adulte résidant à 3 km au nord ou au sud de la centrale, est d'environ **0,08 µSv/an**.

- La voie d'exposition principale est l'ingestion qui représente 96,7% de cette dose de 0,08 µSv/an (Figure 26).

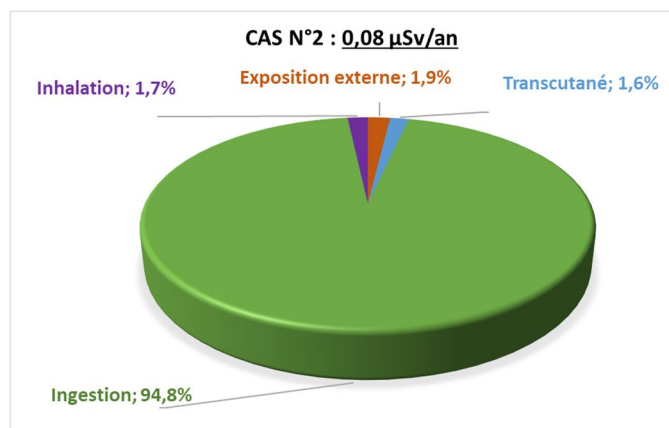


Figure 26. Cas n°2 - Contribution des voies d'exposition à la dose de 0,08 µSv/an

- Le carbone 14 est le principal contributeur (67,4 %) à la dose par ingestion (Figure 27).

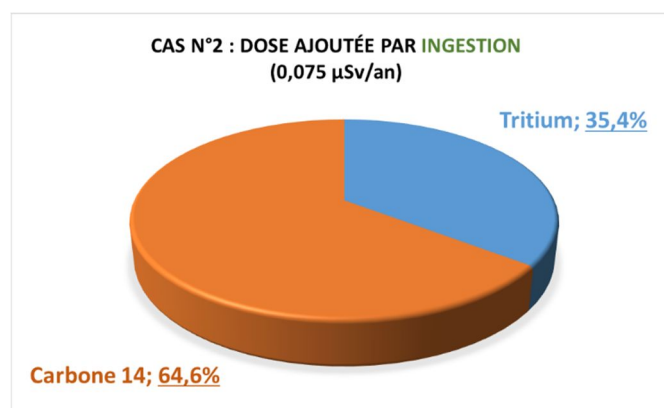


Figure 27. Cas n°2 - Contribution des différents radionucléides à la dose par ingestion

- L'exposition par inhalation est quasiment exclusivement due (93%) au tritium (Figure 28).

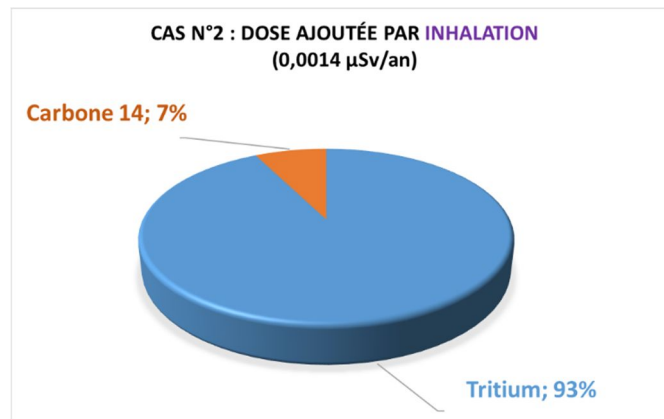


Figure 28. Cas n°2 - Contribution des différents radionucléides à la dose par inhalation

Scénarios « cas n°1 - maximisant » :

Pour un adulte résidant au point d'activité maximum dans l'air, puisant son eau de boisson dans une nappe phréatique en communication avec le Rhône, consommant les produits les plus influencés par les rejets et ne quittant pas la zone, la dose efficace ajoutée peut légèrement augmenter jusqu'aux valeurs suivantes :

- Pour un chasseur consommant 100 kg de sangliers : 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
- Pour un gros consommateur de légumes feuilles : 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$
- Pour un pêcheur consommant 8 kg de poissons du Rhône : 0,25 $\mu\text{Sv}/\text{an}$

Les doses ajoutées par les radionucléides présents dans les rejets de la centrale, pour un adulte, sur la base des résultats dans l'environnement et des informations sur les modes de vie des riverains particulièrement consommateurs de produits locaux, sont comprises entre 0,08 et 0,25 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

Elles sont inférieures de plusieurs ordres de grandeur à la limite d'exposition du public de 1 000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ mais proches de celles estimées par EDF sur la base des rejets réels (0,12 à 0,16 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ entre 2019 et 2021 [8] à [10]).

Les doses efficaces ajoutées indiquées ci-dessus sont relatives à des adultes (>17 ans). Les doses efficaces aux enfants, calculées pour différentes classes d'âge et selon un raisonnement similaire, sont du même ordre de grandeur que pour l'adulte. En effet, pour les scénarios étudiés et les radionucléides concernés, les coefficients de doses pour les enfants sont supérieurs à ceux des adultes, mais ceci est compensé par le fait que leurs débits respiratoires et les quantités de denrées consommées sont plus faibles.

CONCLUSION

Malgré les fortes contraintes liées à la pandémie de COVID 19 durant la période de l'étude (2019-2021), les objectifs ont été atteints et le planning a été tenu grâce, notamment, à la forte mobilisation et la participation active des acteurs locaux. L'IRSN a en effet pu compter sur plusieurs collaborations. Tout d'abord, la commission locale d'information (CLI), qui a tenu à être informée lors de chaque assemblée générale de l'avancée de l'étude et des résultats acquis. Elle a également, dès le départ mis en place un groupe de suivi constitué de membres volontaires qui s'est réuni à sept reprises. Ce groupe a permis de faire le relais entre l'institut et les acteurs locaux (élus, riverains, exploitants agricoles...). Il a également été l'occasion pour l'IRSN de présenter régulièrement les résultats des études et les notions de radioécologie nécessaires à leur compréhension, et ainsi, de s'assurer de répondre aux attentes locales. L'exploitant EDF a également facilité la réalisation de ce programme d'études en apportant un soutien logistique et l'accès à certaines données d'exploitation permettant une meilleure interprétation des résultats. **Ce sont au total plus d'une douzaine d'études qui ont mobilisé les équipes de l'IRSN, plus de de 970 prélèvements réalisés dans l'environnement, plus de 1200 analyses, et plus de 270 personnes interrogées sur 34 communes**, en collaboration avec plus d'une quarantaine d'exploitations agricoles, des riverains, des fédérations de pêche et de chasse, des gestionnaires de réseau d'eau potable.

Les études menées ont permis de mieux caractériser l'influence des radionucléides présents dans les rejets de la centrale nucléaire de Saint-Alban sur son environnement et l'exposition induite aux riverains. Elles ont également permis de compléter et conforter les connaissances scientifiques, théoriques et expérimentales, des mécanismes de transfert des radionucléides dans l'environnement, et des niveaux attendus hors influence (bruit de fond). Enfin, les enquêtes menées auprès des riverains ont permis d'acquérir des informations sur le mode de vie des habitants indispensables à une évaluation réaliste de l'exposition.

Il apparaît que l'ensemble des résultats acquis dans le cadre de ces études sont cohérents avec les activités attendues dans l'environnement d'une centrale nucléaire et avec les activités mesurées dans le cadre de la surveillance régulière et de routine réalisées par l'exploitant et l'IRSN. L'influence perceptible des rejets de la centrale dans certains milieux n'a pu être mise en évidence que grâce à l'utilisation de moyens technologiques et métrologiques habituellement employés dans le cadre d'études de recherche et d'expertise pour mesurer des niveaux de radioactivité dans l'environnement à l'état de traces.

Les résultats acquis dans l'environnement de la centrale et les informations recueillies sur les modes de vies des riverains ont permis de calculer l'exposition induite par les rejets de la centrale selon plusieurs scénarios réalistes. Cette exposition liée aux rejets varie entre 0,08 et 0,25 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ en fonction du lieu d'habitation et de travail, des habitudes alimentaires, du point de captage d'alimentation en eau potable et du temps passé dans la zone d'étude. Ces estimations de doses sont cohérentes avec celles estimées dans le cadre du bilan de l'état radiologique de l'environnement Français [2] et proches de celles estimées par EDF sur la base des rejets réels (0,12 à 0,16 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ entre 2019 et 2021). Ces valeurs sont très inférieures, de plusieurs ordres de grandeur, à la limite d'exposition du public applicable aux populations fixés par la réglementation qui est de 1000 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ (en dehors des expositions médicales et naturelles).

Les rapports de restitution des résultats des différentes études sont consultables sur le site institutionnel de l'IRSN.

ANNEXES

ANNEXE 1 ACTIVITÉS AJOUTÉES ET INGÉRÉES PAR CATÉGORIES D'ALIMENTS

Régime alimentaire enquête ERS St Alban 2020			Tritium libre HTO (avec HTO=TOL en Bq/L)		Tritium organiquement lié TOL		Carbone 14				
Familles d'aliments	Quantité consommée en Kg/an ou L/an	Taux de consommation de produit locaux	Cas n° 1		Cas n° 2		Cas n° 1		Cas n° 2		
			Ajoutée en Bq/L	Ingérée en Bq/an	Ajoutée en Bq/kg ou Bq/L	Ingérée en Bq/an	Ajoutée en Bq/L	Ingérée en Bq/an	Ajoutée en Bq/kg ou Bq/L	Ingérée en Bq/an	
Yaourts et fromages blancs*	45,2	38%	0,19	3,29	0,06	1,10	0,25	4,26	1,18	1,10	18,70
Fromage de vache*	13,8	31%	0,19	0,84	0,06	0,28	0,25	1,09	0,30	1,94	8,44
Fromage de chèvre	6,8	74%	0,19	0,98	0,06	0,33	0,25	1,27	0,35	1,94	9,79
Beurre*	6,6	0,4%	0,19	0,005	0,06	0,002	0,25	0,01	0,002	1,94	0,05
Oeufs	21,5	79%	0,85	14,47	0,50	8,54	0,19	3,27	0,11	1,92	5,77
Pommes de terre	50,9	93%	0,87	41,12	0,87	41,12	0,13	6,04	0,13	6,04	11,16
Légumes racines	30,5	96%	1,50	44,14	1,04	30,50	0,09	2,67	0,05	1,53	15,36
Légumes feuilles	63,1	95%	1,71	102,40	1,06	63,42	0,07	3,99	0,04	2,47	23,53
Légumes à fruits	174,1	96%	0,31	51,97	0,31	51,97	0,01	1,79	0,01	1,79	0,00
Miel	2,2	65%	0,00	0,00						0,03	0,05
Fruits	124,4	84%	0,85	88,42	0,31	31,88	0,10	10,35	0,04	4,64	38,88
Confitures*	4,3	56%	0,85	2,06	0,31	0,74	0,10	0,24	0,04	0,11	0,37
Poissons marins	7,9	0%									
Poissons eaux douces	0,9	27%	3,65	0,93	2,02	0,52	0,62	0,16	0,19	0,05	20,92
Crustacés, coquillages, mollusques	2,0	6%									
Viandes bœuf	14,6	54%	0,98	7,72	0,43	3,36	0,20	1,58	0,09	0,71	4,37
Viandes volailles	13,1	57%	0,14	1,08	0,14	1,08	0,04	0,27	0,04	0,27	0,30
Viandes mouton*	1,5	92%	0,98	1,36	0,43	0,59	0,20	0,28	0,09	0,12	0,56
Viandes lapin*	2,8	76%	0,14	0,30	0,14	0,30	0,04	0,08	0,04	0,08	0,04
Viandes porc	9,2	66%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
Gibier	2,3	100%	0,76	1,73	0,22	0,51	0,18	0,42	0,05	0,12	0,97
Blé céréales	62,3	7%	0,87	3,60	0,17	0,72	1,24	5,17	0,46	1,90	2,22
Champignons sauvages	0,7	86%									
Lait (vache, chèvre ou brebis)	44,6	20%	1,00	8,81	0,60	5,29	0,10	0,87	0,06	0,51	1,73
Vin*	25,6	67%	0,48	8,35	0,45	7,82	0,10	1,68	0,04	0,76	6,44
Eau	578,6	100%	4,00	2314,30	2,00	1157,15					

*Pas de prélèvement effectué pour cette famille, les activités mesurées pour une famille "proche" sont attribuées

ANNEXE 2 COEFFICIENTS DE DOSE

Radionucléides	Symboles	Coefficients de dose (en Sv/Bq)	
		Ingestion	Inhalation
Césium 137	¹³⁷ Cs	1,30E-08	4,60E-09
Cobalt 58	⁵⁸ Co	7,4E-10	1,60E-09
Cobalt 60	⁶⁰ Co	3,4E-09	1,00E-08
Antimoine 124	¹²⁴ Sb	2,5E-09	6,40E-09
Tritium Libre	HTO	1,80E-11	1,80E-11
Tritium Organiquement Lié	TOL	4,20E-11	-
Hydrogène tritié	HT	-	1,80E-15
Carbone 14	¹⁴ C	5,80E-10	-
Dioxyde de carbone	¹⁴ CO ₂	-	6,20E-12
Méthane	¹⁴ CH ₄	-	2,90E-12

(Source : Journal Officiel de 2003 [42])

RÉFÉRENCES

- [1] <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Etudes-complementaires/Etudes-radiologiques-site/Pages/Sommaire.aspx#.YNsXjrtxeUl>
- [2] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 ; IRSN 2021-00765
- [3] Décision n° 2016-DC-0569 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 septembre 2016 modifiant la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base
- [4] Décision n° 2014-DC-0469 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 décembre 2014 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejet dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 119 et n° 120 exploitées par Électricité de France - Société Anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Alban Saint-Maurice (département de l'Isère)
- [5] Décision n° 2014-DC-0470 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 décembre 2014 fixant les limites de rejet dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 119 et n° 120 exploitées par Électricité de France - Société Anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Alban Saint-Maurice (département de l'Isère)
- [6] Décision n° 2017-DC-0588 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 6 avril 2017 relative aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de rejet d'effluents et de surveillance de l'environnement des réacteurs électronucléaires à eau sous pression
- [7] Centrales nucléaires et environnement. Prélèvements d'eau et rejets ; EDF ; Edition 2020 EDP Sciences
- [8] Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2019 ; EDF
- [9] Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2020 ; EDF
- [10] Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2021 ; EDF
- [11] Historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban ; IRSN-2021-00678
- [12] www.mesure-radioactivite.fr
- [13] Rapport environnemental annuel relatif aux installations nucléaires du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Alban 2019 ; EDF
- [14] Rapport environnemental annuel relatif aux installations nucléaires du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Alban 2020 ; EDF
- [15] Rapport environnemental annuel relatif aux installations nucléaires du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Alban 2021 ; EDF
- [16] <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx>
- [17] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 ; IRSN 2018-00006
- [18] Exposition de la population française aux rayonnements ionisants bilan 2014-2019 ; IRSN /2021-00108
- [19] Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain ; IRSN/2022-00131

- [20] 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 ; IRSN/DEI/2011-01
- [21] Constat Radiologique « Rémanence de la radioactivité d'origine artificielle » ; IRSN/PRP-ENV/SESURE 2015-41
- [22] Impact du tritium autour des centrales nucléaires EDF ; Radioprotection 2008 Vol. 43, n° 2, pages 177 à 191
- [23] Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement ; IRSN/ PRP-ENV/SERIS/2017-00004
- [24] Livre Blanc du tritium ; ASN
- [25] Bruit de fond du tritium en milieu terrestre ; Radioprotection 49(2), 139-142 (2014)
- [26] Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement ; IRSN/ PRP-ENV/SERIS/2017-00004
- [27] Fiche radionucléide environnement ; Tritium et environnement ; IRSN Décembre 2010
- [28] Données utiles à l'interprétation des mesures de carbone 14 en milieu terrestre ; Radioprotection 2013
- [29] Comportement du carbone 14 en milieu continental et niveaux d'activité hors de l'influence d'une installation nucléaire ; IRSN/PRP-ENV/SESURE/2012-25
- [30] Impact du carbone-14 autour des centrales nucléaires EDF ; Radioprotection 2009 ; Vol. 44, n° 4, pages 495 à 504
- [31] Fiche radionucléide environnement - Carbone 14 et environnement ; IRSN ; Juillet 2015
- [32] Fiche radionucléide environnement - Césium 137 et environnement ; IRSN ; Juillet 2015
- [33] Le césium de l'environnement à l'Homme - EDP Sciences ; IPSN ; Janvier 2020
- [34] Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice ; Acquisition d'informations concernant les variables humaines d'expositions (VHE). Tome 1 : fonctionnement environnemental et urbain ; IRSN 2022-00144
- [35] Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice ; Acquisition d'informations concernant les variables humaines d'expositions (VHE). Tome 2 : résultats des enquêtes sur les habitudes alimentaires ; IRSN 2022-00145
- [36] Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice ; Synthèse des études atmosphériques ; IRSN 2021-00649
- [37] NF M60-312-1 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Détermination de l'activité du tritium dans l'air - Partie 1 : Détermination de l'activité volumique du tritium atmosphérique prélevé par la technique de barbotage de l'air dans l'eau - JUIN 2019
- [38] Développement d'un piègeur passif pour la surveillance du tritium atmosphérique ; Radioprotection 2017, 52(1), 57-64
- [39] Etude des niveaux de radioactivité atmosphérique à proximité du CNPE de Cruas-Meysses ; Journées SFRP Air & Radioactivité 01 et 02 février 2017
- [40] Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice ; Synthèse des études terrestres ; IRSN (à paraître)
- [41] Étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice ; Synthèse des études aquatiques ; IRSN (à paraître)
- [42] Modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants ; annexe à l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 ; République Française ; Journal Officiel ; Lois et décrets ; novembre 2003.

[43] Characterization of Carbon-14 Generated by the Nuclear Power Industry ; EPRI TR-105715 ; November 1995.

[44] Management of Waste Containing Tritium and Carbon-14 ; Technical Reports Series N°. 421 ; AIEA ; July 2004

Table des illustrations et tableaux

Illustration

Figure 1. Localisation des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) d'EDF en exploitation, en arrêt définitif, en cours de démantèlement, nombre et puissance des réacteurs en exploitation [2].....	8
Figure 2. Illustration simplifiée des circuits de rejets liquides et gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban	9
Figure 3. Page d'accueil du site internet du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement	12
Figure 4. Exemple de données de la surveillance radiologique de l'environnement de la centrale de Saint-Alban vues depuis le RNM-RE.....	13
Figure 5. Modes d'exposition aux sources de rayonnements ionisants de la population française métropolitaine.....	15
Figure 6. Communes situées dans un rayon de 10 Km autour du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice [34].....	21
Figure 7. Ration alimentaire moyenne solide et liquide [35].....	22
Figure 8. Autoconsommation moyenne des aliments solides d'après l'enquête alimentaire [35]	23
Figure 9. Moyennes d'heures passées sur une journée à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, dans et hors la zone d'étude [35]	24
Figure 10. Pourcentage du temps passé dans le périmètre et hors du périmètre d'étude [35].....	24
Figure 11. Moyenne des activités de tritium dans la vapeur d'eau de l'air (Bq/m ³) prélevée à l'aide de piègeurs passifs tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice [36]	26
Figure 12. Localisation de la station de collecte d'aérosols à grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	27
Figure 13. Localisation du dispositif de prélèvement d'air en vue d'une analyse de carbone 14	29
Figure 14. Localisation des lieux de prélèvement des végétaux terrestres	31
Figure 15. Évolution en fonction de la distance au site de l'activité en carbone 14 en Bq/kg de carbone dans les végétaux terrestres prélevés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban	32
Figure 16. Évolution en fonction de la distance au site de l'activité en tritium organiquement lié en Bq/L d'eau de combustion dans les végétaux terrestres prélevés dans le cadre de l'ERS Saint-Alban	32
Figure 17. Localisation des lieux de prélèvement de denrées terrestres d'origine animale	34
Figure 18. Localisation des lieux de prélèvement de poissons	36
Figure 19. Activités en tritium organiquement lié (en Bq/L d'eau de combustion) et carbone 14 (en Bq/kg de carbone) des poissons du Rhône en amont et en aval de la centrale de Saint-Alban	36
Figure 20. Localisation des lieux de prélèvement de l'eau de nappes phréatiques	37
Figure 21. Schéma simplifié de la méthodologie de calcul de l'exposition par ingestion.....	39
Figure 22. Schéma simplifié de la méthodologie de calcul de l'exposition par inhalation	41
Figure 23. Cas n°1 - Contribution des voies d'exposition à la dose de 0,17 µSv/an	44
Figure 24. Cas n°1 - Contribution des différents radionucléides à la dose par ingestion	44
Figure 25. Cas n°1 - Contribution des différents radionucléides à la dose par inhalation	45
Figure 26. Cas n°2 - Contribution des voies d'exposition à la dose de 0,08 µSv/an	45
Figure 27. Cas n°2 - Contribution des différents radionucléides à la dose par ingestion	45
Figure 28. Cas n°2 - Contribution des différents radionucléides à la dose par inhalation	46

Tableau

Tableau 1. Rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2021 (EDF : Rapports environnement annuels du CNPE de Saint-Alban [13][14][15])	10
Tableau 2. Rejets d'effluents radioactifs gazeux du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2021 (EDF : Rapports environnement annuels du CNPE de Saint-Alban [13][14][15])	10
Tableau 3. Activités volumiques ajoutées retenues pour l'exposition par inhalation (en Bq/m ³).....	42

IRSN
Pôle Santé et Environnement
Direction de l'Environnement

E-mail
contact-ers@irsn.fr

N° du rapport
Rapport IRSN 2022-00719
Tous droits réservés IRSN
Décembre 2022

Photo de couverture :
CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, Lionel SAEY © IRSN
Autres photos :
© IRSN



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

COURRIER

B.P 17
92260 Fontenay-aux-Roses Cedex

TÉLÉPHONE


+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

Email

contact@irsn.fr

 [@IRSNFrance](https://twitter.com/IRSNFrance)