



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 L'EXIL

SYNTHESE DES ETUDES REALISEES EN MILIEU
AQUATIQUE



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 rejettent 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'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 et des synthèses sur l'état radiologique des territoires



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 OPERA-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 hydro-collecteurs** 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 application de l'actualisation de sa stratégie de surveillance du territoire, l'IRSN renforce, au travers d'études ponctuelles, les « Études radiologiques de site », ses connaissances scientifiques à proximité des sources de radioactivité en étudiant plus particulièrement l'influence des rejets de sites nucléaires sur leur environnement et l'exposition radiologique de la population avoisinante qui en résulte. Après avoir réalisé des études sur l'influence des rejets de radionucléides par voie atmosphérique de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur le milieu terrestre [1] et atmosphérique [2], l'IRSN a étudié l'influence des rejets radioactifs liquides de la centrale sur le milieu aquatique. Les objectifs de cette étude sont d'une part de fournir des résultats de radioactivité dans des poissons prélevés localement et des eaux de boisson pour estimer de manière plus réaliste l'exposition des populations voisines de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil [3] en fonction des habitudes alimentaires [4], et, d'autre part, d'améliorer les connaissances sur le devenir des radionucléides présents dans les rejets du site dans l'environnement aquatique.

Quatre études particulières ont été dimensionnées pour répondre à ces différents points.

La première étude s'est attachée à mieux comprendre les mécanismes d'échanges qui s'établissent entre les eaux de surface et les eaux souterraines autour du site de Saint-Alban. L'activité de référence hors influence d'installation nucléaire (bruit de fond radiologique) du tritium dans les eaux de nappes phréatiques a pu être évaluée grâce à l'emploi de techniques de mesure du tritium habituellement réservées aux programmes de recherche qui permettent de mesurer des activités très faibles, bien en dessous des seuils de mesure fixés par la réglementation. Cette évaluation plus précise du bruit de fond radiologique a ainsi permis d'identifier que les rejets de tritium effectués par la centrale du Bugey située en amont de celle de Saint-Alban sont à l'origine d'un marquage de la plupart des puits captant la nappe alluviale du Rhône. Seul le site de la Platière et, dans une moindre mesure, un puits situé sur la commune de Limony, témoignent d'apports en tritium

issus des rejets de la centrale de Saint-Alban qui viennent s'ajouter à ceux du Bugey. Cette étude a permis de disposer de résultats plus précis que les seuils de décision exigés réglementairement par le contrôle sanitaire des eaux mis en œuvre par les Agences Régionales de Santé (ARS) pour la protection sanitaire des populations.

La deuxième étude avait pour objectif de contribuer à la qualification opérationnelle de l'outil de modélisation hydraulique simplifié utilisé à l'IRSN pour reconstruire ou prédire les transferts de radionucléides dans les cours d'eau (code CASTEAURx). A l'issue de cette étude, l'utilisation du code CASTEAURx sur le Rhône peut être considérée comme satisfaisante. Par ailleurs, la confrontation des résultats issus des simulations aux mesures des surveillances réalisées par EDF et par l'IRSN permet d'affirmer que la station de surveillance multi-paramètres d'EDF (également utilisée par l'IRSN pour sa surveillance) située à l'aval du point de rejet des effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil permet la réalisation de mesures représentatives du tritium circulant dans le Rhône pour les débits rencontrés lors de cette étude.

Des études destinées à conforter nos connaissances sur la représentativité des échantillonnages destinés à la surveillance des milieux aquatiques ont également été entreprises. Les résultats ont permis de confirmer que les végétaux aquatiques, utilisés depuis de nombreuses années comme marqueurs de l'influence des rejets de radionucléides émetteurs gamma, peuvent également être utilisés pour tracer l'influence des rejets de tritium et de carbone 14. De même, les résultats obtenus sur des espèces de poissons capturés pour la surveillance mais non consommés par la population, se révèlent être bien représentatifs d'autres espèces consommées par les pêcheurs. Enfin, les données acquises sur des crustacés et des mollusques vivant en milieu fluvial permettent de montrer que les activités de tritium et de carbone 14 sont cohérentes dans différents maillons trophiques de l'écosystème aquatique rhodanien.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	7
PRÉSENTATION DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL.....	8
LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL	8
RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL	8
RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES MESURES EN MILIEU AQUATIQUE.....	10
Origine des radionucléides mesurés en milieu aquatique	10
Comportement dans l'environnement aquatique des principaux radionucléides d'intérêt pour cette étude	10
Notion de « bruit de fond » radiologique	12
LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL.....	13
Radionucléides émetteurs gamma	14
Tritium	15
Carbone 14.....	15
QUALITE RADIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DESTINEES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES POPULATIONS VOISINES ET A L'IRRIGATION DES CULTURES.....	16
OBJECTIFS VISES PAR L'ETUDE.....	16
CHOIX DES POINTS DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES ET MOYENS MIS EN ŒUVRE	16
Contexte géologique et hydrogéologique local	16
Stratégie et méthode de prélèvement	17
RESULTATS OBTENUS.....	19
Niveau de marquage en tritium dans les nappes du secteur étudié	19
Comparaison au suivi des eaux du Rhône en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	20
Teneur en tritium dans l'eau potable	21
Teneur en tritium dans les eaux d'irrigation.....	22
Qualification du "bruit de fond" en tritium dans les eaux souterraines.....	22
MODÉLISATION DE LA PROPAGATION DU TRITIUM REJETÉ DANS LE RHÔNE PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL.....	24
CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE	24
CAMPAGNES DE SUIVI DE LA PROPAGATION DES REJETS DE TRITIUM DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL	24
Organisation des campagnes et résultats obtenus	24
Comparaison des résultats issus des modélisations avec ceux issus de mesures réalisées dans le Rhône	26
ETUDE DE LA SENSIBILITE DES BIOINDICATEURS VEGETAUX AQUATIQUES A RENDRE COMPTE DES ACTIVITES DES RADIONUCLÉIDES PRESENTS DANS L'EAU.....	30
CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	30

SUIVI D'UN REJET D'EFFLUENTS DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL.....	30
Méthode et moyens.....	30
Résultats obtenus et perspectives.....	31
ETUDES DU TRITIUM ET DU CARBONE 14 DANS DIFFERENTES COMPOSANTES BIOLOGIQUES DU MILIEU AQUATIQUE.....	34
CONTEXTES ET OBJECTIFS DES ETUDES	34
ACTIVITES EN TRITIUM ET CARBONE 14 DES POISSONS CAPTURES ET CONSOMMES LOCALEMENT	34
Méthodes et moyens mis en œuvre	34
Résultats obtenus et perspectives.....	35
VARIABILITE INTER-INDIVIDUELLE DES ACTIVITES DE TRITIUM ET CARBONE 14 DANS LES POISSONS	38
Méthodes et moyens mis en œuvre	38
Résultats obtenus	38
ETUDE DU TRITIUM ET DU CARBONE 14 DANS DIFFERENTES COMPOSANTES DU MILIEU AQUATIQUE.....	40
Méthodes et moyens mis en œuvre.....	40
Résultats obtenus	41
CONCLUSIONS.....	44
REFERENCES	45

INTRODUCTION

En application de l'actualisation de sa stratégie de surveillance radiologique du territoire, l'IRSN a engagé en 2019 un nouveau programme visant une caractérisation radiologique plus fine et 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 sur trois années (2019-2021) afin de mettre en place une méthodologie transposable à d'autres sites similaires. Ce choix ne résulte pas d'une préoccupation environnementale ou sanitaire particulière, mais du fait que les acteurs locaux, au travers de la Commission Locale d'Information (CLI) de Saint-Alban, et l'exploitant (EDF), ont accepté de contribuer à sa réalisation.

Ce programme d'étude a pour objectifs principaux d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'influence potentielle 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 à proximité et à distance du site. Ces études permettent de diversifier les types de prélèvements et d'analyses, et de vérifier la bonne adaptation des outils de modélisation aux spécificités d'un site ;
- Des enquêtes de proximité pour actualiser les informations sur les modes de vie des habitants résidant autour du site (enquête alimentaire, enquête sur l'utilisation du temps, enquête sur l'usage de l'environnement) ;
- L'implication des acteurs locaux, afin de répondre à leurs éventuelles préoccupations et de favoriser une meilleure appréhension du risque radiologique.

Les résultats des études sur l'influence des rejets de radionucléides par voie atmosphérique de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, sur les modes de vie des habitants et sur les doses susceptibles d'être reçues par la population riveraine, ont fait l'objet de plusieurs rapports disponibles sur le site de l'IRSN [1] à [4].

Les études menées en milieu aquatique ont contribué, d'une part à fournir de nouveaux résultats de radioactivité (dans des poissons, des eaux de boisson et d'irrigation de cultures) pour estimer de manière plus réaliste l'exposition des populations voisines de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, et d'autre part, à améliorer les connaissances sur le devenir des radionucléides rejetés dans le Rhône notamment en confrontant les résultats de calcul de dispersion issus de modèles développés par l'IRSN avec des résultats obtenus en milieu naturel.

Ce sont ainsi quatre études particulières qui ont été mises en œuvre dans le cadre de l'ERS de Saint-Alban :

- Qualité radiologique des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations voisines de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et à l'irrigation des cultures ;
- Dispersion dans le Rhône du tritium rejeté par les centrales nucléaires d'EDF et validation du modèle hydraulique de l'IRSN ;
- Pertinence des bioindicateurs végétaux aquatiques pour assurer la surveillance de l'environnement aquatique au sein duquel sont effectués les rejets liquides des centrales nucléaires ;
- Etudes des teneurs en tritium et ^{14}C dans différentes matrices du milieu fluvial.

Ce rapport dresse le bilan des différentes études réalisées en milieu aquatique. Chaque fois que cela est possible, les résultats acquis sont mis en perspective avec les résultats préexistants, qu'ils proviennent de l'IRSN, de l'exploitant (EDF) ou d'autres acteurs (associations, études et recherches, etc.).

PRÉSENTATION DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) ou « centrale nucléaire » de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, 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 qui composent le parc nucléaire d'EDF en exploitation. 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 pour la tranche N°1 et juillet 1986 pour la tranche N°2. Le refroidissement est assuré directement par l'eau du Rhône, sans présence d'aéroréfrigérant¹.

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-Meysses, 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.

Dans la suite du document, le terme « centrale nucléaire » est préféré à CNPE, étant entendu qu'il désigne le même objet.

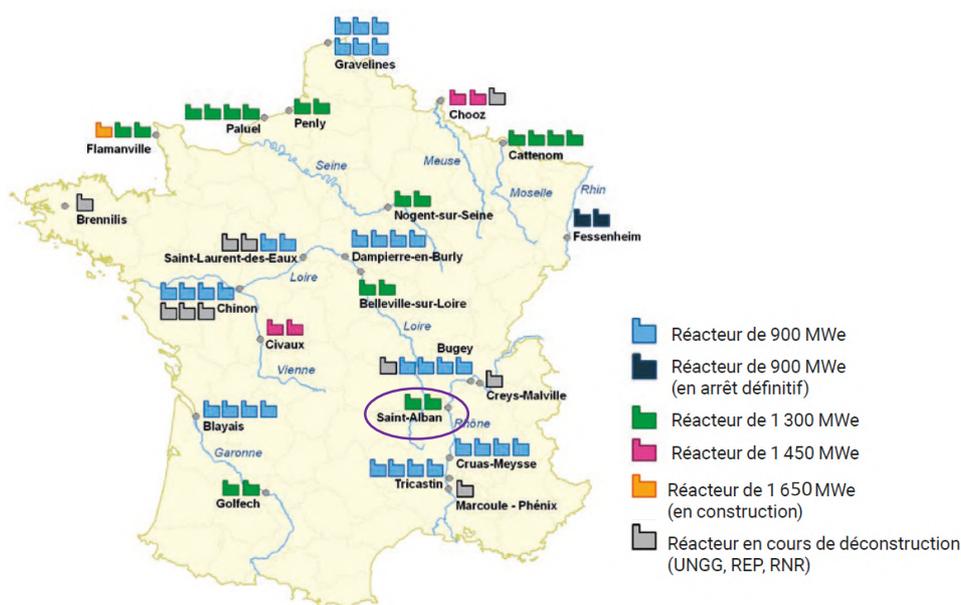


Figure 1. Localisation des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) d'EDF en exploitation, en arrêt définitif, en cours de démantèlement, nombre et puissance des réacteurs en exploitation

RADIONUCLÉIDES REJETÉS PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

L'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents liquides et gazeux (Figure 2). Certains de ces effluents contiennent des substances radioactives (radionucléides²) 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 [5][6][7][8]. Les rejets radioactifs sont de manière générale très inférieurs aux autorisations de rejets accordées par l'ASN (Tableau 1).

¹ Aéroréfrigérant : l'eau du circuit de refroidissement peut être refroidie au contact de l'air circulant dans de grandes tours, appelées aéroréfrigérants.

² Radionucléide : isotope radioactif d'un élément (Exemples : le tritium, isotope radioactif de l'hydrogène ; le carbone 14, isotope radioactif du carbone).

).

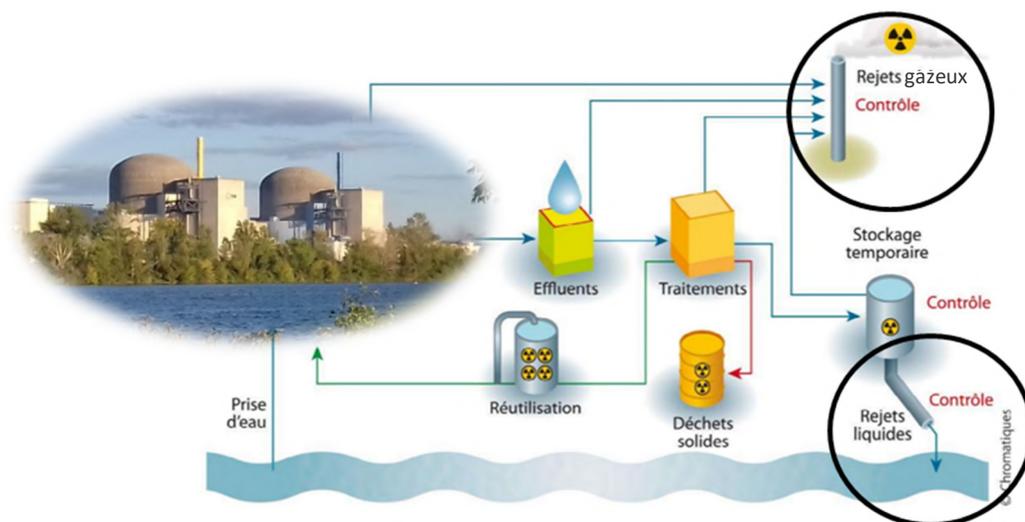


Figure 2. Illustration simplifiée des circuits de rejets liquides et gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil

Parmi les substances radioactives susceptibles d'être présentes dans les rejets d'effluents d'une centrale nucléaire en fonctionnement normal, on distingue [9]:

- Les produits de fission (PF) comme l'iode 131 et le césium 137 qui sont créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ;
- Les produits d'activation (PA) qui 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** ;

Le tableau 1 présente les activités (en Gigabecquerel³) rejetées par voies liquides par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil entre 2019 et 2021 [10][11][12]. Le tritium et le carbone 14 sont les principaux radionucléides présents dans les rejets d'effluents liquides. Ces rejets sont relativement stables depuis plusieurs années [13].

Tableau 1. Rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2022 (d'après [10][11][12])

Rejets d'effluents radioactifs liquides		Limites réglementaires annuelles	Activités rejetées			
			2019	2020	2021	2022
Tritium	GBq	80000	62100	48570	55850	51500
Carbone 14	GBq	190	20,3	18,7	29	38,6
Iodes	GBq	0,1	0,011	0,012	0,019	0,0188
Autres PF-PA	GBq	10	0,332	0,415	0,359	0,381

³ 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.

A NOTER

Le rapport « historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban » [13], 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 Saint-Maurice l'Exil. Ce document réalisé en amont du lancement de l'étude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil précise qu'aucun événement significatif pour l'environnement (ESE) déclaré sur les 10 dernières années par l'exploitant n'a été de nature à occasionner un marquage significatif et persistant de l'environnement.

RAPPELS SUR LES PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES MESURÉS EN MILIEU AQUATIQUE

Origine des radionucléides mesurés en milieu aquatique

Les sources de radioactivité artificielle conduisant à la présence de radionucléides dans les milieux aquatiques sont multiples, tant sur leur origine initiale (radionucléides naturels, retombées atmosphériques anciennes des essais d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl, rejets industriels et médicaux, rejets d'effluents d'installations nucléaires, etc...) que sur leur intégration au système fluvial (apports indirects par lessivage et érosion des sols du bassin-versant, apports directs par les rejets effectués dans le fleuve et/ou ses affluents, etc...)

Si dans les années 1980 à 2000, de nombreux radionucléides étaient mesurés dans les eaux du Rhône, il n'en va plus de même actuellement. L'ancienneté des retombées atmosphériques globales (des essais d'armes nucléaires effectués entre 1945 et la fin des années 1980 et de l'accident de Tchernobyl survenu en 1986) d'une part, et l'amélioration des processus industriels dans le milieu nucléaire conduisant à une baisse des volumes et des activités rejetées dans l'environnement d'autre part, ont conduit à une diminution sensible du nombre de radionucléides décelables dans l'environnement et/ou à une diminution de leur activité volumique dans les eaux du fleuve.

Parmi les radionucléides d'origine artificielle encore mesurables en milieu aquatique se trouvent le tritium et le carbone 14, systématiquement décelables, et quelques radionucléides émetteurs gamma (césium 137, cobalt 58 et 60, argent 110 métastable) dont la présence est cependant irrégulière dans le temps et selon le type d'échantillons prélevés.

Comportement dans l'environnement aquatique des principaux radionucléides d'intérêt pour cette étude

Le tritium [14] à [17]

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 (H₂O) et de la matière organique (CHONPS⁴), 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'origine naturelle et artificielle. Le tritium cosmogénique 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 (H₂O) tritiées. Par ailleurs, le tritium a été massivement produit et introduit dans l'environnement lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Il est en outre l'un des deux radionucléides les plus rejetés dans les effluents liquides et gazeux des installations nucléaires.

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 et animaux. Les échanges sont très rapides et tendent à établir un équilibre d'activité entre ces composantes. Ainsi, **on considère que l'activité volumique d'eau tritiée (HTO) dans un échantillon de plante aquatique est égale à l'activité volumique moyenne d'eau tritiée (HTO) dans le fleuve ou la**

⁴ CHONPS est un acronyme 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.

rivière au cours des heures qui ont précédées son prélèvement. Dans les végétaux, lors de la photosynthèse⁵, le tritium organiquement lié (TOL) est produit à partir du tritium libre (HTO) présent dans l'eau. **On considère que l'activité volumique de TOL dans un végétal aquatique est égale à l'activité volumique moyenne de HTO dans l'eau dans laquelle il s'est développé.** L'activité volumique de HTO dans une plante peut s'exprimer en Bq/L d'eau de dessiccation (Bq/L_{ed}) et celle du TOL en Bq/L d'eau de combustion⁶ (Bq/L_{ec}). Dans la suite du document, les activités sont exprimées en **Bq/L** quel que soit le mode utilisé pour extraire l'eau des échantillons (par dessiccation ou par combustion).

Les animaux incorporent du tritium principalement par l'ingestion d'aliments solides (HTO et TOL) et par l'eau (HTO)[16]. **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 son prélèvement.**

Le carbone 14 [18] à [20]

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 de 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 utilisées pour les mesures de routine (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 pour 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. Par ailleurs, le carbone 14 a été massivement produit et introduit dans l'environnement lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Enfin, le carbone 14 est, comme 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 ¹⁴CO₂ dissous et carbonates dans les eaux) ou organique (¹⁴CH₄ dans l'air), l'autre sous forme de matière organique constituée de composés carbonés 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 par la chaîne alimentaire. Les animaux incorporent du carbone 14 par ingestion de matière organique (végétale ou animale) et rejettent 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 équivaut à l'activité moyenne de l'eau dans lequel ils vivent, si cette activité est relativement constante, ce qui est globalement le cas à l'échelle d'une année et pour un tronçon de cours d'eau en dehors de toute influence anthropique locale. Néanmoins, en milieu aquatique continental, les sources de carbone étant diverses et variables à l'échelle d'un hydrosystème, la définition d'un niveau moyen est plus difficile qu'en milieu terrestre. Ainsi, chaque section de rivière, fleuve, etc. étudiée devrait faire l'objet d'une détermination de l'activité moyenne du carbone 14.

Le transfert du carbone 14 au sein du réseau trophique s'opère ensuite via la production primaire des végétaux, au cours de laquelle il est incorporé à la majorité des biomolécules lors de la photosynthèse. Les transferts aux espèces aquatiques animales se fait ensuite par ingestion et assimilation de nourriture [17]. In fine, le carbone 14 présent dans les poissons peut être transféré vers la population locale lorsqu'elle consomme ces poissons.

Les émetteurs gamma

Les radionucléides émetteurs gamma actuellement mesurés dans quelques échantillons (sédiments, végétaux et poissons) appartiennent tous à la famille des métaux et sont principalement issus des rejets d'effluents effectués par les centrales nucléaires avec en plus et seulement pour le césium 137, un apport lié à l'érosion des sols du bassin versant rhodanien qui ont reçu les retombées atmosphériques globales (accident de Tchernobyl, essais aériens d'armes nucléaires). Les activités mesurées dans l'environnement sont faibles, voire inférieures aux seuils de décision atteignables par les moyens métrologiques de l'IRSN. Les principaux radionucléides mesurés en milieu aquatique sont le césium 137, le cobalt 58, le cobalt 60 et le manganèse 54. Hormis le césium 137, décelé quasi systématiquement dans les sédiments, végétaux et poissons, les autres radionucléides sont détectés de manière sporadique, uniquement dans les sédiments et les végétaux.

⁵ 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.

⁶ L'eau de combustion est l'eau récupérée lors de la combustion de la matière organique sèche.

Notion de « bruit de fond » radiologique

La connaissance du « bruit de fond » est nécessaire lorsque l'on cherche à évaluer l'influence des rejets de radionucléides d'une installation nucléaire sur son environnement. En effet, l'approche mise en œuvre pour déterminer l'activité mesurée dans l'environnement imputable aux rejets radioactifs d'une centrale nucléaire consiste à comparer les mesures acquises dans des échantillons potentiellement soumis à ces rejets à celles d'échantillons prélevés hors influence de rejets d'installations nucléaires.

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 persistance dans l'environnement de radionucléides artificiels issus d'activités ou d'accidents passés et qui ont concerné tout ou partie du territoire/de la zone d'étude (ex. : retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires, retombées de l'accident de Tchernobyl, industrie horlogère, etc.).

Un rapport IRSN paru récemment détaille pour les principaux radionucléides présents dans l'environnement et pour les principales natures d'échantillons analysés, le bruit de fond des radionucléides artificiels [21]. Les principales informations à connaître pour mieux cerner l'influence des rejets d'effluents liquides de la centrale nucléaire de Saint Alban Saint-Maurice l'Exil sont présentées à la suite.

Le tritium

En dehors de l'influence d'une installation nucléaire, le tritium présent en milieu terrestre et aquatique provient de celui contenu dans l'eau atmosphérique (vapeur d'eau et eau de pluie). Le bruit de fond du tritium atmosphérique est en lente diminution depuis les valeurs maximales observées en 1963 au plus fort des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Sur la période 2019-2021 durant laquelle a été menée la présente étude, le bruit de fond en tritium dans l'air se situait autour de 1 Bq/L (voir rapport ERS terrestre).

Le tritium présent dans les eaux souterraines résulte de l'infiltration des eaux pluviales ou de la pénétration d'eau de surface (cours d'eau). L'activité du tritium diminuant de moitié tous les 12 ans par décroissance radioactive, la teneur en tritium des eaux souterraines dépend de l'ancienneté de cette infiltration et donc du temps de séjour dans les nappes. Une nappe située proche de la surface du sol et régulièrement alimentée par les pluies, présentera une teneur en tritium proche de celle des eaux pluviales (soit autour de 1 Bq/L ces dernières années). A l'inverse, dans les eaux d'une nappe phréatique très profonde et protégée des apports extérieurs, l'activité du tritium peut être 10 fois, voire 100 fois plus faible.

A sa source, l'activité volumique du tritium dans l'eau d'une rivière est proche de celle de l'eau souterraine qui en est à l'origine. Elle peut donc être très inférieure au bruit de fond atmosphérique. Avec l'éloignement de la source, les échanges rapides avec la vapeur d'eau de l'air et les apports pluviaux vont amener cette activité à augmenter pour se rapprocher du bruit de fond atmosphérique. Ainsi et à titre d'exemple, des mesures réalisées entre 2014 et 2016 dans 17 petits cours d'eau du sud de la France ont montré des activités de tritium comprises entre 0,12 et 0,86 Bq/L. Il est aussi possible que sur une partie de son cours, un cours d'eau soit alimenté par une nappe phréatique ce qui peut contribuer à faire baisser l'activité de tritium par dilution.

Ces exemples rapides permettent d'illustrer la difficulté pour établir précisément l'activité du tritium organiquement lié en milieu aquatique. C'est pourquoi, il est en général préconisé de mesurer des échantillons témoins dans la zone d'étude pour établir un bruit de fond local.

Quant au tritium organiquement lié mesuré dans les organismes vivants, on considère en général qu'il est en équilibre avec l'activité moyenne du tritium libre du milieu ambiant au cours de la période de croissance de l'organisme. Toutefois, en milieu aquatique, des activités de tritium lié supérieures à celles de tritium libre peuvent être observées du fait de la présence de matière organique anciennement formée (à un moment où les activités de tritium dans l'air étaient plus importantes que de nos jours (du fait des retombées des essais d'armes nucléaires).

Ainsi, contrairement aux milieux atmosphérique et terrestre pour lesquels on dispose d'un bruit de fond du tritium de référence, en milieu aquatique, il est préconisé de réaliser des mesures locales afin de le préciser.

Le carbone 14

Contrairement au milieu atmosphérique ou terrestre, où la teneur en CO₂ de l'air peut être considérée en moyenne comme relativement homogène conduisant à une activité de carbone 14 par unité de masse de carbone homogène à l'échelle planétaire, le carbone 14 présent en milieu fluvial peut être dilué par les carbonates présents dans les hydrosystèmes et qui sont dépourvus de carbone 14. Par ailleurs, la teneur en carbonates très variable d'un cours d'eau à l'autre, voire d'un tronçon de cours d'eau à l'autre, du fait des terrains traversés par les systèmes hydrologiques et par les apports des affluents, entraîne une variabilité des activités de carbone 14 au sein des hydrosystèmes.

Ainsi, le bruit de fond du carbone 14 en milieu fluvial est presque toujours inférieur au bruit de fond établi pour le milieu terrestre qui se situait autour de 224 Bq/kg de carbone durant la période où a été menée l'étude. Sur le Rhône, les mesures acquises depuis une dizaine d'années permettent d'estimer que le **bruit de fond du carbone 14 est compris entre 180 et 210 Bq/kg C**. Cette variabilité spatiale implique de devoir déterminer localement le bruit de fond ambiant du carbone 14, ce qui n'est pas toujours aisé sur le Rhône compte-tenu de la succession d'installations nucléaires rejetant du carbone 14 d'une part et de l'apport de carbonates dépourvus de carbone 14 par les nombreux affluents d'autre part.

Emetteurs gamma

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 issues des masses d'air contaminées par l'accident de Tchernobyl (1986) [21]. En milieu aquatique continental, le césium 137 provient essentiellement du drainage des sols. Il est essentiellement présent sous forme particulaire [23] ; [24]. On le mesure dans les sédiments, la flore et la faune aquatique. Etant un analogue chimique du potassium, le césium est un élément très mobile dans l'environnement et peut donc être transféré d'un compartiment à l'autre (sédiments vers végétaux ; le long de la chaîne trophique par ingestion, etc.) [25]. Les cobalts 58 et 80 et le manganèse 54, mesurés dans les milieux aquatiques sous influence des rejets d'installations nucléaires, ne sont pas mesurables à distance des installations (on considère que le bruit de fond de ces radionucléides est proche de 0).

LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

Le plan de surveillance de l'environnement consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyses, dans les différents milieux de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (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 objectifs⁷ de cette surveillance sont de détecter dans l'environnement les radionucléides présents dans les rejets liés au fonctionnement normal de l'installation, 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 à ne pas dépasser quand elles existent, soit à des valeurs repères (seuil de décision⁸, analytiques ou de quantification ou bruit de fond environnemental, 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 évaluer de manière plus précise l'influence potentielle des rejets radioactifs du site sur les différents milieux de l'environnement.

La surveillance de l'environnement du site de Saint-Alban est réalisée par différents acteurs. Au premier rang d'entre eux se trouve EDF qui doit se conformer aux exigences réglementaires définies par l'ASN dans sa décision 2014-DC-0469 du 2 décembre 2014 [6] et synthétisées dans le tableau 2. Pour le milieu aquatique, la surveillance réglementaire repose sur des prélèvements d'eau du Rhône à fréquence quotidienne en aval du point de rejet des effluents liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. Ces analyses quotidiennes sont renforcées par des prélèvements d'eau à chaque rejet, ainsi que par des prélèvements de sédiments, flore et faune à fréquence annuelle. Les radionucléides recherchés sont le tritium (sous forme libre ou organiquement lié), le carbone 14 et les radionucléides émetteurs gamma (Césium 137, Cobalt 58 et 60, Iode 131, etc.).

La fréquence d'analyse des échantillons collectés varie selon l'objectif de surveillance recherché. Ainsi, les eaux du Rhône sont mesurées à fréquence quotidienne pour assurer que les résultats obtenus restent conformes aux prescriptions réglementaires, notamment lorsque le site réalise des rejets d'effluents radioactifs. Certains prélèvements, effectués à fréquence plus lâche (ex. végétaux, poissons), ont pour objectif réglementaire de s'assurer que les rejets chroniques d'effluents radioactifs n'induisent pas d'augmentation, voire d'accumulation dans ces indicateurs biologiques. Ces analyses permettent également à EDF de réaliser un suivi à long terme de l'état radioécologique des milieux aquatiques environnant.

De son côté, l'IRSN réalise une surveillance du milieu aquatique qui vise à évaluer l'influence potentielle du fonctionnement normal de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur son environnement. Cette surveillance s'appuie sur des prélèvements d'eau et de matières en suspension réalisés à la station multi-paramètre située en aval du point de rejet

⁷ Parmi les autres objectifs se trouvent : l'information des populations, la conformité entre les résultats mesurés et ceux attendus suite à l'étude d'impact et le respect des dispositions réglementaires

⁸ Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir la mesure d'un échantillon pour que le métrologue puisse « décider » que cette activité est présente et donc mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est donc trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens métrologiques utilisés.

des effluents radioactifs de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. Le tritium est recherché dans une aliquote de l'échantillon d'eau collecté tous les 6 jours et composés de prélèvements réguliers sur la période. Les MES sont analysées à fréquence mensuelle pour y rechercher les radionucléides émetteurs gamma. Cette surveillance, qui comprend moins d'échantillons et d'analyses que celle de l'exploitant, met en œuvre une métrologie plus performante qui permet d'atteindre le plus souvent le bruit de fond des radionucléides recherchés ou, a minima, de mesurer de faibles activités.

Les résultats acquis dans l'environnement sont disponibles sur le site du réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement. Ils permettent de mettre en évidence la présence de radionucléide issus pour tout ou partie des rejets de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil dans divers échantillons du milieu aquatique. Les paragraphes suivants synthétisent les informations rassemblées dans le rapport qui présente l'historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban [13].

Des résultats acquis par la CRIIRAD sur le milieu aquatique rhodanien lors de différentes études réalisées dans les années 2000 ont également été examinés pour cet état des lieux radiologique [26] à [28].

Tableau 2 – Plan de surveillance prévu pour le milieu aquatique dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'exploitant

Milieu	Point de prélèvement	Tritium libre	Tritium organiquement lié	Carbone 14	β global	Spectrométrie γ
Eaux de surface	Station multi-paramètre aval	1 / jour ⁹ A chaque rejet ¹⁰			1 / jour A chaque rejet	
Eaux de surface	Plan d'eau de Saint-Pierre de Bœuf	1/an				
Sédiments	Amont					1/an
	Aval					1/an
Végétaux aquatiques	Amont	1 / an	1 / an			1 / an
	Aval	1 / an	1 / an			1 / an
Poissons	Amont	1 / an	1 / an	1 / an		1 / an
	Aval	1 / an	1 / an	1 / an		1 / an
Eau de nappe	19 piézomètres		Selon piézomètre		Selon piézomètre	
Eaux de boisson	Pompage de Saint-Pierre-de-Bœuf	1 / an			1 / an	

Radionucléides émetteurs gamma

Le césium 137 décelé quasi systématique en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil est très probablement hérité des retombées atmosphériques globales (tirs et accident de Tchernobyl) car les activités mesurées en amont sont équivalentes à celles mesurées en aval. Les données acquises dans les échantillons de poissons depuis 1986 par l'IRSN montrent en effet une baisse continue des activités mesurées à l'amont comme à l'aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. En revanche, dans les sédiments et les végétaux prélevés en aval du point de rejets des effluents liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, la détection fréquente de ⁵⁸Co, ⁶⁰Co ou ^{110m}Ag, spécifiques du fonctionnement des centrales nucléaires, témoignent de l'influence de ces rejets dans le milieu aquatique environnant. Notons cependant que la détection de ces radionucléides est également observée sporadiquement dans des échantillons prélevés en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, ce qui indique une influence à

⁹ Aliquote moyen journalier

¹⁰ Echantillon horaire, pris à mi-rejet, à chaque rejet d'effluents radioactifs liquides

longue distance des rejets liquides réalisés par la centrale nucléaire du Bugey et par celle en déconstruction de Creys-Malville, toutes deux situées en amont de Saint-Alban.

Tritium

Le tritium, sous ses formes libres (HTO) ou organiques (TOL) est systématiquement mesurés dans les échantillons prélevés en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil du fait des rejets d'effluents liquides réalisés par le site. Toutes les matrices surveillées présentent une activité de tritium supérieures à celles mesurées à l'amont, notamment pour le tritium organiquement lié (TOL) qui est davantage représentatif des niveaux moyens de tritium présents dans le fleuve que le tritium libre (HTO), ce dernier évoluant plus rapidement dans les indicateurs surveillés du fait de sa cinétique rapide, très proche de celle de l'eau. Il faut également souligner que les échantillons prélevés en amont de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil présentent déjà une activité de tritium organiquement lié supérieure par rapport à ce qui est attendu dans un environnement non soumis à des rejets d'effluents radioactifs. Ces résultats permettent de mettre en évidence l'influence à longue distance des rejets de tritium de la centrale nucléaire du Bugey et, dans une moindre mesure, de ceux du site en déconstruction de Creys-Malville, tous deux situés plusieurs dizaines de kilomètres en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Dans les eaux souterraines, les résultats de mesure montrent la présence de tritium mais les incertitudes associées à ces mesures ne permettent pas de discriminer les différentes sources de tritium (apports par le Rhône amont, influences des rejets d'effluent gazeux dans l'atmosphère et d'effluents liquides dans le Rhône effectués par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil).

Carbone 14

Les résultats issus de la surveillance réalisée par EDF sur les indicateurs biologiques témoignent d'un marquage net de carbone 14, notamment dans les muscles de poissons (parties consommables). Sur la décennie 2012-2021, les activités mesurées dans les poissons capturés en aval du point de rejets des effluents radioactifs sont en moyenne 1,5 fois plus élevées que celles mesurées dans les poissons capturés en amont. Comme pour le tritium, on note que les échantillons amont présentent déjà des activités de carbone 14 supérieures à celles caractérisant le bruit de fond de ce radionucléide à distance de toute installation nucléaire. Ce marquage amont est à mettre en relation avec les rejets des sites de Bugey et de Creys-Malville.

QUALITE RADIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DESTINEES A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES POPULATIONS VOISINES ET A L'IRRIGATION DES CULTURES

OBJECTIFS VISES PAR L'ETUDE

Le principal objectif de cette étude était de caractériser l'influence potentielle des rejets atmosphériques et liquides de tritium de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur la qualité radiologique des eaux souterraines et notamment les eaux destinées à l'irrigation (maraichage et arboriculture) et à la consommation humaine dans les communes avoisinantes. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont également permis de disposer de données locales pour affiner l'estimation des doses susceptibles d'être reçues par la population locale qui consomme l'eau du robinet.

Le programme d'étude s'est appuyé sur les connaissances relatives à l'hydrogéologie et l'exploitation des eaux souterraines dans la zone d'étude (Figure 3 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ainsi qu'à la dispersion dans l'environnement des rejets radioactifs atmosphériques et liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui sont susceptibles d'atteindre les ressources en eaux souterraines autour du site.

Un plan de prélèvement et d'analyse des eaux souterraines a été construit pour :

- Caractériser l'éventuelle présence de tritium dans les eaux souterraines (atmosphériques et liquides) ;
- Pouvoir discriminer l'influence des rejets de la centrale avec d'éventuels marquages déjà présents dans le Rhône, du fait notamment des rejets de la centrale du Bugey ;
- Intégrer la variabilité des conditions d'alimentation ou d'exploitation des nappes d'eaux souterraines ;
- Cibler les usages des eaux souterraines qui peuvent occasionner un transfert de radioactivité vers les activités humaines (irrigation, alimentation en eau potable, etc.)

D'un point de vue opérationnel, cette étude s'est focalisée uniquement sur le tritium. En effet, ce radionucléide est d'une part le principal radionucléide rejeté en termes d'activité totale (hors gaz rares qui ne sont pas susceptibles d'affecter les eaux souterraines) et d'autre part en raison de sa mobilité/rapidité d'échange, le tritium y étant présent sous forme de molécules d'eau.

CHOIX DES POINTS DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES ET MOYENS MIS EN ŒUVRE

Contexte géologique et hydrogéologique local

Dans le secteur de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, le contexte géologique est relativement complexe. Les formations géologiques présentes autour du site sont, en fonction de leurs caractéristiques physiques (porosité, perméabilité), plus ou moins favorables aux écoulements souterrains. Parmi les circulations d'eau qui s'opèrent dans la zone d'étude, on retiendra notamment que dans la vallée du Rhône, la principale nappe est constituée par la nappe d'accompagnement du Rhône. Du fait de sa position altimétrique, la nappe alluviale du Rhône est alimentée par les coteaux (terrasses alluviales, nappe de la molasse et les apports des nappes de socle). Elle est également alimentée par l'infiltration d'eau pluviale et par les cours d'eau, le Rhône et ses affluents locaux (Varèze et Sanne). Il est à noter que les conditions naturelles d'alimentation ou de drainage de la nappe alluviale par le Rhône ont été modifiées par les aménagements hydroélectriques de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Avec l'aménagement hydroélectrique du cours du Rhône en 1977, la création des retenues d'eau a rehaussé le fil d'eau du Rhône en amont des barrages et des contre-canaux ont été mis en place le long des rives du Rhône et du canal de dérivation pour limiter les modifications de niveau de la nappe phréatique (figure 4).

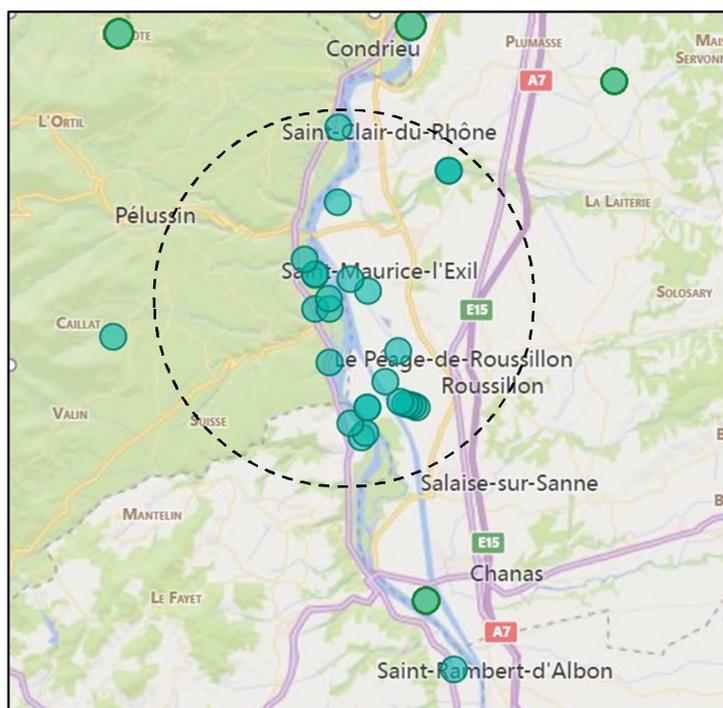


Figure 3 - Zone d'étude pour les eaux souterraines.

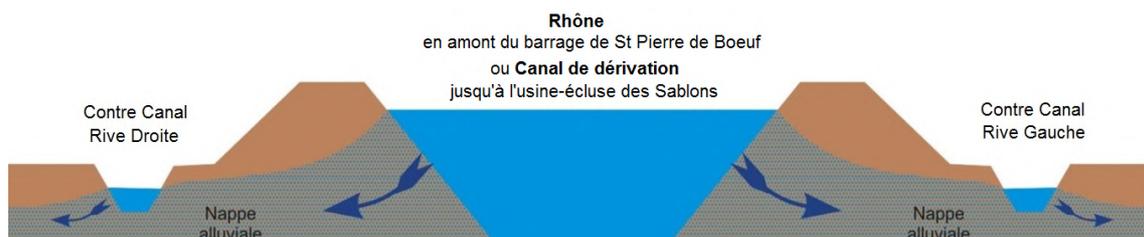


Figure 4 - Schéma des relations Rhône aménagé-Nappe alluviale en présence des contre-canaux.

Il en résulte qu'à partir de Saint-Michel-sur-Rhône (en rive droite) et à Saint-Alban-du-Rhône (en rive gauche), la nappe est en permanence réalimentée par le fleuve, mais dans des proportions dépendantes de la nature des matériaux utilisés pour constituer ces digues (graviers à limons).

Dans une telle configuration, les eaux captées dans la nappe alluviale sont potentiellement sous l'influence des eaux du Rhône. L'examen des niveaux de la nappe alluviale dans la plaine a cependant montré que l'influence des fluctuations du niveau dans le canal de dérivation du Rhône ne se fait sentir que sur des ouvrages d'alimentation en eau potable proches et que l'alimentation par les terrasses devient prépondérante à mesure que l'on s'éloigne du fleuve.

Stratégie et méthode de prélèvement

Afin de permettre une évaluation de l'exposition de la population via l'utilisation de l'eau, le choix a été fait d'effectuer les prélèvements, non pas au moyen du réseau de piézomètres de surveillance, mais à partir de captages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) et à l'irrigation.

La sélection des points d'intérêt a été fondé sur un recensement des prélèvements d'eau dans les différentes communes ciblées (www.bnpe.eaufrance.fr), l'identification des captages destinés à l'AEP dans ces communes (www.ades.eaufrance.fr) et la collecte des informations relatives aux forages (www.infoterre.fr). Pour la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, le recensement des points d'intérêt a été facilité par le travail conduit pour la gestion de la nappe alluviale du Rhône court-circuité dans le secteur compris entre les communes de Saint-Maurice-l'Exil/Saint-Pierre-de-Bœuf et Saint-Rambert-d'Albon/Peyraud [29] et [30]. Le travail d'identification des ouvrages a été complété par une rencontre avec les différents gestionnaires de réseau d'eau afin de confirmer la validité des informations recueillies dans les bases de données et identifier les évolutions intervenues : regroupement de syndicats des eaux, changements d'exploitants, arrêts ou remplacement de certains captages... Ces éléments ont permis d'établir le plan de suivi détaillé ci-après.

Compte tenu du caractère saisonnier du régime hydraulique du Rhône et des régimes de prélèvement (cas de l'irrigation), le suivi a été réalisé mensuellement pendant une année, d'octobre 2020 à octobre 2021, sur une dizaine de points de pompage ciblés en fonction de l'influence possible des rejets de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. Ce suivi a été complété par des prélèvements ponctuels sur d'autres ouvrages de captage et plusieurs points du réseau de distribution d'eau potable.

La localisation de la zone d'étude et des points de prélèvements est indiquée sur la figure 3. La plupart des points sont implantés dans un rayon de 5 km autour de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (cercle en pointillé).

Points pour un suivi mensuel

Pour le suivi mensuel des eaux souterraines, on distingue :

- Huit points sélectionnés en fonction de leur position par rapport à l'émissaire des rejets liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (amont, aval), à la rive du fleuve (sensibilité à la dilution dans le Rhône) et à leur distance par rapport à la rive la plus proche ;
- Deux points de référence viennent compléter ce programme, avec un piézomètre de surveillance d'EDF implanté au Sud du chenal de rejet sur la limite aval du site (référence centrale) et un captage captant la nappe alluviale de la Varèze (référence naturelle).

Le tableau 3 définit les caractéristiques des points concernés et les influences potentielles que cette étude a pour objectif d'identifier.

En pratique, le suivi d'ouvrages équipés de moyens de pompage permanents dans des périmètres protégés a conduit l'IRSN à se rapprocher des exploitants pour définir le mode de prélèvement le plus adapté. Ainsi, la plupart des prélèvements ont été réalisés à proximité du puits de pompage, sur des robinets accessibles en extérieur, permettant de récupérer des eaux circulant entre le puits et le 1^{er} réservoir. Pour le pompage de Limony qui n'a qu'un fonctionnement limité, le prélèvement a été réalisé par l'exploitant ou par prélèvement de l'IRSN sur un piézomètre implanté à proximité.

Tableau 3 – Identification des différents points retenus pour caractériser les activités de tritium dans les eaux souterraines proches de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (A : rejets atmosphériques de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, R : rejets dans le Rhône en amont de la centrale de Saint-Alban, L : Rejets liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil)

Commune (Lieu-dit)	Usage	Exploitant	Position relative	Influences potentielles
Clonas-sur-Varèze	AEP	SIE de Chonas, Saint-Prim, Saint-Clair pour VCA	Hors vallée du Rhône	Aucune
Saint-Michel-sur-Rhône	AEP	SAUR pour la Communauté de Communes du Pilat Rhodanien	Amont CNPE, rive droite	R, (A)
Chavanay (la Petite Gorge)	AEP	SAUR pour la Communauté de Communes du Pilat Rhodanien	Face au CNPE, rive droite	R
Saint-Maurice l'Exil (les Loines)	Irrigation	ASA du plateau de Louze et de Glay	Rive gauche (amont barrage)	R, L (A)
Saint-Maurice l'Exil (l'Îlon)	Irrigation	SCEA Bogiraud	Rive gauche du canal de dérivation	R, L (A)
Le Péage-de-Roussillon (le Poulat)	Irrigation	ASA Péage de Roussillon (GAEC de Champanay)	Rive gauche du canal de dérivation	R, L (A)
Le Péage-de-Roussillon (la Cornaz)	AEP	EBER (Station de pompage des îles)	Rive gauche du canal de dérivation	R, L, (A)
Saint-Pierre-de-Bœuf (Charreton)	AEP	SAUR pour la Communauté de Communes du Pilat Rhodanien	Rive droite (amont barrage)	R, L
Le Péage-de-Roussillon (les Oves)	AEP	AAP	Rive droite du canal de dérivation	R, L, (A)
Limony	AEP	SAUR pour SERENA	Rive droite du vieux Rhône	R, L

Points de mesures ponctuelles

Le suivi mensuel a été complété avec des prélèvements ponctuels sur d'autres puits utilisés pour :

- L'alimentation en eau potable qui permet de desservir l'ensemble des communes situées dans un rayon de 10 km autour de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil :
 - o Les puits P1 à P4 de la station de pompage des îles à Péage de Roussillon, qui avec le puits P5 (suivi mensuellement) fournissent environ 50 % des eaux distribuées par le service des Eaux de la communauté de commune Entre Bièvre et Rhône (EBER) ;
 - o Les puits d'Andance et du Peyraud qui, avec le puits de Limony (suivi mensuellement), fournissent les eaux distribuées par le SERENA (exploitant : SAUR) ;
 - o D'autres captages exploités par la SAUR pour la communauté de communes du Pilat Rhodanien :
 - L'eau issue du puits de la grande gorge et de la source du Pilat à Chavanay ;
 - L'eau du réservoir des Martines à Roisey, eau traitée issue du captage des sources de Foucharat et du Pré Jeannot ;
 - L'eau qui alimente la commune de Maclas, issue du puits du Paradis (mélange de plusieurs pompes) à Saint-Pierre-de-Bœuf ;
 - o D'autres captages exploités pour Vienne Condrieu agglomération :
 - Des puits de captage situés en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil à Ampuis (exploité par la Société Cholton) et à Condrieu (exploité par SUEZ) ;
 - Un puits de captage éloigné : Les Côtes d'Arey, exploité par la Sté Cholton ;
 - L'irrigation de productions végétales qui ont été étudiées dans le cadre de cette étude radiologique de site ([1]) :
- Chavanay : verger ;
 - Saint-Alban-du-Rhône : potager de la Varèze ;
 - Saint-Pierre-de-Bœuf : potager des petites Paulinettes ;
 - Les Sablons : une station de pompage de l'ASA des Sablons au sud de l'île de la Platière.

Moyens mis en œuvre

Chaque prélèvement a donné lieu à une mesure de l'activité volumique de tritium avec des moyens métrologiques parmi les plus performants qui permettent d'atteindre des seuils de décision (valeur des activités volumiques les plus basses pouvant être mesurées) compris entre 0,1 et 0,2 Bq/L, à comparer aux seuils de décisions des mesures réglementaires qui se situent entre 5 et 10 Bq/L (mais qui répondent à des objectifs différents de ceux de la présente étude).

RESULTATS OBTENUS

Activité de tritium dans les nappes du secteur étudié

Malgré ces performances métrologiques, quatre échantillons sur 139 présentaient des activités volumiques de tritium trop faibles pour être mesurées (seuil de décision compris entre 0,14 et 0,17 Bq/L). Les résultats obtenus sont donc compris entre "moins de 0,14 Bq/L" (Arey, en juillet 2021) et 4,49 Bq/L (Limony, en décembre 2020) avec une valeur médiane de 1,55 Bq/L.

La figure 5 en donne la répartition : 83 % de résultats sont supérieurs à 0,5 Bq/L, 35 % de résultats sont inférieurs à 1 Bq/L et 63 % restent inférieurs à 2 Bq/L,

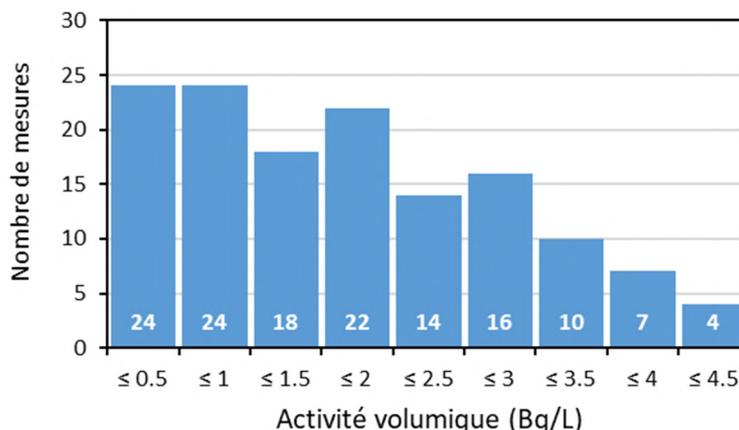


Figure 5 - Répartition des activités volumiques de tritium mesurées dans les eaux souterraines.

Comparaison au suivi des eaux du Rhône en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil

Le contexte hydrogéologique montrant que la nappe alluviale circulant en aval de la centrale nucléaire est au moins partiellement alimentée par le Rhône, il est apparu intéressant de comparer les teneurs en tritium (y compris les mesures inférieures au seuil de décision, notées "< SD") dans le Rhône à celles relevées dans les eaux souterraines.

La figure 6 présente, sur la période octobre 2020 - octobre 2021, les résultats de mesures du tritium dans l'eau du Rhône réalisés par EDF dans le cadre de la surveillance réglementaire (station de Salaise-sur-Sanne, mesures sur aliquote journalière et sur échantillon prélevé à mi-rejet) et les chroniques obtenues dans le cadre de cette étude.

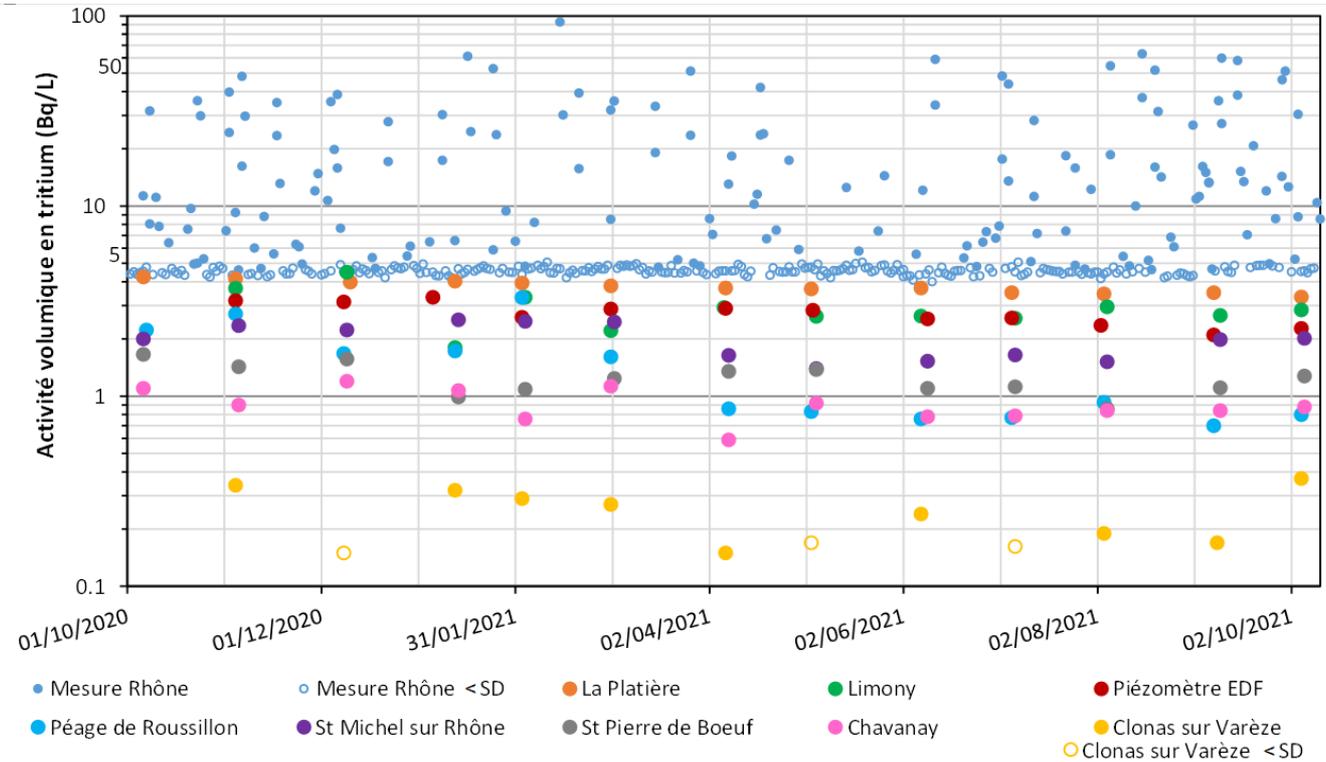


Figure 6 - Comparaison des activités volumiques de tritium mesurées dans le Rhône (aliquote journalière EDF) et dans les eaux souterraines sur la période octobre 2020-octobre 2021.

Ces résultats montrent que les teneurs en tritium des eaux du Rhône peuvent fluctuer entre 5 et 100 Bq/L pendant les périodes de rejet de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil alors que le maximum observé dans les eaux souterraines n'a pas dépassé 4,5 Bq/L (Limony, en décembre 2020). L'influence des apports d'eau du Rhône sur les teneurs en tritium des eaux souterraines est donc limitée et dépend des mécanismes d'échanges entre le Rhône et la nappe alluviale qui varient selon les points d'étude en fonction de différents paramètres (débit du Rhône et capacité de dilution, sens d'écoulement des nappes souterraines, alimentation par eaux infiltrées sur les côtes, nature des berges, porosité des sédiments, etc.)

Soulignons également d'emblée que les résultats obtenus dans les captages sous influence potentielle des rejets atmosphériques de la centrale de Saint-Alban n'apportent pas d'éléments montrant que ces rejets ont une contribution significative sur les teneurs en tritium dans les eaux souterraines. Ces résultats confirment par la mesure l'examen préalable au démarrage de cette étude qui a permis d'identifier que le contexte géologique local limite la possibilité d'entraînement du tritium par l'infiltration d'eau jusqu'à la nappe du fait de la présence de limons de débordement dans la plaine alluviale du Rhône. En effet, cette formation peu perméable est d'ailleurs à l'origine des "lônes", cours d'eau qui s'écoulent la plupart du temps sans interaction directe avec la nappe alluviale. Cependant, cette couche ne constitue pas une couverture continue sur l'ensemble de la vallée, ce qui amène à estimer que la nappe alluviale est réalimentée par l'infiltration d'eau de pluie à hauteur de moins de 10 % (d'après la modélisation [30]). En se référant à l'étude relative aux rejets atmosphériques conduite dans le cadre de l'ERS Saint-Alban qui identifie un marquage moyen mensuel n'excédant pas quelques Bq/L dans la vapeur d'eau de l'air (< 2 Bq/L à $4 \pm 2,5$ Bq/L, soit moins de 0,04 Bq/m³ d'air ; [2]), on estime que dans les zones concernées par les retombées locales des rejets d'effluents gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, les eaux souterraines ne sont susceptibles de recueillir qu'une faible fraction des rejets que les sols et la végétation n'auront pas captés. En effet, de tels niveaux d'activité volumique de l'air permettent de considérer que la quantité de tritium pouvant rejoindre les eaux souterraines, principalement lorsqu'il est mobilisé par les eaux de pluies, est très faible devant le volume

d'eau de nappe susceptible d'être concerné. Dans ces conditions, le suivi périodique des eaux souterraines, ne permet pas de discerner une potentielle influence des rejets d'effluents gazeux effectués en fonctionnement normal par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, y compris en utilisant des techniques métrologiques de meilleure sensibilité que celles utilisées pour la surveillance régulière de l'environnement.

Teneur en tritium dans l'eau potable

Les activités volumiques mesurées sur les captages d'AEP sont, en moyenne sur un an, comprises entre 0,24 Bq/L dans la nappe alluviale de la Varèze et 3,77 Bq/L dans la nappe alluviale du Rhône sur l'île de La Platière. Ces résultats confirment que les activités mesurées restent très inférieures aux limites réglementaires applicables pour le tritium. L'IRSN rappelle d'ailleurs que de telles valeurs ne sont pas détectables par les contrôles de qualité de l'eau potable réalisés par les Agences Régionales de Santé (ARS) sur les différents réseaux de distribution du secteur d'étude. En effet, l'examen des résultats obtenus par l'ARS en 2020 et en 2021 pour la recherche de tritium montre uniquement des valeurs inférieures au seuil de décision, ce dernier étant compris entre 8 et 10 Bq/L pour une valeur de référence de qualité des eaux à 100 Bq/L.

Les résultats obtenus en amont hydraulique de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil montrent que les puits de captage de Saint-Michel sur Rhône (moyenne de 1,98 Bq/L) et, dans une moindre mesure de Chavanay (moyenne de 0,91 Bq/L), sont en relation hydrogéologique avec le fleuve, avec des résultats de mesures supérieurs aux teneurs constatées sur la nappe alluviale de la vallée de la Varèze qui est, elle, hors influence des rejets de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et déconnectée du Rhône (moyenne de 0,24 Bq/L). Ces résultats supérieurs au bruit de fond obtenu dans le captage de la Varèze sont imputables aux rejets tritiés effectués par la centrale du Bugey située en amont (§2).

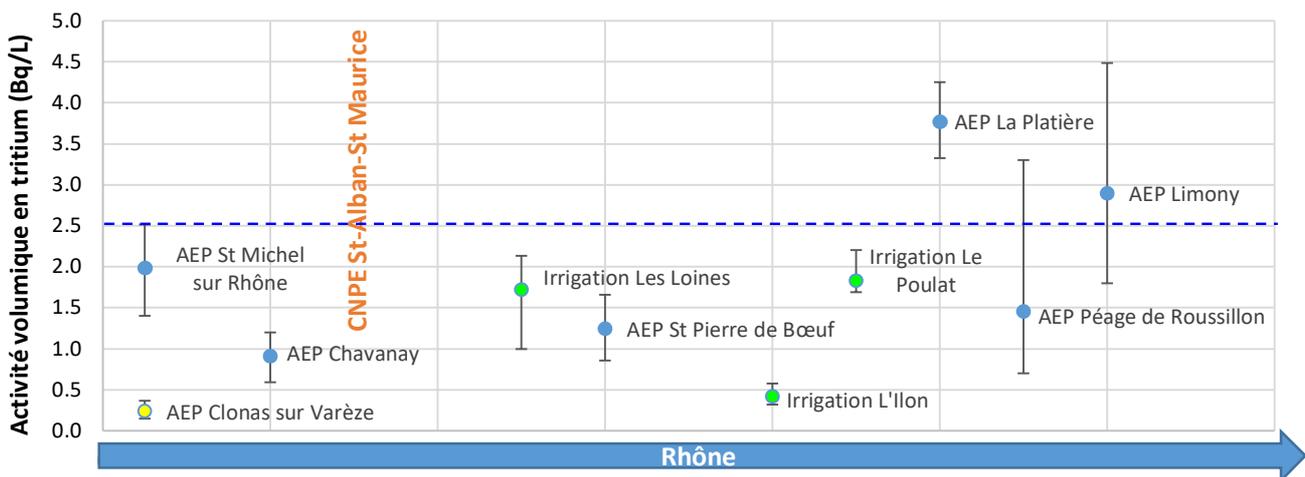


Figure 7 - Activités volumiques de tritium mesurées sur la période octobre 2020-octobre 2021 (la ligne en pointillé indique la valeur moyenne mesurée dans le Rhône en amont de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil).

Par ailleurs, si l'on compare les données obtenues en amont hydraulique de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil avec celles obtenues en aval (Figure 7), on constate que seuls 3 points de suivi situés en aval du CNPE présentent des valeurs supérieures (au moins temporairement) à ce qui est mesuré en amont (cf. ligne en pointillés bleus) du fait d'un contexte favorable à l'alimentation de la nappe par le Rhône induite par les aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône : les captages d'AEP de l'île de la Platière, de Limony et de Péage de Roussillon. L'analyse détaillée des données permet d'indiquer que seuls les captages d'AEP de l'île de la Platière et de Limony (moyennes respectives de 3,77 Bq/L et 2,90 Bq/L) apparaissent influencés par les rejets liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil dans le Rhône qui viennent s'ajouter à ceux issus de la centrale du Bugey.

Enfin, les points complémentaires ayant fait l'objet de mesures ponctuelles (en décembre ou juillet) apportent des informations similaires à celles acquises au pas de temps mensuel, permettant de compléter l'état des lieux des eaux destinées à la consommation humaine dans le périmètre d'étude.

Les valeurs maximales (moyenne des 12 mois de suivi et maximum mesuré au cours de cette période) acquises par le captage d'AEP de l'île de la Platière ont été utilisées pour calculer de manière la plus réaliste possible l'exposition des populations

vivant à proximité de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et consommant l'eau du robinet pour leur usage privé [3].

Teneur en tritium dans les eaux d'irrigation

Pour les forages d'irrigation, le suivi sur la période mai - octobre 2021 donne des valeurs moyennes comprises entre 0,41 et 1,87 Bq/L, très proches de celles obtenus dans les captages destinés à l'alimentation en eau potable des populations. Les points complémentaires ayant fait l'objet de mesures ponctuelles présentent une variabilité plus importante (0,59 et 3,38 Bq/L). La valeur maximale, mesurée dans le puits d'irrigation des Sablons au Sud de l'île de la Platière présente une teneur similaire à celle relevée sur le captage des Oves plus au Nord (AEP La Platière) qui témoignent d'apports réguliers de tritium par le Rhône, issus des rejets d'effluents liquides de Bugey auxquels viennent s'ajouter ponctuellement ceux de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Qualification du "bruit de fond" de tritium dans les eaux souterraines

Le captage dans la nappe alluviale de la Varèze (altitude 175 m), à l'Est de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, permet de disposer d'un point de suivi *a priori* hors d'influence des rejets atmosphériques ou liquides de la centrale, mais également d'autres installations nucléaires du fait de leur éloignement. Les mesures réalisées permettent de disposer d'une chronique avec des activités fluctuant entre moins de 0,15 Bq/L (3 seuils de décision sur 12 mesures) et $0,37 \pm 0,19$ Bq/L.

Les mesures ponctuelles ont permis de disposer de résultats pour d'autres points de captage éloignés de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et de la vallée du Rhône. Ces points présentent des résultats similaires à ceux relevés sur le captage de Clonas-sur-Varèze : $< 0,14$ Bq/L sur la commune des Côtes d'Arey (Vallée du Suzon à l'Est, altitude 270 m) et $0,43 \pm 0,18$ Bq/L sur la commune de Roisey dans le massif du Pilat (à l'Ouest, altitude 560 m ; Figure 8).

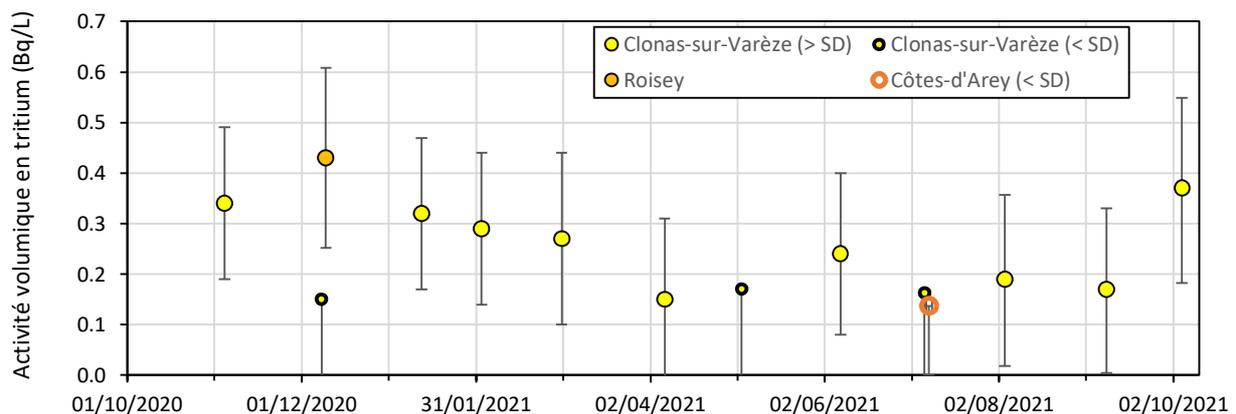


Figure 8 - Activités volumiques de tritium mesurées sur la période octobre 2020-octobre 2021 dans les zones a priori hors d'influence des rejets gazeux et liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et du Rhône.

La mise en œuvre de moyens métrologiques performants, habituellement réservés à des programmes de recherche, a permis de quantifier régulièrement le tritium présent dans l'eau de nappe de la Varèze. Bien que les limites métrologiques aient parfois été atteintes et que l'incertitude associée aux mesures obtenues sur ce point de référence soit relativement élevée (de 45% à 100% d'incertitude pour les valeurs les plus faibles), le bruit de fond du tritium dans les nappes alluviales locales peut être estimé *a priori* inférieur à **0,5 Bq/L** et pourrait même être proche de **0,1 Bq/L** si des moyens de mesure plus performants pouvaient être mis en œuvre.

CE QU'IL FAUT RETENIR DES MESURES ACQUISES DANS LES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES

Les activités volumiques de tritium mesurées sur les captages d'AEP sont, **en moyenne sur un an**, comprises entre 0,24 Bq/L dans la nappe alluviale de la Varèze et 3,77 Bq/L dans la nappe alluviale du Rhône sur l'île de La Platière. Les mesures ponctuelles issues de ces suivis ou des prélèvements réalisés sur chacun des captages permettant l'alimentation en eau des populations vivant dans un rayon de 10 km autour de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil varient de moins de 0,14 Bq/L à 4,49 Bq/L. Ces résultats de mesure restent tous inférieurs au seuil de décision de mesure du tritium des Agences Régionales de Santé (de l'ordre de 10 Bq/L) ou à la valeur de référence de la qualité de l'eau (100 Bq/L).

Le bruit de fond du tritium dans les eaux de nappes a pu être estimé comme étant de moins de 0,5 Bq/L grâce à l'emploi de techniques de mesures du tritium habituellement réservées aux programmes de recherche. Cette évaluation plus précise du bruit de fond permet d'identifier plus facilement les valeurs qui témoignent de l'influence des rejets d'effluents radioactifs des centrales nucléaires. L'analyse comparée des mesures obtenues dans le cadre de cette étude mais également par les programmes de surveillance réalisés par EDF et par l'IRSN dans le Rhône en amont et en aval des centrales nucléaires du Bugey et de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil a permis de montrer que :

- Les mesures réalisées dans les puits les plus proches de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil n'apportent pas d'éléments montrant que les rejets atmosphériques ont une contribution sur les teneurs en tritium dans les eaux souterraines ;
- **Les rejets de tritium effectués par la centrale du Bugey située en amont de celle de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sont à l'origine d'un marquage de la plupart des puits captant la nappe alluviale du Rhône ;**
- Les rejets d'effluents liquides de tritium effectués par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil ne sont pas détectables dans les points de suivi des eaux de nappes situés à l'aval proche de la centrale ;
- **Les activités de tritium supérieures dans les eaux de nappes de l'île de la Platière** et, dans une moindre mesure, **sur la commune de Limony, témoignent d'apports de tritium issus des rejets liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui viennent s'ajouter à ceux du Bugey**, à la faveur des aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône ;
- **Les résultats acquis**, bien que témoignant d'un faible apport de tritium aux eaux de la nappe alluviale du Rhône issu des rejets liquides effectués dans le Rhône par les centrales nucléaires exploitées par EDF, **sont plus précis que les seuils de détection de la réglementation sur la qualité de l'eau potable mis en œuvre par les Agences Régionales de Santé (ARS).**

Ainsi, l'ERS Saint-Alban permet de disposer de résultats précis de mesure du tritium pour évaluer le niveau d'exposition des populations au tritium induite par l'usage des eaux de la nappe alluviale du Rhône (eau potable, irrigation). Les résultats

MODÉLISATION DE LA PROPAGATION DU TRITIUM REJETÉ DANS LE RHÔNE PAR LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Pour ses besoins d'expertise, l'IRSN développe et utilise des modèles numériques de dispersion des radionucléides. Le code CASTEAURx (CALcul Simplifié des Transferts dans les cours d'EAUx Récepteurs) modélise les évolutions dans le temps et dans l'espace des concentrations des radionucléides sous forme dissoute et particulaire¹¹ rejetés en routine et/ou accidentellement dans le milieu fluvial.

Basé sur des modélisations opérationnelles, il permet de répondre rapidement à un grand nombre de questions d'expertise.

L'objectif de l'étude menée dans le cadre de l'ERS Saint-Alban a été de produire de nouvelles données de terrain pour contribuer à la calibration du code CASTEAURx dans différentes conditions hydrologiques du Rhône.

CAMPAGNES DE SUIVI DE LA PROPAGATION DES REJETS DE TRITIUM DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

Trois campagnes de suivi de la propagation le long du Rhône des rejets de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil ont été réalisées pour couvrir les trois principales conditions hydrologiques du Rhône (débit moyen, crue et étiage). Les résultats obtenus ont été confrontés aux simulations réalisées avec le code de calcul CASTEAURx.

Organisation des campagnes et résultats obtenus

Pour les besoins de cette étude, des collecteurs automatiques d'échantillons d'eau ont été disposés par l'IRSN dans les locaux des stations de surveillance d'EDF (aussi appelées stations multi-paramètre ou SMP), situées à l'amont et à l'aval du point de rejet de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (Figure 3 et Figure 4). Ces collecteurs ont été programmés pour prélever un échantillon de 500 ml d'eau brute, toutes les 2 heures et mis en route dès que le rejet d'effluents a débuté¹².

Ce sont en tout 129 échantillons qui ont pu être analysés lors de ces trois campagnes de suivi.

La 1^{ère} campagne s'est déroulée durant un rejet de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui a duré environ 11 heures entre le 7 et le 8 janvier 2021. Le Rhône présentait un débit médian de 1050 m³/s à la station d'Andancette au début du rejet (station située au sud du site).

La 2^{ème} campagne s'est déroulée lors d'un rejet de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui a duré 6h40 entre le 14 et le 15 mai 2021. Le Rhône était alors en crue (fréquence de retour annuelle), avec un débit à la station d'Andancette de 2150 m³ s⁻¹ au début du rejet.

La 3^{ème} et dernière campagne s'est déroulée lors d'un rejet de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui a duré environ 8h20 entre le 17 et le 18 octobre 2021. Le Rhône était alors en période de faible débit (ou étiage), avec un débit à la station d'Andancette de 330 m³ s⁻¹ au début du rejet.

¹¹ Par convention, la fraction dissoute correspond à l'ensemble des éléments qui sont soit sous forme solubles (minéraux et organique) soit dont la taille est inférieure à 0,45 µm. Par opposition, on retrouve dans la phase particulaire tous les éléments dont la taille est supérieure à 0,45 µm.

¹² EDF a communiqué les informations de rejets à l'IRSN pour ajuster le démarrage de l'instrumentation. Les agents d'EDF ont lancé les collecteurs d'échantillons sur demande de l'IRSN.

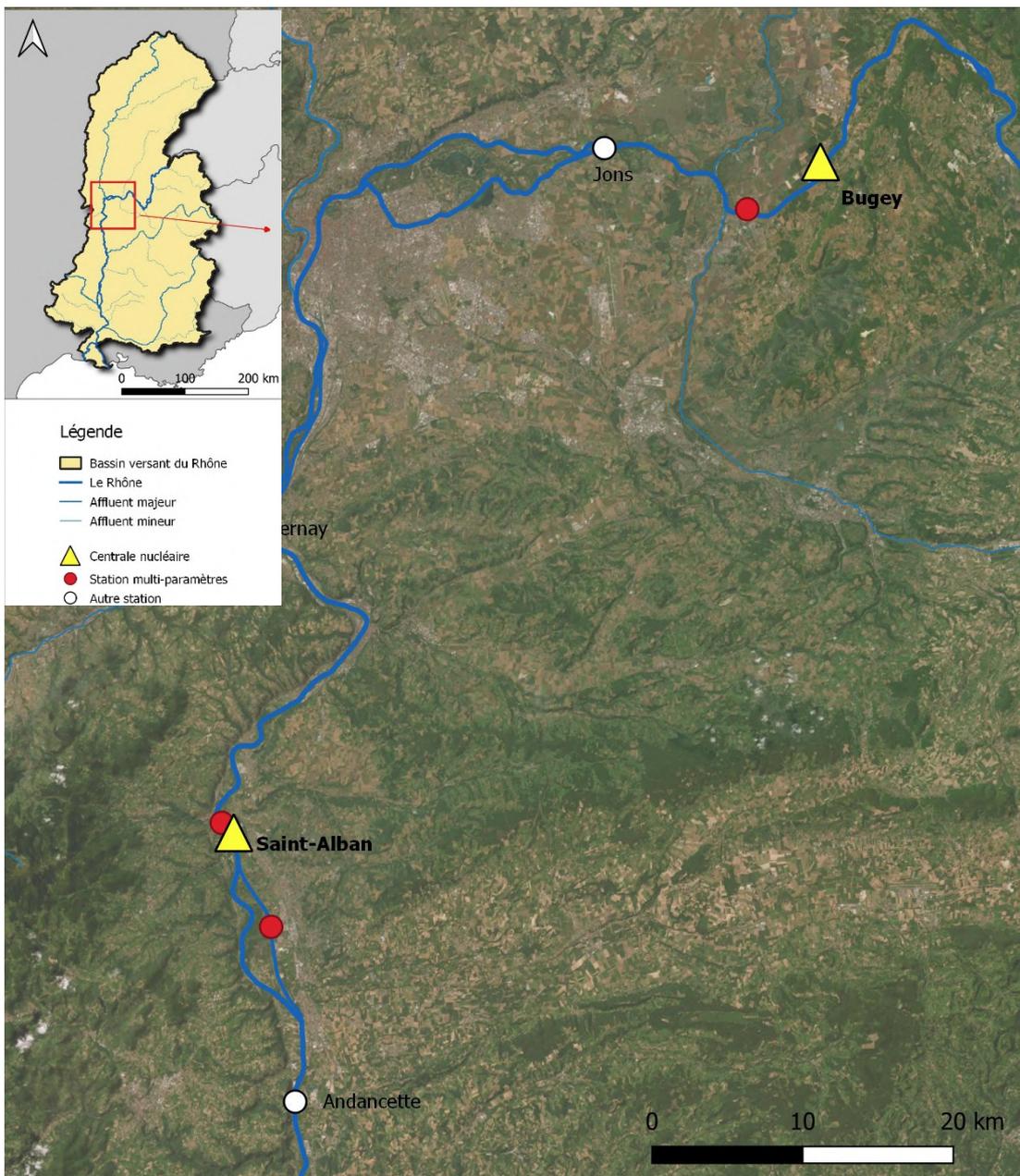


Figure 9 – Carte de localisation des stations de surveillance utilisées dans cette étude pour échantillonner les eaux du Rhône



Figure 10 - Collecteur automatique d'eau (Bülher 2000) installé aux stations amont et aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil

Les résultats acquis au cours de ces campagnes sont synthétisés dans le Tableau 4.

Tableau 4 - Synthèse des résultats acquis lors des trois campagnes de suivi d'un rejet de tritium de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

	Station	Nombre de flacons	Date de début	Date de fin	Activités moyennes (min – max) de tritium libre (Bq L ⁻¹)
Campagne 1	Amont	11	07/01/2021 17:00	08/01/2021 13:00	1,3 ± 0,5 (0,7 – 2,0)
	Aval	14	07/01/2021 10:00	08/01/2021 12:00	14,1 ± 12,5 (1,1 – 30,8)
Campagne 2	Amont	23	14/05/2021 11:00	16/05/2021 09:00	2,6 ± 1,1 (1,4 – 4,6)
	Aval	24	14/05/2021 10:00	16/05/2021 08:00	5,1 ± 4,6 (1,4 – 15,1)
Campagne 3	Amont	24	17/10/2021 11:00	19/10/2021 09:00	13,3 ± 6,4 (3,3 – 24,0)
	Aval	23	17/10/2021 10:00	19/10/2021 08:00	26,8 ± 13,8 (1,5 – 50,0)

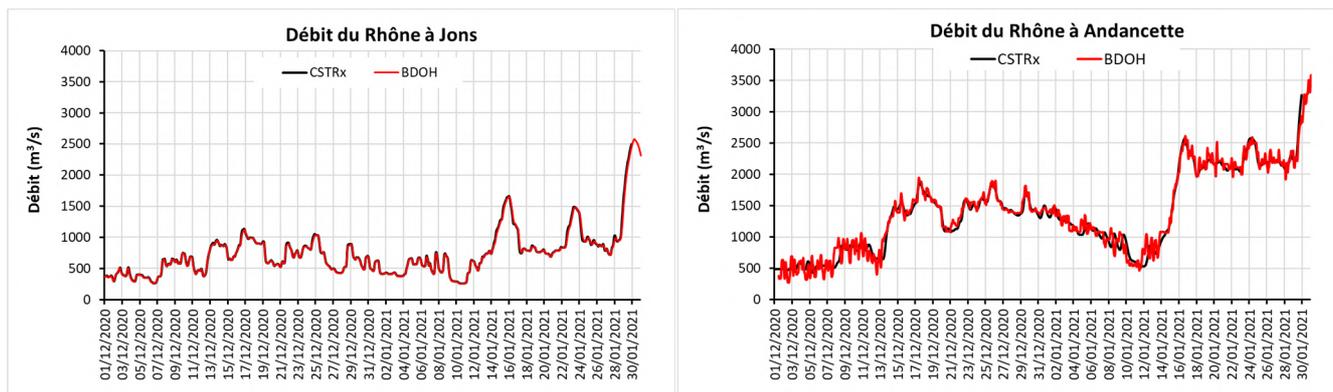
Comparaison des résultats issus des modélisations avec ceux issus de mesures réalisées dans le Rhône

Les résultats obtenus à l'aide du code CASTEAURx ont été comparés aux débits mesurés aux stations hydrologiques de référence et aux activités de tritium mesurées dans les eaux du Rhône au cours des trois campagnes de suivi.

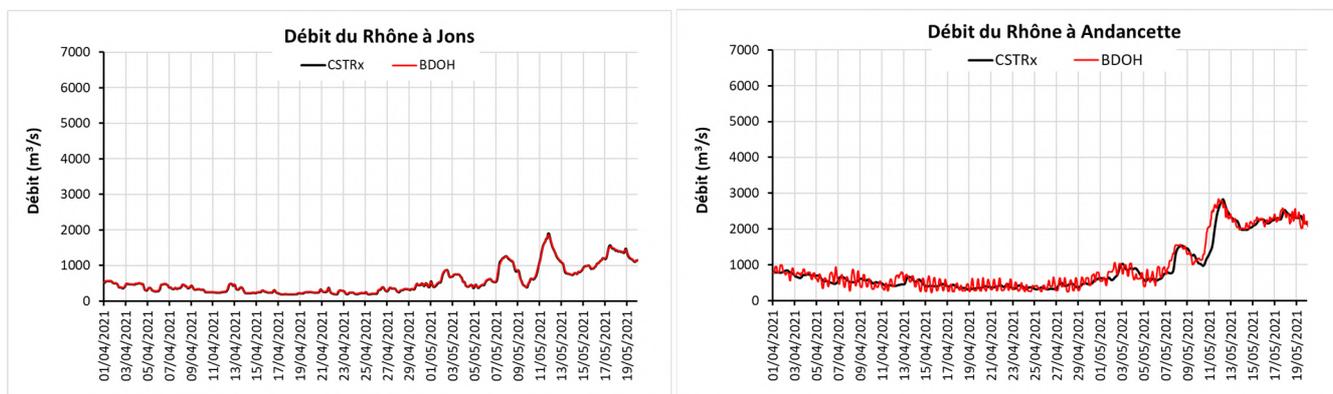
Modélisation des débits

La figure 11 présente la comparaison des chroniques de débits du Rhône modélisées et mesurées aux stations hydrologiques de Jons et d'Andancette. Pour les trois conditions hydrologiques étudiées, les débits modélisés à ces deux stations sont très proches des mesures. On note également que les chroniques de débits de la station d'Andancette montrent des oscillations journalières, liées à l'effet de la gestion des ouvrages hydroélectriques. Ces oscillations sont observées pour les trois périodes étudiées (débit moyen, crue annuelle et étiage). Par ailleurs, à cette même station, le modèle reproduit les tendances moyennes avec un retard de quelques heures pendant les phases de montée de débit pour la période de mai (crue) mais également lors de la période d'étiage au moment où le Rhône enregistre une phase de remontée des débits.

Débit moyen



Crue



Etiage

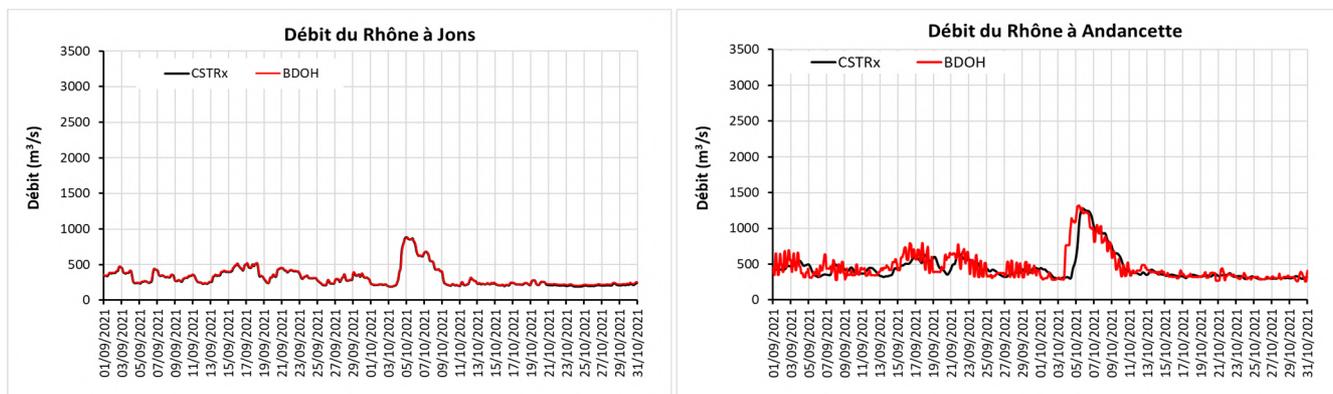


Figure 11 – Comparaison des débits mesurés (disponibles dans la BDOH, base de données de l’Observatoire des Sédiments du Rhône) et des débits simulés (CSTRx) aux stations de Jons et d’Andancette pour un débit moyen, en période d’étiage et lors d’une crue.

Modélisation des temps de transfert et des activités volumiques des rejets de tritium des trois campagnes étudiées

Les résultats obtenus par simulation aux stations amont et aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l’Exil pour les trois périodes ayant fait l’objet du suivi de tritium sont présentés sur les figure 12 à figure 14 .

Leur analyse permet de montrer que :

- Les activités modélisées avec l’outil CASTEAURx sont assez proches des activités mesurées aux stations amont et aval du site de Saint-Alban. On observe une légère surestimation des activités modélisées pour la campagne de janvier 2021 en période de débits moyens (Figure 14, graphique du haut)

- Les temps de transfert des panaches entre la station amont et la station aval sont en bon accord avec les mesures réalisées à ces deux stations. On note toutefois que le panache modélisé en étiage (graphique du haut) est légèrement en avance par rapport aux mesures réalisées dans le Rhône pour la station située en aval du point de rejets des effluents de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (Figure 12).
- Les résultats du modèle permettent de déterminer les contributions des rejets du Bugey (en marron sur les graphiques) de ceux de Saint-Alban (en vert sur les graphiques) et ainsi d'expliquer les résultats de mesure.

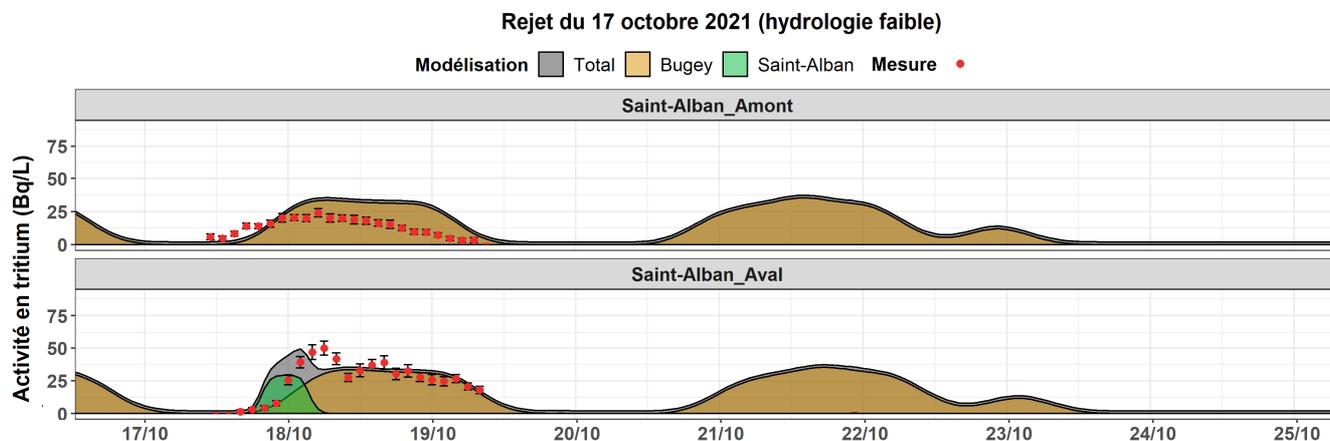


Figure 12 - Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en période d'étiage

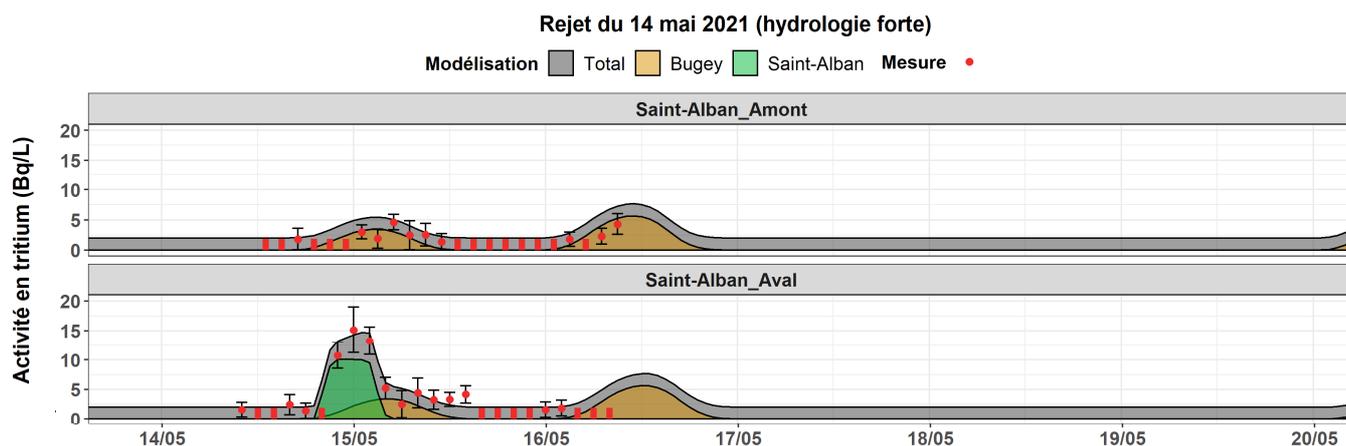


Figure 13 - Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en crue

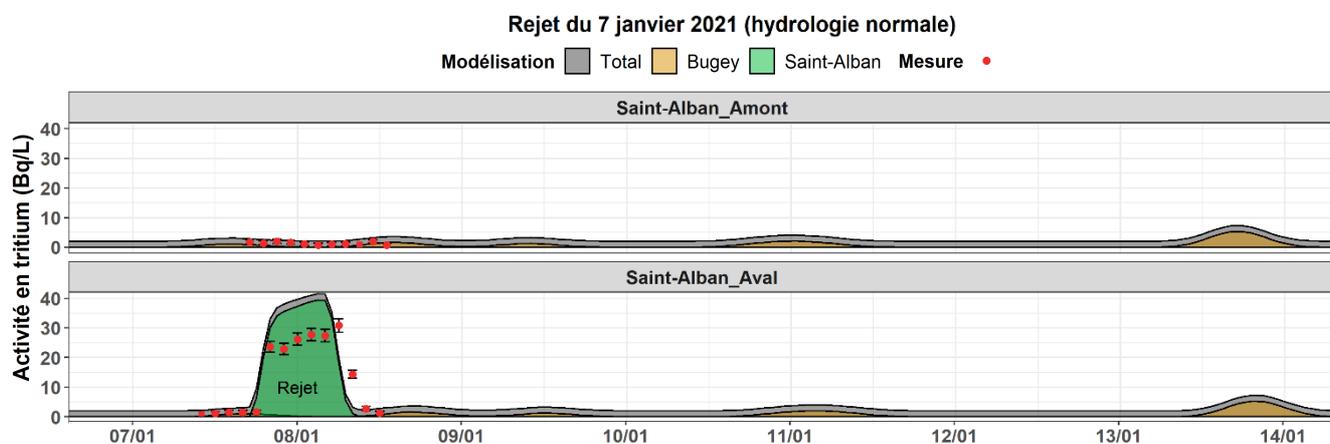


Figure 14 – Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en période de débit moyen

Les résultats acquis dans le cadre de cette étude permettent également de qualifier les mesures de surveillance réalisées dans le Rhône par EDF dans le cadre de la surveillance réglementaire et par l'IRSN dans le cadre de sa surveillance régulière. Rappelons qu'EDF réalise des mesures sur des échantillons dit « mi-rejet » et sur des échantillons quotidiens. Les premiers correspondent à un prélèvement ponctuel réalisé lorsque la moitié du volume du réservoir en rejet a été atteinte. Les seconds sont récoltés des moyennes journalières. Les données de la surveillance IRSN correspondent à des moyennes intégrées sur des périodes de plusieurs jours.

Si l'on compare les résultats des modélisations et des mesures obtenues durant cette étude avec les données de surveillance acquises par EDF et par l'IRSN sur ces mêmes périodes, on constate que :

- Les mesures mi-rejet effectuées par EDF sont proches des résultats de modélisation, sauf pour la campagne d'étiage où les mesures mi-rejet ont tendance à surestimer les activités volumiques mesurées, possiblement en raison d'un impact plus important du fonctionnement des ouvrages à bas débit ;
- La comparaison des résultats issus du modèle avec les données de surveillance effectuée quotidiennement par EDF est satisfaisante puisque la dynamique et les niveaux des activités modélisées s'accordent à moins d'un facteur deux avec les chroniques mesurées ;
- Les données de surveillance moyenne acquises par l'IRSN sont globalement cohérentes avec les tendances moyennes données par le modèle et les aliquotes journalières de la surveillance EDF.

L'ensemble de ces observations permet d'affirmer que la station de surveillance située en aval de Saint-Alban fournit des mesures représentatives du tritium circulant dans le Rhône pour les débits observés.

Finalement, les données obtenues avec le code de calcul CASTEAURx permettent de montrer que ce modèle est robuste et suffisamment rapide en temps de calcul pour répondre à l'essentiel des besoins d'expertise de l'IRSN, notamment lors des situations de crise. Par ailleurs, cette étude a également permis de dessiner des perspectives d'évolutions du modèle.

CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ETUDE POUR LA CALIBRATION DU CODE DE CALCUL CASTEAURX

Dans le cadre de l'ERS Saint-Alban, l'IRSN a réalisé trois campagnes de suivi de la propagation dans le Rhône des rejets liquides de tritium de la centrale : en condition de débit moyen en janvier 2021, en crue en mai 2021 et à l'étiage en octobre 2021. Ces campagnes avaient notamment pour objectif de contribuer à la qualification du code de calcul de dispersion CASTEAURx utilisé par l'IRSN sur le Rhône ainsi que sur les autres fleuves français.

Par la bonne concordance entre les résultats de calculs et les résultats des mesures acquises, cette étude démontre que :

- Le code CASTEAURx permet d'expliquer les activités mesurées dans le fleuve en estimant notamment les contributions respectives des rejets de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et ceux de la centrale du Bugey ; la calibration du code CASTEAURx sur le Rhône peut être considérée comme satisfaisante entre ces deux centrales nucléaires ;
- La station de surveillance d'EDF (SMP) située en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil fournit des mesures représentatives du tritium circulant dans le Rhône pour les débits observés.

ETUDE DE LA SENSIBILITE DES BIOINDICATEURS VEGETAUX AQUATIQUES A RENDRE COMPTE DES ACTIVITES DES RADIONUCLEIDES PRESENTS DANS L'EAU

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les bioindicateurs végétaux sont utilisés depuis de nombreuses années pour la surveillance de l'environnement aquatique. Du fait de leur capacité à fixer, voire concentrer pour certains, des éléments chimiques présents dans l'eau dans laquelle ils se développent, ils permettent notamment de mesurer des radionucléides difficiles voire impossibles à quantifier dans un échantillon d'eau.

L'IRSN utilise depuis une trentaine d'années ces indicateurs sur les fleuves français nucléarisés pour mettre en évidence une possible influence des rejets d'effluents liquides sur les différentes composantes du milieu aquatique. Le tritium et le carbone 14, éléments les plus rejetés dans l'environnement par les centrales nucléaires, intègrent rapidement les cycles de l'eau et du carbone qui permettent, entre-autre, le développement des plantes aquatiques. Les prélèvements des bioindicateurs, réalisés à fréquence annuelle pour les besoins de surveillance, témoignent de marquage par ces radionucléides mais la cinétique d'intégration de ces éléments est mal connue en milieu naturel.

Une étude plus exploratoire a donc été mise au point pour améliorer les connaissances sur ces cinétiques. Ainsi, un protocole de prélèvement et d'analyses a été déployé au cours d'un rejet d'effluents radioactifs liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil afin de vérifier si les plantes aquatiques étaient susceptibles de rendre compte aisément de l'influence des rejets de tritium et de carbone 14 et d'essayer de mieux comprendre leur cinétique d'intégration dans ces bioindicateurs végétaux.

SUIVI D'UN REJET D'EFFLUENTS DE LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE L'EXIL

Méthode et moyens

Des plantes aquatiques ont été prélevés avant, durant et après un rejet d'effluent radioactif en un point situé à l'aval de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil dans la zone dite de bon mélange (autrement dit, dans une zone où les activités de tritium et de carbone 14 sont identiques quel que soit l'endroit du fleuve).

La première étape a consisté en une reconnaissance de terrain pour sélectionner une station qui présente en quantité suffisante une des espèces de végétaux aquatiques prélevées et analysées dans le cadre de la surveillance régulière effectuée pour EDF (Figure 15). Il fallait en effet s'assurer de pouvoir réaliser le nombre d'échantillons prévus tout en préservant l'existence de l'herbier échantillonné. Pour les besoins de cette étude, ce sont des myriophylles qui ont été prélevées.



Figure 15 – Localisation des végétaux aquatiques prélevés au cours d'un rejet de tritium et de carbone 14

Avant le rejet et dès que la date approximative en a pu être communiquée par EDF, un premier prélèvement de végétaux a été effectué permettant de disposer d'une mesure de référence de tritium et de carbone 14 dans ces végétaux. Puis trois prélèvements de myriophylles ont été réalisés durant le passage du panache du rejet qui s'est déroulé entre le 17 et le 18 octobre 2021. Afin de réaliser les prélèvements à des moments clés du rejets (augmentation, plateau et diminution de l'activité), les dates et heures de prélèvements ont été estimées par simulation du panache de tritium à l'aide du code de calcul CASTEAURx.

Seules les parties feuillues des myriophylles se développant hors des dépôts sédimentaires ont été échantillonnées (Figure 16). Des prélèvements d'eau ont également été réalisés au même moment pour mesurer le tritium libre dans l'eau du Rhône.



Figure 16 – Un râteau lancé depuis un ponton situé à l'aval du point de rejet (cliché de gauche) permet de récolter la partie aérienne des myriophylles analysées lors de cette étude (cliché de droite).

Résultats obtenus et perspectives

Les résultats de tritium et de carbone 14 obtenus dans le cadre de cette étude sont reportés dans le tableau ci-dessous. Ils sont complétés par les données de tritium libre acquises par EDF dans le cadre de la surveillance réglementaire. Tous ces

résultats sont également disponibles sur le site du réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement ([RNM \(mesure-radioactivite.fr\)](http://RNM(mesure-radioactivite.fr))).

Soulignons que les résultats de radionucléides émetteurs gamma témoignent, comme attendu, de la présence de césium 137 et de cobalt 60 à des niveaux légèrement supérieurs au seuil de sensibilité des appareils de mesure qui confirment que les végétaux aquatiques sont bien adaptés pour rendre compte d'un marquage de l'environnement à la suite des rejets autorisés pour le fonctionnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Tableau 5 – Résultats de tritium obtenus dans l'eau et les végétaux aquatiques et de carbone 14 obtenus dans les végétaux.

Date et heure de prélèvement	Tritium dans l'eau (EDF) (Bq/L)	Tritium dans l'eau (IRSN) (Bq/L)	Tritium Libre des végétaux (Bq/L)	Tritium Organiquement Lié des végétaux (Bq/L)	Carbone 14 des végétaux (Bq/kg C)
15/10/21 10h	<5,0				
15/10/21 13h			<0,7	16,8	260
16/10/21 10h	<4,7				
17/10/21 10h	<4,6				
17/10/21 16h	Début du rejet d'effluents liquides par la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil				
18/10/21 08h		10,8	10,0	15,6	246
18/10/21 10h	17,6				
18/10/21 11h	28,7				
18/10/21 12h30	Fin du rejet d'effluents liquides par la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil				
18/10/21 13h		28,1	23,2	26,4	-
19/10/21 10h	22,6				
19/10/21 11h15		20,4	19,7	13,4	257

Tritium libre et lié

En premier lieu, on constate que les résultats de mesures du tritium dans l'eau acquis par l'IRSN dans le cadre de cette étude sont cohérents avec ceux obtenus par EDF dans le cadre de sa surveillance réglementaire. Il apparaît également que l'activité du tritium de l'eau tissulaire des végétaux est similaire à celle mesurée dans l'eau du Rhône prélevée au même moment, ce qui confirme une cinétique rapide d'échange du tritium libre entre l'eau et les végétaux. Le tritium organiquement lié suit globalement la même tendance mais de manière plus atténuée.

Une fois incorporé à la matière organique par photosynthèse, on distingue deux comportements du tritium lié ainsi formé. Une partie très fortement liée à la matière du végétal y demeure quelle que soit l'évolution de la teneur en tritium dans le milieu environnant ; on parle alors de tritium organiquement lié non échangeable. Une autre partie, moins fortement liée, peut redevenir du tritium libre et « s'échanger » avec l'hydrogène présent dans le milieu lorsque la teneur en tritium de celui-ci diminue.

On remarque ainsi dans le tableau 5 que :

- Le prélèvement de végétaux aquatiques réalisé avant le rejet de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil présente une activité de tritium organiquement lié d'environ 17 Bq/L, supérieure à l'activité de l'eau du Rhône prélevée au même moment (activité inférieure à 0,7 Bq/L). Cette part du tritium rémanent des rejets précédents et hors équilibre avec le tritium présent dans l'eau et le tritium libre des végétaux peut être rapproché du concept du tritium organiquement lié non échangeable (TOLne ; [32] à [34]).
- L'augmentation de l'activité du tritium organiquement lié totale des végétaux pendant le passage du rejet, bien qu'importante (activité multipliée par environ 1,5), est plus modérée que l'augmentation de l'activité du tritium de l'eau libre tissulaire (activité multipliée par environ 3). On note en revanche que la cinétique d'augmentation puis de diminution du tritium organiquement lié dans les végétaux suit la cinétique du

tritium dans l'eau. Bien que les mesures acquises à Saint-Alban ne se sont pas poursuivies au-delà de la fin du rejet, il semble que l'on retrouve bien un niveau de base mesuré dans les végétaux avant et après rejet du même ordre de grandeur (environ 15 à 16 Bq/L). Ceci suggère donc que l'incorporation des atomes de tritium dans une partie des molécules organiques est relativement rapide. Cette part du tritium organiquement lié, évoluant rapidement selon la concentration en HTO dans le milieu, est nommé dans la littérature tritium organiquement lié échangeable (TOLe, [32] ; [33]).

La fraction de tritium échangeable a été estimée dans cette étude à environ 40% du tritium libre et du tritium de l'eau tissulaire, ce qui s'inscrit dans la gamme des valeurs proposées dans la littérature (de 20 à 57 % [32]).

Ces données confortent les résultats d'une précédente étude menée par EDF [35] dans le cadre d'une demande de l'Autorité de Sûreté Nucléaire qui souhaitait connaître les activités de tritium dans la zone de Saint-Pierre de Bœuf.

Carbone 14

L'activité spécifique mesurée dans les végétaux aquatiques avant le début du rejet d'effluents liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil est déjà supérieure au bruit de fond du carbone 14 en milieu aquatique (de l'ordre de 180 à 200 Bq.kg⁻¹ de C). Ceci témoigne de la rémanence d'apports de ¹⁴C issus de rejets effectués dans les semaines précédentes par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, et par celle du Bugey située en amont.

Les apports de ¹⁴C lié au rejet d'effluent réalisé le 17 octobre 2022 par le site de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil n'entraîne pas d'évolution observable des activités de ¹⁴C dans les végétaux aquatiques. L'absence de mesures de l'activité du carbone 14 dans l'eau du Rhône au cours de ce rejet ne permet pas de savoir si le carbone 14 rejeté par le site modifie de manière significative l'activité de l'eau et par suite celle des végétaux.

Par ailleurs, cette absence d'évolution est liée principalement au fait que, contrairement au tritium, le carbone 14 intégré à la matière organique dès le stade de croissance des végétaux, n'évolue plus au cours du cycle végétatif. Au moment du prélèvement, réalisé en octobre, les plantes aquatiques avaient terminé leur croissance ce qui ne permet pas l'incorporation du carbone 14 rejeté dans les effluents liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. Des prélèvements réalisés à partir du printemps et pour différents stades végétatifs permettraient de vérifier cette hypothèse.

Notons que s'il n'a pas été possible d'acquies de mesure du carbone 14 dans l'eau lors de l'étude réalisée en octobre 2021 sur les végétaux, une campagne spécifique a été menée en mai 2022 lors d'un rejet d'effluents liquides radioactifs effectué par la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil suite à la mise au point de protocoles spécifiques permettant de mesurer les différentes formes du carbone 14 présent dans le Rhône (carbone organique dissous et particulaire, carbone inorganique dissous et particulaire). L'IRSN poursuit ses expérimentations et ses études pour répondre à ce besoin.

CE QU'IL FAUT RETENIR DES MESURES ACQUISES DANS LES INDICATEURS BIOLOGIQUES

Les végétaux aquatiques habituellement prélevés pour rendre compte de l'influence des rejets liquides de tritium et de carbone 14 dans l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sont bien adaptés pour une surveillance à fréquence annuelle. En revanche, pour rendre compte du marquage d'un rejet ponctuel, ces bioindicateurs ne sont pertinents que pour le tritium.

Cette étude a par ailleurs conforté les connaissances sur le devenir du tritium et du carbone 14 lorsqu'ils sont intégrés à la matière organique.

ETUDES DU TRITIUM ET DU CARBONE 14 DANS DIFFERENTES COMPOSANTES BIOLOGIQUES DU MILIEU AQUATIQUE

CONTEXTES ET OBJECTIFS DES ETUDES

La surveillance du tritium et du carbone 14 en milieu aquatique repose en grande partie, et même exclusivement dans le cas du carbone 14, sur des analyses de ces radionucléides dans des poissons. Ce choix résulte notamment du fait que les poissons constituent de très bons bioindicateurs de l'influence des rejets des installations nucléaires et que leur consommation peut conduire à une des principales expositions de la population pour ce radionucléide [3].

Trois études ont été menées pour compléter nos connaissances sur le tritium et le carbone 14 en milieu fluvial et répondre à des objectifs spécifiques précisés ci-après.

Les espèces prélevées pour la surveillance de l'environnement ne sont pas nécessairement celles consommées par les pêcheurs amateurs qui privilégient des poissons comme la perche, le sandre ou le brochet. En effet, la surveillance s'appuie sur des espèces ubiquistes à l'échelle d'un cours d'eau et présentes en quantité suffisante pour constituer année après année des chroniques de résultats (préférentiellement des chevesnes, des barbeaux ou des carpes). Une première étude a été dédiée à l'acquisition de résultats de mesure sur les espèces préférées des pêcheurs pour les comparer à ceux obtenus sur les espèces pêchées dans le cadre de la surveillance.

Afin d'assurer une masse de poissons suffisante pour effectuer les analyses, les échantillons de poissons prélevés dans le cadre de la surveillance effectuée par l'IRSN et EDF, sont composés de plusieurs individus de même espèce et, dans la mesure du possible, de même taille. Ainsi, le résultat obtenu correspond à une activité moyenne qui peut cacher une variabilité entre les différents poissons constituant l'échantillon mesuré. Une seconde étude a été consacrée à cette variabilité des teneurs en tritium et carbone 14 d'un individu à l'autre.

Enfin, une troisième étude s'est intéressée à d'autres composantes du milieu aquatique qui ne sont pas, ou peu, échantillonnées dans le cadre de la surveillance : végétaux, gammares (petits crustacés) et corbicules (mollusques bivalves) et brèmes (espèce de poissons).

ACTIVITES DE TRITIUM ET DE CARBONE 14 DES POISSONS CAPTURES ET CONSOMMES LOCALEMENT

Méthodes et moyens mis en œuvre

Des prises de contact directes avec des pêcheurs amateurs nous ont permis de recueillir trois échantillons locaux de perches, sandres et fritures. D'autres captures ont été réalisées durant les pêches scientifiques prévues pour répondre aux autres objectifs.

Les poissons considérés comme hors influence des rejets de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil ont été pêchés au niveau de Condrieu (perche) et ceux en aval proche ont été capturés entre l'émissaire de rejets (perche et sandre) et le barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf (friture). Les localisations des points de prélèvement sont reportées sur la figure 17.

Des analyses de carbone 14, tritium libre et tritium organiquement lié ont été réalisées sur les parties consommées (filets), exception faite de la friture traitée dans son intégralité. L'une des difficultés de cette étude était d'arriver à réaliser une mesure sur des faibles masses d'échantillons. En effet, les techniques habituellement utilisées pour mesurer le carbone 14 et le tritium organiquement lié dans le cadre de la surveillance environnementale nécessitent des masses d'échantillons minimales de 100 grammes de matière sèche, ce qui correspond à peu près à environ 400 grammes de filets de poisson frais. Il faut donc, pour les méthodes classiques de mesure, prélever des individus d'environ 800 grammes. La seconde difficulté, pour les mesures de tritium organiquement lié, pouvait venir d'une activité de tritium relativement faible et donc non mesurable avec la technique classique. C'est pour ces raisons que les mesures de tritium organiquement lié et de carbone 14 ont bénéficiés de moyens métrologiques habituellement réservés aux programmes de recherche.

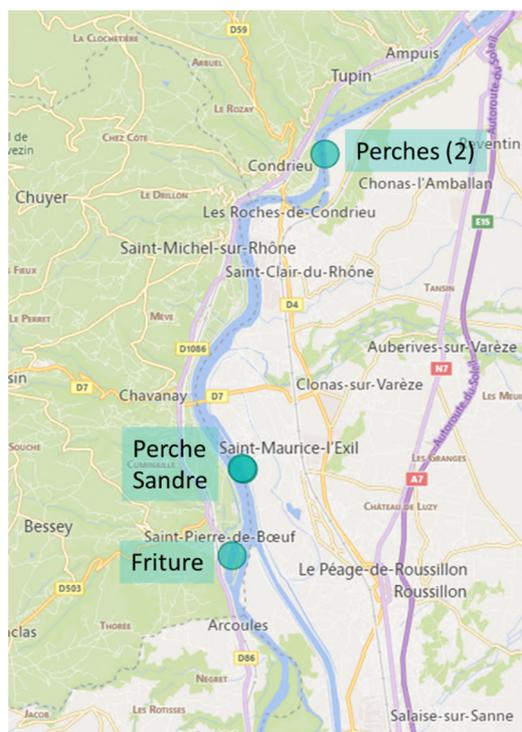


Figure 17 – Localisation des échantillons consommés par des pêcheurs locaux

Résultats obtenus et perspectives

Les résultats de carbone 14, tritium libre et organiquement lié sont reportés dans le Tableau 6.

Tritium libre et organiquement lié

Les poissons prélevés en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil présentent des activités de tritium libre et de tritium organiquement lié relativement proches (Tableau 6). Ces activités sont toutes supérieures au bruit de fond du tritium. Du fait de la mobilité des poissons, on ne peut exclure la possibilité que les poissons amont se soient déplacés jusqu'à l'aval du point de rejet de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil mais compte-tenu de la distance (plus de 10 km) et de la relative abondance de nourriture, ce marquage serait davantage imputable à des rejets provenant de la centrale nucléaire du Bugey.

Tableau 6 – Résultats de tritium libre et organiquement lié (Bq/L) et de carbone 14 (Bq.kg C) obtenus dans les poissons pouvant être consommés localement

Commune (Lieu-dit)	Date de prélèvement	Echantillon	Poids	Tritium Libre (Bq/L)	Tritium Organiquement Lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Amont - Chonas-l'Amballan	06/05/2021	Perche n°1	500 g	4,6	4,3	265,5
Amont - Chonas-l'Amballan	06/05/2021	Perche n°2	500 g	5,1	4,5	273,4
Aval proche - Saint-Maurice L'Exil	15/12/2020	Perche	200 g	<0,7	5,7	272,5
Aval proche - Saint-Maurice L'Exil	31/12/2020	Sandre	500 g	<0,7	5,2	315,2
Aval lointain - Saint-Pierre de Bœuf	28/09/2020	Friture	-	-	3,2	241,5

Les poissons prélevés en aval (hors friture) ne présentent qu'un marquage en tritium organiquement lié très légèrement supérieur à celui observé à l'amont.

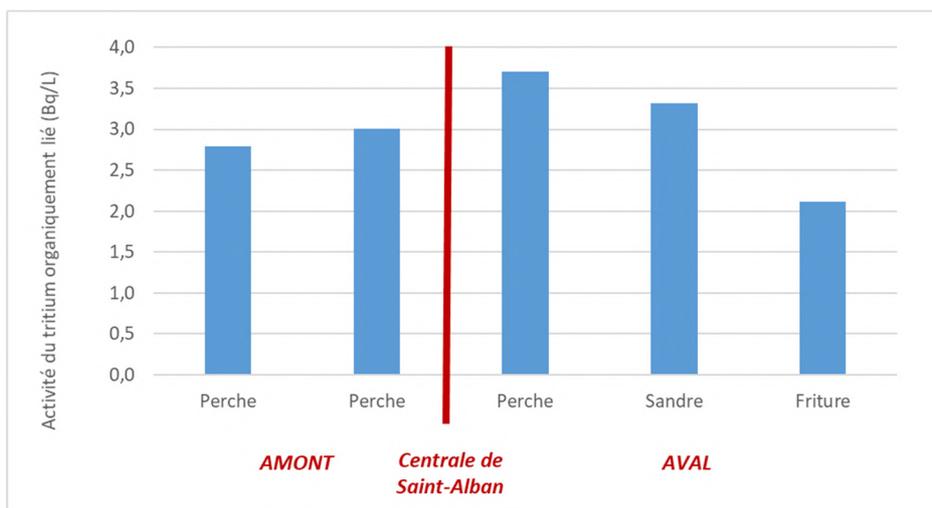


Figure 18 – Activité de tritium organiquement lié des poissons capturés par des consommateurs locaux en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil

Carbone 14

L'activité de carbone 14 mesurée dans ces mêmes poissons varie entre 241,5 Bq/kg C, dans l'échantillon de friture prélevé en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, et 315,2 Bq/kg C, dans le sandre également capturé en aval. Tous les poissons analysés présentent une activité de carbone 14 supérieure au bruit de fond du carbone 14, aujourd'hui estimé entre 180 et 210 Bq/kg C.

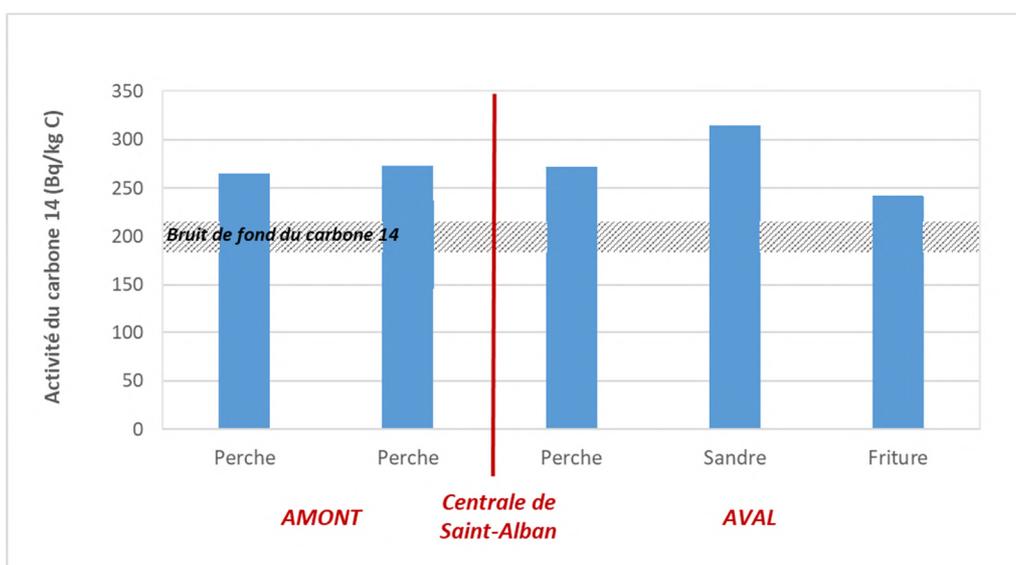


Figure 19 – Activité spécifique de carbone 14 des poissons capturés par des consommateurs locaux en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil

Discussion et conclusions

Les résultats de tritium et carbone 14 acquis pour les besoins de la surveillance régulière de l'environnement aquatique de Saint-Alban en 2020 et 2021 sont reportés dans le Tableau 7.

On constate que les activités de tritium organiquement lié des poissons prélevés pour les besoins de la surveillance sont légèrement supérieures à celles des perches, sandres et friture consommés localement.

Il apparaît ainsi que les espèces prélevées pour la surveillance environnementale mise en œuvre par l'exploitant sont bien adaptées à la fois pour estimer l'état radiologique des milieux mais également pour estimer l'exposition des populations consommant des poissons du Rhône ; elles n'induisent pas de sous-estimation des doses correspondantes. De fait, tous les résultats de mesures acquis dans le cadre de cette étude ont été utilisés pour affiner le calcul de l'exposition des populations vivant à proximité de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil [3].

Tableau 7 – Résultats d'analyse obtenus en 2020 et 2021 sur les échantillons destinés à la surveillance de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Echantillon	Tritium Libre (Bq/L)	Tritium Organiquement Lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Amont - Chonas-l'Amballan	25/05/2020	Barbeau fluviatile	0,8	4,9	289
Aval – Peyraud	25/05/2020	Barbeau fluviatile	1,7	6,7	442
Amont - Chonas-l'Amballan	05/05/2021	Barbeau fluviatile	3,9	4,0	233
Aval - Saint-Rambert-d'Albon	05/05/2021	Barbeau fluviatile	1,7	5,2	332

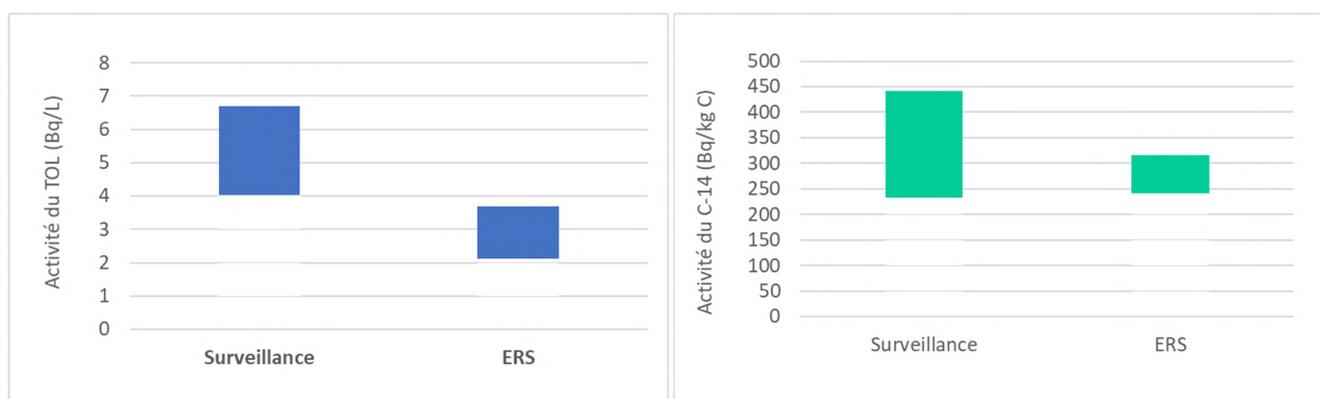


Figure 20 – Gamme de variation du tritium organiquement lié (à gauche) et du carbone 14 (à droite) observé dans les prélèvements réalisés pour la surveillance et pour cette étude.

CE QU'IL FAUT RETENIR DES MESURES ACQUISES DANS POISSONS CONSOMMÉS LOCALEMENT

Les activités mesurées sur les espèces de poissons préférentiellement consommées par les pêcheurs locaux (perches, sandres et fritures) sont proches, voire un peu inférieures à celles habituellement mesurées dans les espèces prélevées dans le cadre de la surveillance (chevesne, barbeaux...).

Comme attendu, ces espèces présentent des activités de tritium et de carbone 14 supérieures au bruit de fond de ces radionucléides qui témoignent de l'influence des rejets liquides opérés par les centrales nucléaires de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil mais aussi de ceux de la centrale nucléaire du Bugey située en amont.

Il apparaît ainsi que les espèces prélevées pour la surveillance environnementale sont bien adaptées à la fois pour estimer l'état radiologique des milieux mais également pour estimer l'exposition des populations consommant des poissons du Rhône.

VARIABILITE INTER-INDIVIDUELLE DES ACTIVITES DE TRITIUM ET DE CARBONE 14 DANS LES POISSONS

Méthodes et moyens mis en œuvre

Neufs barbeaux ont été capturés pour cette étude : quatre en amont et cinq en aval de la centrale de Saint-Alban saint Maurice l'Exil (Figure 9). Des techniques de mesure plus performantes, habituellement réservées aux projets de recherche du fait de délais de réponse plus long, ont été utilisés pour cette étude.



Figure 21 – Localisation des échantillons de poissons destinés à la surveillance et pour lesquels l'étude de la variabilité des activités de tritium et de carbone 14 intrinsèque à l'échantillon a été réalisée

Résultats obtenus

Les résultats de mesure obtenus sur les échantillons de poissons prélevés à l'amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sont présentés dans le tableau 8 et ceux obtenus sur les poissons capturés à l'aval sont présentés dans le tableau 9.

L'activité de tritium organiquement lié des poissons prélevés en amont de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil varie de 1,9 à 3,8 Bq/L pour une moyenne de 2,7 Bq/L. Le calcul du coefficient de variation (rapport entre l'écart-type et la moyenne) permet de rendre compte de la dispersion des points autour de la moyenne : plus sa valeur est grande, plus la dispersion des résultats autour de la moyenne est importante. Ainsi, avec un coefficient de variation de 0,31 (ou 31%), on peut noter qu'il existe une variabilité non négligeable entre les individus de ce lot de poissons. Cette variabilité est moindre pour les résultats de tritium en aval de la centrale électronucléaires (coefficient de variation de 11%) et pour les résultats de carbone 14 (coefficient de variation de 17% et 11% respectivement à l'amont et à l'aval).

Tableau 8 – Résultats de tritium organiquement lié et de carbone 14 obtenus sur les échantillons de poissons prélevés en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Echantillon AMONT	Date de prélèvement	Taille (cm)	Poids (g)	Tritium organiquement lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Poisson n°1	25/05/2020	52	1530	3,8	315
Poisson n°2	25/05/2020	50	1350	1,9	228
Poisson n°3	20/07/2020	50	1150	2,2	240
Poisson n°4	20/07/2020	53	1550	3,0	315

Tableau 9 - Résultats de tritium libre, de tritium organiquement lié et de carbone 14 obtenus sur les échantillons de poissons prélevés en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Echantillon AVAL	Date de prélèvement	Taille (cm)	Poids (g)	Tritium organiquement lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Poisson n°5	25/05/2020	56	1930	4,6	467
Poisson n°6	25/05/2020	52	1600	5,1	427
Poisson n°7	25/05/2020	54	1740	3,7	350
Poisson n°8	25/05/2020	52	1840	4,4	419
Poisson n°9	25/05/2020	50	1200	4,6	379

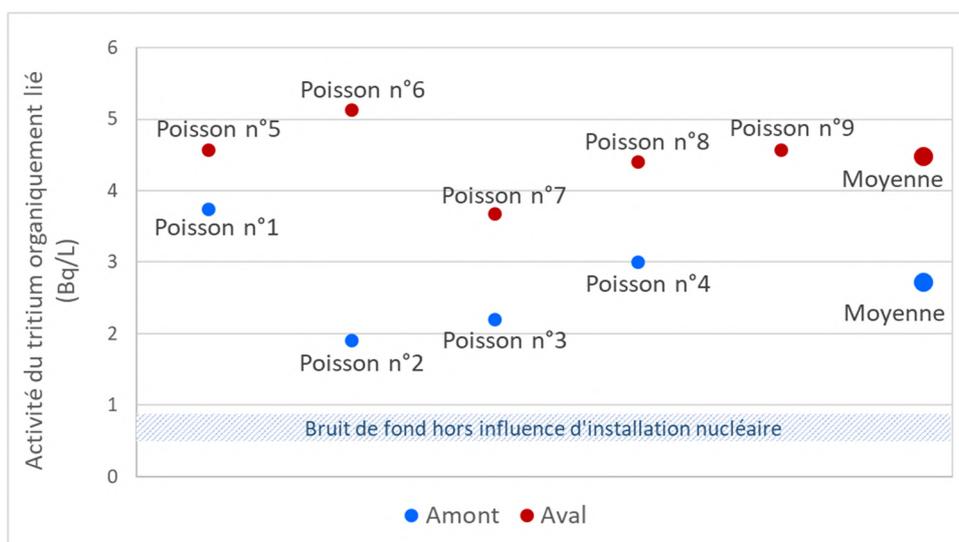


Figure 22 – Activités de tritium organiquement lié des individus prélevés en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

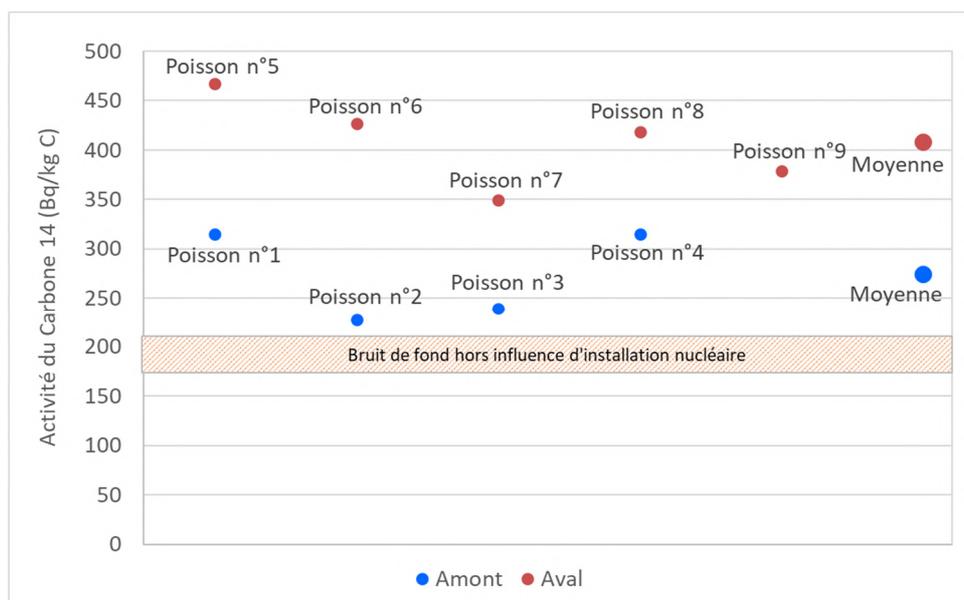


Figure 23 – Activités de carbone 14 des poissons prélevés en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence que les variabilités observées entre les différents individus constituant un lot de poissons sont assez bien distribuées autour de la moyenne. Ainsi, lorsque pour

des raisons analytiques (masses nécessaires, délais d'analyse, etc), les mesures sont réalisées sur un échantillon composite (e.g. rassemblant plusieurs individus de même espèce et même taille), les résultats obtenus semblent bien représentatifs.

ETUDE DU TRITIUM ET DU CARBONE 14 DANS DIFFERENTES COMPOSANTES DU MILIEU AQUATIQUE

Méthodes et moyens mis en œuvre

Deux campagnes de prélèvement ont été réalisées au printemps et à l'automne 2021 pour cette étude. Pour chacune des campagnes, les prélèvements suivants étaient prévus : végétaux aquatiques, gammares (crustacés), corbicules (mollusques bivalves), poissons juvéniles et poissons adultes. Les conditions rencontrées au printemps 2021 (hautes eaux, température basse, perte d'un casier) n'ont pas permis de récolter l'ensemble des échantillons prévus en aval de l'émissaire de rejets liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil. La Figure 24 reporte la localisation et la nature des échantillons effectués respectivement lors de la campagne du printemps 2021 et de l'automne 2021.

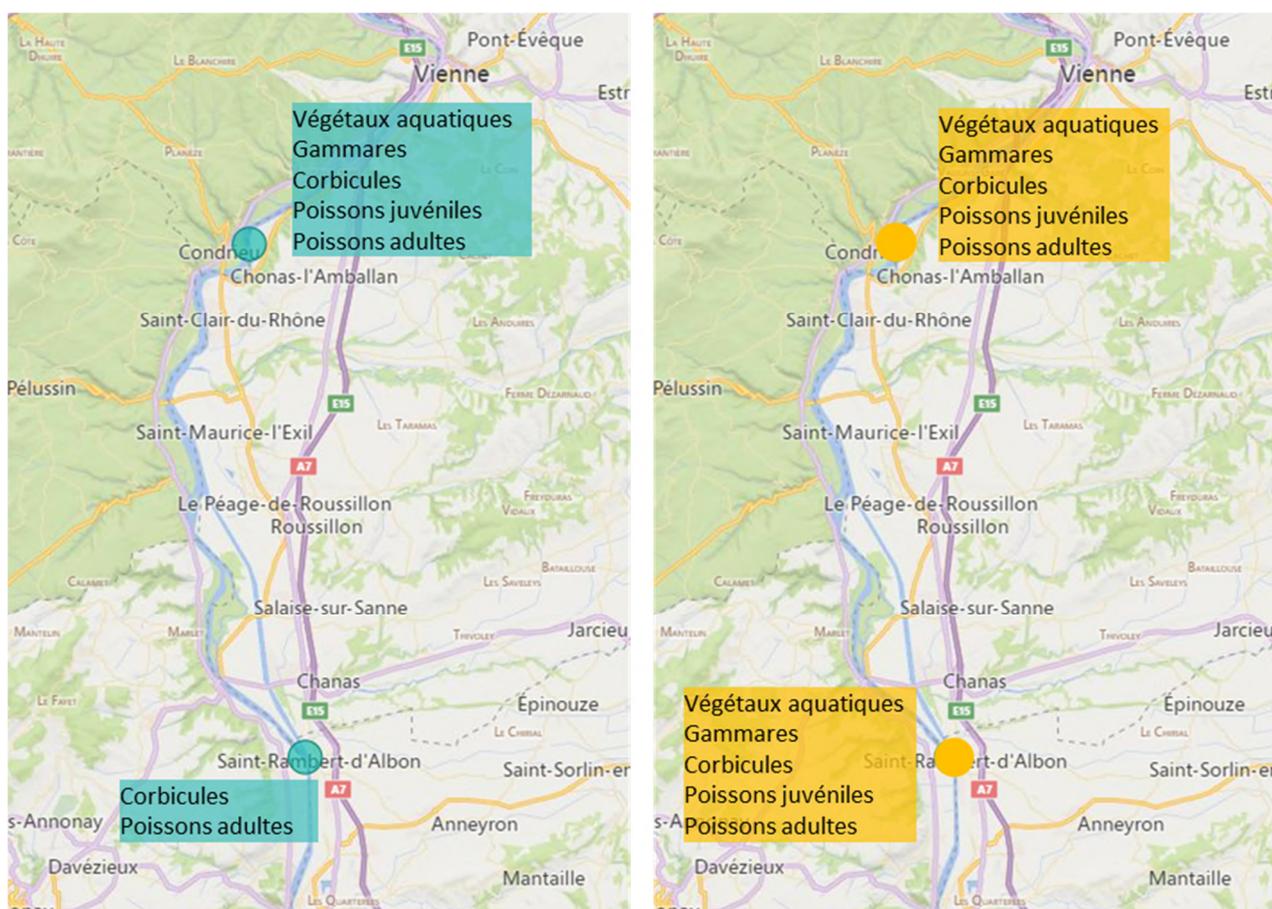


Figure 24 – Cartes de localisation des prélèvements réalisés au printemps 2021 (gauche) et à l'automne 2021 (droite)



Figure 25 – Un cône de Berthois permet de prélever les sédiments (cliché de gauche). Ceux-ci sont filtrés pour récolter les corbicules vivant sur les fonds du Rhône (cliché de droite)

Les gammares ont été récoltés avec le soutien de l'ARALEP, bureau d'étude spécialisé en écologie aquatique. Des pièges ont été installés dans le Rhône durant 15 jours pour permettre de récolter une centaine de grammes de ces crustacés de petite taille. Une fois récoltés, les gammares ont été congelés pour être conservés jusqu'à leur traitement au laboratoire.



Figure 26 – Substrat artificiel pour le piégeage des gammares (@ARALEP)

Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont reportés respectivement dans le Tableau 10 pour la campagne de prélèvements du printemps 2021 dans le Tableau 11 pour celle réalisée à l'automne 2021.

Les résultats obtenus au printemps 2021 témoignent tout d'abord d'une faible variabilité des activités entre les différentes espèces prélevées à l'amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, que ce soit pour le tritium ou pour le carbone 14. Ceci traduit une certaine homogénéité radiologique du milieu. Les activités mesurées dans les poissons dans le cadre de la surveillance sont donc représentatives de celles de tous organismes qui y vivent.

Toutefois, les corbicules présentent une meilleure propension à témoigner de l'influence des rejets liquides des installations nucléaires. En effet, si tous les organismes présentent des teneurs en tritium et carbone 14 supérieures à l'aval par rapport à l'amont de la centrale électronucléaire, on constate que c'est plus particulièrement le cas de l'activité de carbone 14 dans les corbicules, près de 3 fois supérieure à ce qui avait été mesuré en amont. Cette observation a déjà été faite par le passé [36].

Tableau 10 - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés au printemps 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé)

Campagne de printemps 2021	Date de prélèvement	Taille (cm)	Poids (kg)	Age	Tritium libre (Bq/L)	Tritium organiquement lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Végétaux aquatiques	02/04/21	-	-	-	0,8	1,9	207,7
Corbicules	01/04/21	-	-	-	<0,7	2,4	216,8
Gammarés	02/04/21	-	-	-	2,7	1,2	208,9
Brème juvénile	02/04/21	-	-	-	1,3	1,4	221,2
Brème adulte	02/04/21	51	2,02	4	1,0	2,9	290,7
Carpe adulte	02/04/21	63	5,4	5	3,8	1,9	225,6
Silure adulte	02/04/21	98	6,9	-	0,9	1,9	235,8
Corbicules		-	-	-	0,9	5,5	608,9
Brème adulte	02/04/21	46	1,56	3	<0,7	3,5	351,3
Carpe adulte	02/04/21	94	16,2	9	<0,8	2,9	290,8

Durant la campagne d'automne 2021, on constate tout d'abord que les activités du tritium libre et dans une moindre mesure celles du tritium organiquement lié sont plus élevées que les activités mesurées au printemps. Ces activités, élevées dès l'amont de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, sont révélatrices du passage d'un rejet d'effluents liquides provenant de la centrale nucléaire du Bugey dans les heures ayant précédées les prélèvements.

Les activités du carbone 14 mesuré dans les échantillons prélevés à l'amont sont comparables d'une espèce à l'autre, exception faite des végétaux aquatiques qui présentent une activité inférieure et des carpes adultes et du silure qui présentent les activités les plus élevées.

Tableau 11 - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés à l'automne 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé)

Campagne d'automne 2021	Date de prélèvement	Taille (cm)	Poids (kg)	Age	Tritium libre (Bq/L)	Tritium organiquement lié (Bq/L)	Carbone 14 (Bq/kg C)
Végétaux aquatiques	11/10/2021	-	-	-	10,5	2,7	205,9
Corbicules	12/10/2021	-	-	-	1,9	4,7	220,5
Gammarés	04/11/2021	-	-	-	-	En attente	214,4
Friture de brèmes	11/10/2021	-	-	-	10,8	6,9	219,7
Friture de chevesnes	11/10/2021	-	-	-	10,10	4,6	221,7
Chevesne	11/10/2021	27	0,4	2	10,3	2,8	221,6
Carpe juvénile n°1	11/10/2021	20	0,16	1	9,5	4,0	214,4
Carpe juvénile n°2	11/10/2021	31	0,54	1	10,4	4,35	215,7
Carpe n°1	11/10/2021	62	4	5	10,9	3,3	239,5
Carpe n°2	11/10/2021	75	7,5	5	10	4,3	302,6
Silure juvénile	11/10/2021	65	1,96	-	10,9	2,95	225,2
Silure	11/10/2021	120	14,5	-	10,3	2,97	234,5

Tableau 12 (suite) - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés à l'automne 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé)

Végétaux aquatiques	11/10/2021	-	-	-	9	3,1	258
Corbicules	12/10/2021	-	-	-	11,1	7,6	597,8
Gammarès	05/11/2021	-	-	-	-	En attente	286,6
Friture de brèmes	11/10/2021	-	-	-	6,5	5,6	368,5
Friture de chevesnes	11/10/2021	-	-	-	7,3	5,4	323,6
Chevesne	11/10/2021	30	0,32	3	8,1	3,46	300,4
Brème n°1	11/10/2021	48	1,2	3	8,1	3,6	387,4
Brème n°2	11/10/2021	45	1	2	7,7	4,2	367,5
Silure	11/10/2021	120	10,2	-	6,6	3,7	296,4

Dans les échantillons prélevés en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, on constate également une variabilité faible des activités de tritium libre et de tritium organiquement lié entre les différentes espèces prélevées. Les activités de tritium organiquement lié des corbicules sont supérieures à celles mesurées dans les autres espèces. En outre, dans les corbicules, l'activité de carbone 14 est près de 3 fois supérieure à celle mesurée en amont comme durant la campagne de printemps. Ceci confirme que les corbicules peuvent constituer une espèce sentinelle (ou bioindicateur) pour détecter l'influence des radionucléides sur l'environnement aquatique.

CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ETUDE SUR LA VARIABILITE INTER-SPECIFIQUE DU TRITIUM ET DU CARBONE 14 EN MILIEU AQUATIQUE

Les activités de tritium et de carbone 14 mesurées dans différentes composantes du milieu aquatique rhodanien (plantes aquatiques, gammarès, corbicules, brèmes, chevesnes, carpes et silures) prélevées le même jour (à l'exception des gammarès) à l'occasion de deux campagnes menées au printemps et à l'automne 2021, sont homogènes : aucune des espèces prélevées ne se distingue nettement par des activités plus ou moins élevées (exception faite des corbicules dont les activités de tritium et de carbone 14 sont nettement supérieures à celles obtenues dans les autres matrices). Toutefois, tous les résultats rendent compte de la même manière de l'état radiologique du milieu pour ces deux radionucléides : l'influence des rejets d'effluents liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil est révélée avec la même amplitude par toutes les espèces. On note toutefois une plus grande sensibilité des corbicules à la radioactivité du milieu.

CONCLUSIONS

Le milieu aquatique environnant la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil a fait l'objet de différentes études destinées à mieux caractériser l'influence des rejets d'EDF, à fournir des résultats d'analyses pour une estimation plus réaliste de l'exposition des populations vivant à proximité de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et à améliorer les connaissances de l'IRSN sur le transfert de radionucléides radioactifs dans l'environnement aquatique.

Le bruit de fond du tritium dans les eaux de nappes a pu être estimé précisément grâce à l'emploi de techniques de mesures du tritium habituellement réservées aux programmes de recherche. Cette évaluation a ainsi permis de montrer que les rejets liquides dans le Rhône de tritium effectués par la centrale du Bugey située en amont de celle de Saint-Alban sont à l'origine d'un marquage de la plupart des puits captant en relation avec la nappe alluviale du Rhône. Seul le site de la Platière et dans une moindre mesure, un puits situé sur la commune de Limony, témoignent d'apports en tritium issus des rejets liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil qui viennent s'ajouter à ceux du Bugey. Ces faibles activités ont permis de disposer de valeurs pour les évaluations d'impact sur les populations qui ont fait l'objet d'une étude séparée [3].

Les campagnes de mesures destinées à la qualification du code de calcul de dispersion CASTEAURx de l'IRSN ont montré une bonne concordance entre les résultats du code et les résultats des mesures. Le code CASTEAURx permet d'expliquer les activités mesurées dans le Rhône en estimant notamment les contributions respectives des rejets de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et des rejets de la centrale du Bugey. La qualification du code CASTEAURx sur le Rhône peut être considérée comme satisfaisante entre ces deux centrales nucléaires. De plus, cette étude a montré que la station de surveillance d'EDF (SMP) située en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil fournit des mesures représentatives du tritium circulant dans le Rhône pour les débits observés.

Les poissons prélevés dans le cadre de cette étude présentent des activités de tritium et de carbone 14 supérieures au bruit de fond de ces radionucléides et ce dès l'amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil du fait des rejets d'effluents liquides opérés par le site du Bugey. Les rejets liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil contribuent toutefois à augmenter l'activité du tritium et du carbone 14 dans les poissons capturés en aval. Cette étude a en outre permis de confirmer que les échantillons de poissons prélevés pour répondre aux besoins de la surveillance radiologique des milieux aquatiques sont adaptés pour réaliser une estimation réaliste de l'exposition des populations au regard des résultats obtenus sur des poissons consommés par des habitants de la zone d'étude [3].

REFERENCES

- [1] IRSN, 2023. Etude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice. Synthèse des études du milieu terrestre. Rapport IRSN 2023-00038, 58 p.
- [2] IRSN, 2021. Etude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice. Synthèse des études atmosphériques. Rapport IRSN 2021-00649, 58 p.
- [3] IRSN, 2022. Etude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice. Etude de l'exposition des riverains aux radionucléides rejetés par la centrale et mesures dans son environnement. Rapport IRSN 2022-719, 54 p.
- [4] IRSN, 2022. Etude radiologique de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice. Acquisition d'informations concernant les variables humaines d'exposition (VHE). Tome 2 : résultats des enquêtes sur les habitudes alimentaires. Rapport IRSN 2022-00145, 61 p.
- [5] ASN, 2016 - 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
- [6] ASN, 2014 - 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)
- [7] ASN, 2014 - 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)
- [8] ASN, 2017 - 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
- [9] EDF, 2020. Centrales nucléaires et environnement. Prélèvements d'eau et rejets ; Edition 2020 EDP Sciences.
- [10] EDF, 2019. Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2019.
- [11] EDF, 2020. Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2020
- [12] EDF, 2021. Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2021.
- [13] IRSN, 2021. Historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban. Rapport n°2021-00678, 99 p.
- [14] IRSN, 2010. Fiche radionucléide environnement - Tritium et environnement.
- [15] Le Guen B., 2008. Impact du tritium autour des centrales nucléaires EDF, Radioprotection 2008 Vol. 43, n° 2, pages 177 à 191.
- [16] ASN, 2010. Livre Blanc du tritium, 303 p.

- [17] IRSN, 2017. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement, IRSN - PRP-ENV/SERIS/2017-00004
- [18] IRSN, 2015. Fiche radionucléide environnement - Carbone 14 et environnement.
- [19] Roussel-Debet S., 2012. Comportement du carbone 14 en milieu continental et niveaux d'activité hors de l'influence d'une installation nucléaire. Rapport IRSN - PRP-ENV/SESURE/2012-25.
- [20] Le Guen B., Siclet F., 2009. Impact du carbone-14 autour des centrales nucléaires EDF. Radioprotection 2009 ; Vol. 44, n° 4, pages 495 à 504.
- [21] IRSN, 2022. Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain. Bilan des constats radiologiques régionaux. Rapport n°2022-00131, 150 p.
- [22] Ducros L., 2018. Origine et devenir du tritium au sein des hydrosystèmes continentaux méditerranéens français. Thèse en géosciences de l'environnement, IRSN-Aix-Marseille Université. 199 p. + annexe.
- [23] Eyrolle F., Lepage H., Antonelli Ch., Morereau A., Cossonet C., Boyer P. and Gurriaran R., 2020. Radionuclides in waters and suspended sediments in the Rhône River (France) - Current contents, anthropic pressures and trajectories. Science of the Total Environment 723 n°137873. 2020.
- [24] IRSN, 2022. Flux de radioactivité exportés par le Rhône en Méditerranée en 2020 et 2021- Station Observatoire du Rhône à Arles (SORA). Rapport IRSN 2022-00807, 33 p.
- [25] IRSN, 2015. Fiche radionucléide environnement - Césium 137 et environnement.
- [26] CRIIRAD, 2000. Contrôle de la radioactivité des sédiments et plantes aquatiques du Rhône, en amont et en aval du CNPE de Saint-Alban. Rapport d'étude n°00-5, 33 p.
- [27] CRIIRAD, 2004. Etude préliminaire de l'impact des rejets de tritium et carbone 14 du CNPE de Saint-Alban. Rapport d'étude n°04-20, 60 p.
- [28] CRIIRAD, 2008. Etat des lieux de la radioactivité de l'eau, des sédiments et plantes aquatiques du Rhône et de ses affluents (Ain, Saône, Isère). Rapport d'étude n°10-140, 72p. + annexes.
- [29] Lalot E., 2014. Analyse des signaux piezométriques et modélisation pour l'évaluation quantitative et la caractérisation des échanges hydrauliques entre aquifères alluviaux et rivières - Application au Rhône. Thèse de doctorat, Sciences de la Terre, Ecole des Mines de Saint-Etienne.
- [30] Hydrofis, BRL ingénierie, 2014 - Gestion de la nappe alluviale du Rhône court-circuité de Péage de Roussillon. Phase 1 - Caractérisation du territoire et des usages sur la base des connaissances existantes. Rapport Hydrofis et BRL ingénierie, Février 2014
- [31] ONEMA et BRGM, 2018 - Estimation des volumes prélevables dans les aquifères à nappes libres : retour d'expérience sur les méthodes utilisées, identification des problèmes rencontrés, recommandations. Rapport ONEMA - BRGM - RP-64615-FR, Mars 2018
- [32] Kim, S.B. and V. Korolevych, 2013. Quantification of exchangeable and non-exchangeable organically bound tritium (OBT) in vegetation. Journal of Environmental Radioactivity, 2013. n°118; p. 9-14.
- [33] Eyrolle-Boyer, F., et al., 2014. Apparent enrichment of organically bound tritium in rivers explained by the heritage of our past. J Environ Radioact, 2014. n° 136 p. 162-168.
- [34] Nivresse, A.-L., 2020. Spéciation du tritium organiquement lié dans les matrices environnementales. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire. 239 p

-
- [35] IRSN, 2000. Mesure du tritium en amont et en aval du CNPE de Saint-Alban-Saint-Maurice-l'Exil. Rapport IRSN n°2020-00366. 46 p.
- [36] IRSN, 2013. Constat radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu aquatique. Rapport PRP-ENV/SERSURE/2013-37, 68 p.

Mot-clés

ERS, centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice-l'Exil, Rhône, milieu aquatique, tritium, carbone 14, radionucléides émetteurs gamma, dispersion, eaux potables, poissons, flore, faune.

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	8
Figure 2. Illustration simplifiée des circuits de rejets liquides et gazeux de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	9
Figure 3 - Zone d'étude pour les eaux souterraines.....	17
Figure 4 - Schéma des relations Rhône aménagé-Nappe alluviale en présence des contre-canaux.....	17
Figure 5 - Répartition des activités volumiques de tritium mesurées dans les eaux souterraines.....	19
Figure 6 - Comparaison des activités volumiques de tritium mesurées dans le Rhône (aliquote journalière EDF) et dans les eaux souterraines sur la période octobre 2020-octobre 2021.	20
Figure 7 - Activités volumiques de tritium mesurées sur la période octobre 2020-octobre 2021 (la ligne en pointillé indique la valeur moyenne mesurée dans le Rhône en amont de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil).	21
Figure 8 - Activités volumiques de tritium mesurées sur la période octobre 2020-octobre 2021 dans les zones a priori hors d'influence des rejets gazeux et liquides de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil et du Rhône.	22
Figure 9 – Carte de localisation des stations de surveillance utilisées dans cette étude pour échantillonner les eaux du Rhône.....	25
Figure 10 - Collecteur automatique d'eau (Bülher 2000) installé aux stations amont et aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	26
Figure 11 – Comparaison des débits mesurés (disponibles dans la BDOH, base de données de l'Observatoire des Sédiments du Rhône) et des débits simulés (CSTRx) aux stations de Jons et d'Andancette pour un débit moyen, en période d'étiage et lors d'une crue.	27
Figure 12 - Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en période d'étiage.....	28
Figure 13 - Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en crue	28
Figure 14 – Activités de tritium dans les eaux du Rhône modélisées et mesurées pour le rejet réalisé en période de débit moyen.....	28
Figure 15 – Localisation des végétaux aquatiques prélevés au cours d'un rejet de tritium et de carbone 14.....	31
Figure 16 – Un râteau lancé depuis un ponton situé à l'aval du point de rejet (cliché de gauche) permet de récolter la partie aérienne des myriophylles analysées lors de cette étude (cliché de droite).....	31
Figure 17 – Localisation des échantillons consommés par des pêcheurs locaux	35
Figure 18 – Activité de tritium organiquement lié des poissons capturés par des consommateurs locaux en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	36
Figure 19 – Activité spécifique de carbone 14 des poissons capturés par des consommateurs locaux en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	36
Figure 20 – Gamme de variation du tritium organiquement lié (à gauche) et du carbone 14 (à droite) observé dans les prélèvements réalisés pour la surveillance et pour cette étude.....	37
Figure 21 – Localisation des échantillons de poissons destinés à la surveillance et pour lesquels l'étude de la variabilité des activités de tritium et de carbone 14 intrinsèque à l'échantillon a été réalisée.....	38
Figure 22 – Activités de tritium organiquement lié des individus prélevés en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.	39
Figure 23 – Activités de carbone 14 des poissons prélevés en amont et en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.	39
Figure 24 – Cartes de localisation des prélèvements réalisés au printemps 2021 (gauche) et à l'automne 2021 (droite).....	40

Figure 25 – Un cône de Berthois permet de prélever les sédiments (cliché de gauche). Ceux-ci sont filtrés pour récolter les corbicules vivant sur les fonds du Rhône (cliché de droite).....	41
Figure 26 – Substrat artificiel pour le piégeage des gammarès (©ARALEP)	41

Tableau

Tableau 1. Rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de 2019 à 2022 (d'après [10][11][12]).....	9
Tableau 2 – Plan de surveillance prévu pour le milieu aquatique dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'exploitant.....	14
Tableau 3 – Identification des différents points retenus pour caractériser les niveaux de tritium dans les eaux souterraines proches de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil (A : rejets atmosphériques de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil, R : rejets dans le Rhône en amont de la centrale de Saint-Alban, L : Rejets liquides de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil).....	18
Tableau 4 - Synthèse des résultats acquis lors des trois campagnes de suivi d'un rejet de tritium de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.	26
Tableau 5 – Résultats de tritium obtenus dans l'eau et les végétaux aquatiques et de carbone 14 obtenus dans les végétaux.	32
Tableau 6 – Résultats de tritium libre et organiquement lié (Bq/L) et de carbone 14 (Bq.kg C) obtenus dans les poissons pouvant être consommés localement.....	35
Tableau 7 – Résultats d'analyse obtenus en 2020 et 2021 sur les échantillons destinés à la surveillance de l'environnement de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.	37
Tableau 8 – Résultats de tritium organiquement lié et de carbone 14 obtenus sur les échantillons de poissons prélevés en amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.	38
Tableau 9 - Résultats de tritium libre, de tritium organiquement lié et de carbone 14 obtenus sur les échantillons de poissons prélevés en aval de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil.....	39
Tableau 10 - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés au printemps 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé)	42
Tableau 11 - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés à l'automne 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé).....	42
Tableau 11 (suite) - Activité de tritium libre et organiquement lié (Bq/l) et de carbone 14 (Bq/kg C) des poissons capturés à l'automne 2021 (Amont de la centrale nucléaire de Saint-Alban Saint-Maurice l'Exil sur fond clair, aval de la centrale sur fond foncé).....	43

IRSN
Pôle Santé et Environnement
Direction de l'Environnement

E-mail
contact@irsn.fr

N° du rapport
Rapport IRSN 2024-00121
Tous droits réservés IRSN
Avril 2024

Photo de couverture :
Le Rhône près de Condrieu. Christelle Antonelli/Médiathèque IRSN
Autres photos :
Hugo Lepage/Médiathèque IRSN
Christelle Antonelli/Médiathèque 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)