



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

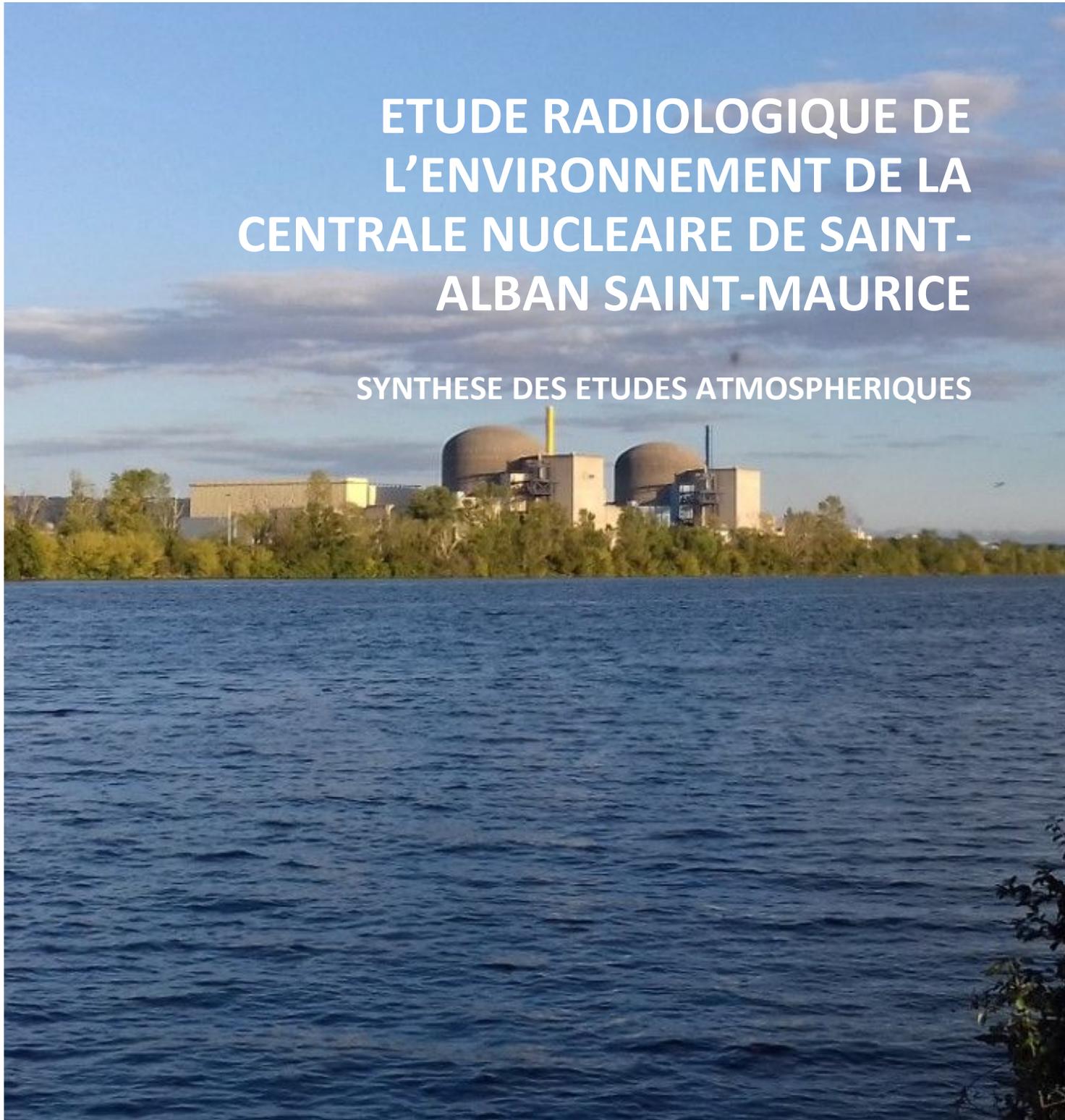
*Liberté
Égalité
Fraternité*

IRSN

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

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

SYNTHESE DES ETUDES ATMOSPHERIQUES



L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLEAIRES ET RADIOLOGIQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Deux réseaux pour surveiller l'air

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

Deux réseaux pour surveiller l'eau

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

Un réseau pour surveiller les aliments

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

Et les autres compartiments...

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

ET UNE APPROCHE TERRITORIALISÉE...

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

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

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

... POUR DES MESURES RENDUES PUBLIQUES

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

RESUME

Dans le cadre de l'étude radiologique de l'environnement du Centre Nucléaire de Production d'Electricité (CNPE) de Saint-Alban Saint-Maurice (Isère), réalisé par l'IRSN entre 2019 et 2021, l'Institut a mené de janvier à décembre 2019, en collaboration avec les élus locaux, les citoyens et avec l'appui logistique d'EDF, une campagne de mesures des activités volumiques en tritium présent dans la vapeur d'eau de l'air, à distance et à proximité du site et une campagne de mesures de la radioactivité dans les aérosols à proximité du site.

L'étude des activités volumiques en tritium présent dans la vapeur d'eau de l'air, réalisée à l'aide de nouveaux dispositifs de prélèvement, les « piègeurs passifs tritium », a pour objectif principal d'améliorer les connaissances concernant les niveaux d'activité en tritium de l'air dans l'environnement proche et lointain de la centrale afin de mieux caractériser la zone influencée par les rejets atmosphériques tritiés du site et ainsi contribuer à estimer de façon plus réaliste l'exposition des populations avoisinantes. Les résultats de cette étude permettent également de définir plus précisément les niveaux en tritium dans l'air hors influence du CNPE (le bruit de fond) et de tester et améliorer les capacités des codes de calcul utilisés par l'IRSN à simuler les transferts de radionucléides issus des rejets dans l'environnement ; ils contribuent aussi à l'étude du transfert du tritium atmosphérique aux végétaux réalisée dans le cadre de ce projet. Cette dernière étude est en cours, et fera l'objet d'un rapport dédié.

Ces dispositifs ont été déployés sur une quinzaine de points de prélèvements entre 1 et 8 km autour du CNPE avec une période de prélèvement de 15 jours, ce qui représente près de 200 mesures de tritium sous forme d'eau tritiée (HTO). En complément de ces piègeurs passifs, un barboteur tritium permettant de mesurer le tritium total de l'air, en distinguant, d'une part la contribution du HTO, d'autre part la contribution des autres formes gazeuses (HT, CH₃T...), a été installé au point de surveillance réglementaire dit « AS1 » du CNPE (point situé à 1 km des cheminées du CNPE sous les vents dominants). Ces prélèvements, réalisés également tous les quinze jours, associés à une métrologie performante¹, ont permis de déterminer les contributions des différentes formes chimiques du tritium dans les activités mesurées et de comparer les activités mesurées avec celles acquises pour les mêmes périodes à l'aide du piègeur passif disposé au même emplacement, avec en particulier l'objectif de

confirmer et de valider les performances de ce nouveau dispositif.

L'analyse des résultats montre que les activités mesurées en tritium dans la vapeur d'eau de l'air sont les plus élevées à 1 kilomètre au nord et au sud du site, sous les vents dominants, avec une moyenne sur l'ensemble de l'étude de l'ordre de 4 Bq/L de vapeur d'eau dans l'air soit environ 0,04 Bq/m³ d'air². Ces activités diminuent avec la distance au site pour rejoindre très rapidement, entre 3 et 4 km sous les vents dominants, et dès le premier kilomètre à l'est et à l'ouest du site, des activités proches du bruit de fond mesuré hors influence d'installations nucléaires (de 0,4 à 1,9 Bq/L en 2019). Ces résultats, qui montrent l'importance de l'azimut du point de prélèvement par rapport au site, permettent d'expliquer les importantes variabilités des activités en tritium organiquement lié mesurées dans les matrices terrestres prélevées à proximité des CNPE dans le cadre de la surveillance environnementale. L'activité moyenne en tritium total mesurée à l'aide du barboteur est de 0,047 ± 0,001 Bq/m³ d'air, 83% de cette activité due à HTO et 17% à ses autres formes gazeuses (HT, CH₃T...). Cette répartition est conforme aux résultats d'une précédente étude réalisée à proximité du CNPE de Cruas-Meysses ainsi qu'aux formes chimiques des rejets tritiés gazeux d'un CNPE. La moyenne des activités mesurées en HTO prélevée à l'aide du barboteur tritium de 0,039 ± 0,001 Bq/m³ d'air est égale, à l'incertitude près, à celle mesurée à l'aide du piègeur passif disposé au même emplacement (0,039 ± 0,002 Bq/m³ d'air), ce qui permet de valider les performances des piègeurs passifs tritium.

L'étude des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité du site a pour objectifs, d'une part, de compléter les connaissances sur les niveaux des différents radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle ou artificielle présents à l'état de traces dans les aérosols atmosphériques à proximité d'un CNPE, d'autre part, d'étudier la faisabilité d'études complémentaires envisagées dans le cadre de ce projet (études sur les dépôts atmosphériques des radionucléides et sur la distribution granulométrique de l'activité des aérosols).

Pour réaliser cette étude, une station de collecte d'aérosols atmosphériques à grand débit régulé (≈330 m³/h), fonctionnant 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24 a été disposée au point de surveillance réglementaire AS1 à 1 km des cheminées du CNPE sous les vents

¹ La métrologie mise en œuvre en routine pour la surveillance régulière permet généralement de détecter des activités en tritium supérieures à 5 Bq/L. Ce seuil de décision est trop important pour permettre d'atteindre les objectifs de l'ERS. Aussi, pour cette étude, la métrologie employée a permis de détecter des niveaux d'activité inférieurs à 1 Bq/L.

² Les données de température et d'humidité sont mesurées et collectées à l'aide d'un hygromètre numérique implanté avec chaque piègeur passif. Les informations ainsi recueillies permettent de convertir les activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique, exprimées en Bq/L, en activités volumiques exprimées en Bq/m³ d'air.

dominants. Ce dispositif, associé à une métrologie plus performante que celle mise en œuvre pour la surveillance régulière, permet d'atteindre des seuils de décision métrologique extrêmement bas ($< 1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

L'analyse des résultats montre que, en dehors des radionucléides d'origine naturelle et du **césium 137**, également mesuré par les stations de collecte de l'IRSN situées hors influence d'installations nucléaires (rémanence des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl), les cobalts 58 et 60 ainsi que l'antimoine 124 ont été quantifiés sur 4 des 27 filtres

analysés, à des niveaux compris entre 0,04 et 5,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Ces radionucléides résultent des rejets effectués pendant le fonctionnement normal de la centrale. Leurs activités **sont du même ordre de grandeur que celles mesurées lors d'études similaires menées précédemment à proximité d'autres CNPE entre 2011 et 2018**. Leur fréquence de détection est cependant plus faible (7 à 11 %).

Ce rapport présente les résultats de ces études précédés d'une synthèse des connaissances actuelles sur ces différents sujets.

Mot-clés

Tritium, atmosphérique, aérosols, Centre Nucléaire de Production d'Electricité, CNPE, étude radiologique de site.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	8
2. LE CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	10
2.1 LE CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	10
2.2 ORIGINE DES RADIONUCLÉIDES REJETÉS À L'ATMOSPHÈRE PAR UN CNPE	11
— Fonctionnement du CNPE pendant l'étude.....	12
2.3 PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT D'UN CNPE	13
3. ÉTUDE DES NIVEAUX DE TRITIUM DANS L'AIR DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	14
3.1 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES NIVEAUX EN TRITIUM DANS L'AIR À PROXIMITÉ DES CNPE	14
— Généralités sur le tritium dans l'air	14
— Tritium dans l'air à proximité des CNPE.....	14
3.2 ÉTUDE DES NIVEAUX EN TRITIUM À PROXIMITÉ DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	17
— Rejets tritiés du CNPE	17
— Résultats de la surveillance réglementaire effectuée par EDF.....	18
3.3 MOYENS ET MÉTHODES	18
— Piégeurs passifs tritium	18
— Barboteur tritium	20
— Métrologie	20
3.4 RÉSULTATS DES ACTIVITÉS DE TRITIUM DANS LA VAPEUR D'EAU DE L'AIR PRÉLEVÉE À L'AIDE DE PIÉGEURS PASSIFS	21
— Stratégie d'implantation des piègeurs passifs.....	21
— Résultats	22
3.5 RÉSULTATS DES ACTIVITÉS EN TRITIUM DANS L'AIR PRÉLEVÉ À L'AIDE DU BARBOTEUR TRITIUM.....	27
— Contexte.....	27
— Résultats	28
3.6 RELATION ENTRE LE TRITIUM DE L'AIR ET DES VÉGÉTAUX TERRESTRES.....	30
4. ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES AÉROSOLS À PROXIMITÉ DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE	32
4.1 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES NIVEAUX D'ACTIVITÉ DANS L'AIR SOUS FORME AÉROSOL À PROXIMITÉ DES CNPE	32
— Contexte.....	32
— Moyens et méthodes.....	32
— Résultats	34
4.2 ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES AÉROSOLS À PROXIMITÉ DU CNPE SAINT ALBAN SAINT-MAURICE.....	36
— Contexte.....	36
— Moyens et méthodes.....	37
— Résultats	38

5. CONCLUSION	43
6. REFERENCES.....	45
7. ANNEXES	47

INTRODUCTION

En complément de la connaissance issue de la surveillance de l'environnement des sites nucléaires, l'IRSN a engagé en 2019 un nouveau programme visant une caractérisation radiologique plus précise de cet environnement : les « Études radiologiques de site » (ERS) [1]. L'environnement de la centrale nucléaire d'EDF de Saint-Alban Saint-Maurice (Isère) a été choisi par l'IRSN pour réaliser une étude pilote afin de mettre en place une méthodologie transposable à d'autres sites similaires. Ce 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 prévu sur 3 ans (2019-2021)³, a pour objectifs principaux d'améliorer les connaissances scientifiques sur l'influence des rejets radioactifs de la centrale sur son environnement, d'estimer de manière 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.

Ce rapport présente les résultats de deux études réalisées en 2019 dans le compartiment atmosphérique de l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice :

- une étude des activités volumiques en tritium présent dans la vapeur d'eau de l'air, à distance et à proximité du site, menée entre janvier et octobre 2019 ;
- une étude des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité du site (1 km sous les vents dominants) menée entre juin et décembre 2019.

Le tritium est, avec le carbone 14, le radionucléide le plus abondant dans les rejets d'effluents gazeux liés au fonctionnement normal d'un Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE) d'EDF (de 0,6 à 3,5 TBq/an de tritium en fonction de la puissance et de la quantité d'énergie produite ; cf. tableau 1). L'influence de ces rejets tritiés sur l'environnement des centrales est suivie dans le cadre de la surveillance réglementaire réalisée par l'exploitant ainsi que dans celui de la surveillance réalisée par l'IRSN, notamment à l'aide d'un dispositif de piégeage du tritium atmosphérique par barbotage, installé à environ un kilomètre sous les vents dominants et par l'analyse des activités en tritium dans certains végétaux prélevés dans l'environnement du site.

L'analyse des résultats de cette surveillance montre, d'une part que les activités mesurées en HTO sur les prélèvements atmosphériques sont très majoritairement inférieures aux seuils de décisions (SD)⁴ (SD de 0,1 à 0,3 Bq/m³ d'air), bien en deçà de la limite réglementaire fixée pour ce radionucléide à 50 Bq/m³ d'air, d'autre part une augmentation très localisée de l'activité en tritium des végétaux et de la chaîne alimentaire assortie d'une importante variabilité des activités mesurées dans les prélèvements les plus proches des installations. Afin de compléter ces connaissances sur les niveaux de tritium dans l'air au voisinage d'un CNPE, l'IRSN a réalisé par le passé plusieurs études à proximité de différentes centrales nucléaires (Cruas, Flamanville, Golfech, Gravelines).

Dans le cadre de l'étude radiologique de l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et sur la base de ses connaissances, l'IRSN a mené une campagne de mesure des niveaux de tritium présent dans la vapeur d'eau de l'air, à distance et à proximité du site, ainsi qu'une campagne de prélèvement de végétaux et de denrées, végétales et animales, produites localement.

³ Le planning général de l'ERS a dû être adapté face à la situation inédite liée à l'épidémie de Coronavirus Covid-19, ainsi certaines études ont été décalées, d'autres annulées. Néanmoins, l'IRSN met tout en œuvre pour maintenir l'objectif d'une restitution publique de l'étude fin 2021. Pour ce faire, les études permettant une estimation réaliste de l'exposition des populations sont effectuées en priorité, celles relevant de l'acquisition d'informations nécessaires à l'amélioration des connaissances scientifiques de l'Institut sont maintenues mais seront valorisées ultérieurement.

⁴ Le seuil de décision est la valeur minimale que doit avoir le résultat de la mesure d'un échantillon pour que le métrologue puisse « décider » qu'un radionucléide est présent ou non et que son activité est quantifiable. En dessous de cette valeur, l'activité de l'échantillon est trop faible pour être estimée. Ce seuil de décision dépend de la performance et du rayonnement ambiant autour des moyens de mesure utilisés, de la radioactivité présente dans l'échantillon analysé et de la durée de la mesure.

L'étude des niveaux de tritium dans l'air, dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, a pour objectifs de fournir des connaissances plus précises sur l'influence des rejets tritiés d'un CNPE et notamment de déterminer la variabilité spatiale des niveaux de tritium dans l'air autour de ce site et d'expliquer ainsi les différents teneurs de ce radionucléide dans les végétaux, observées dans le cadre de la surveillance régulière. Dans un second temps, ces résultats seront utilisés pour tester la capacité des codes de calcul de l'IRSN à modéliser les transferts de tritium en tenant compte des spécificités de ce site, pour contribuer à l'étude du transfert du tritium aux végétaux et enfin pour estimer de manière plus représentative l'exposition des populations avoisinantes. Pour cela, l'IRSN a déployé, avec la collaboration de l'exploitant et des acteurs locaux, des dispositifs de piégeage passif de la vapeur d'eau de l'air sur une quinzaine de points de prélèvements entre un et huit kilomètres autour du CNPE ainsi qu'un barboteur tritium permettant de déterminer les contributions des différentes formes chimiques du tritium⁵ au point d'activités maximales à un kilomètre sous les vents dominants, ce qui représente, avec une fréquence de prélèvement bimensuelle, un peu plus de 260 résultats de mesure exploités.

Bien que les activités rejetées en produits de fission et d'activation (PF/PA) soient très nettement inférieures à celle du tritium, des aérosols sont également prélevés et analysés à proximité des CNPE dans le cadre de la surveillance régulière de l'environnement. Il s'agit de prélèvements effectués, d'une part par EDF, lors de la surveillance de routine, à l'aide de stations d'aspiration en continu à faible débit ($\approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$) réparties en quatre points autour de la centrale (appelés AS 1 à 4), d'autre part par l'IRSN au point de surveillance réglementaire située à 1 km des rejets sous les vents dominants au moyen d'une station d'aspiration en continu à moyen débit ($80 \text{ m}^3/\text{h}$). Dans la plupart des cas, les niveaux d'activité des radionucléides résultant du fonctionnement normal d'un CNPE sont trop faibles pour être mesurés dans le cadre de cette surveillance régulière et ce n'est que très ponctuellement, que du cobalt 58, du cobalt 60, de l'argent 110m et du manganèse 54 sont mesurés à des niveaux souvent proches des seuils de décision.

Afin de mieux connaître les niveaux des différents radionucléides d'origine artificielle présents à l'état de traces dans les aérosols atmosphériques à proximité d'un CNPE en fonctionnement normal, l'IRSN a réalisé, avec le concours d'EDF, quatre campagnes de mesure à proximité des CNPE de Golfech, Tricastin, Cruas-Meysses et Gravelines, entre 2011 et 2018. Pour ces campagnes des stations d'aspiration en continu à grand débit ($\approx 300 \text{ m}^3/\text{h}$) associé à des moyens métrologiques d'expertise très performants ont été utilisés, ce qui permet d'atteindre des seuils de décision très bas ($< 1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) qui se rapprochent de ceux obtenus par les stations pérennes à très grands débits (700 ou $800 \text{ m}^3/\text{h}$) de l'Observatoire PERmanent de la RAdioactivité dans l'air (OPERA-Air)⁶ situées hors influence de rejets industriels. Grâce au haut niveau de performance analytique mis en œuvre par l'IRSN au cours de l'ERS, ces campagnes ont permis de mesurer des activités très faibles de radionucléides résultant du fonctionnement normal de ces installations et habituellement non mesurées dans le cadre de la surveillance régulière effectuée par EDF ou par l'IRSN. Les quatre radionucléides les plus régulièrement mesurés avec des activités comprises entre $0,03$ et $5,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ sont les cobalts 58 et 60, l'argent 110 métastable et le césium 137.

L'étude des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, conduite dans le cadre de cette étude radiologique, a pour objectif de compléter les connaissances acquises lors des précédentes études en utilisant la même méthodologie, afin de connaître le plus précisément possible les niveaux d'activités à proximité de ce site. Ces niveaux mesurés seront comparés aux données issues des codes de calculs utilisés à l'IRSN. Les résultats acquis sur les aérosols atmosphériques permettront également d'étudier la faisabilité d'études complémentaires envisagées dans le cadre de ce programme d'étude.

Une étude des niveaux en carbone 14 dans l'air à proximité du site a également été menée en 2019, mais compte tenu des contraintes liées à l'épidémie de Covid-19, les résultats de mesure ne sont pas encore disponibles pour être intégrés à ce rapport de synthèse. Cette étude a pour objectif de compléter les connaissances acquises lors de l'étude similaire menée à proximité du CNPE de Cruas-Meysses de mai 2015 à mai 2016 afin d'étudier les différentes formes chimiques sous lesquelles le carbone 14 est présent dans l'air ambiant (CO_2 et CH_4 pour le carbone 14) et d'analyser la cohérence entre les activités volumiques ajoutées en $^{14}\text{CO}_2$ par le CNPE et le marquage constaté dans les végétaux terrestres à proximité du CNPE.

⁵ La composition chimique est utile pour comparer les mesures entre piègeurs passifs et barboteurs et évaluer la part de tritium rejeté par le CNPE assimilable par les végétaux.

⁶ Le Réseau OPERA-AIR de l'IRSN vise à réaliser la surveillance de la radioactivité des aérosols atmosphériques sur le territoire national et en outre-mer. Il fournit la grande majorité des échantillons (67 %) de la surveillance atmosphérique par prélèvement. Il est composé de plus d'une quarantaine de stations de collecte d'aérosols sur filtre, dont 32 à proximité des installations nucléaires (débit d'aspiration d'environ $80 \text{ m}^3/\text{h}$) et une dizaine hors influence des installations nucléaires (débit d'aspiration de 300 à $800 \text{ m}^3/\text{h}$). Toutes les stations fonctionnent en continu (7 jours sur 7, 24 heures sur 24).

LE CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

2.1 LE CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

Le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice 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. 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 suite à l'arrêt définitif des deux réacteurs nucléaires de la centrale de Fessenheim en février et juin 2020. Chaque CNPE comporte de 2 à 6 réacteurs d'une puissance unitaire de 900 à 1450 MWe pour un total de 56 réacteurs en production. Le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice est composé de deux réacteurs à eau sous pression (REP) de 1300 MWe (figure 1). La construction du site de Saint-Alban Saint-Maurice a été décidée en 1975, et les premiers travaux d'aménagement ont débuté en 1978. Les deux unités de production ont été couplées au réseau en août 1985 (tranche 1 – INB 119) et juillet 1986 (tranche 2 – INB 120). Le refroidissement est assuré directement par l'eau du Rhône, sans présence d'aéroréfrigérants. En aval immédiat du site se trouve l'aménagement hydraulique du Péage-de-Roussillon géré par la Compagnie Nationale du Rhône.

Deux autres CNPE sont situés en amont sur le Rhône, le CNPE de Bugey (4 réacteurs REP et un réacteur à Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) mis à l'arrêt définitif) et Creys-Malville (Réacteur à Neutrons Rapides (RNR) Superphénix en cours de démantèlement). 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 et un CNPE) et le site du CEA de Marcoule.

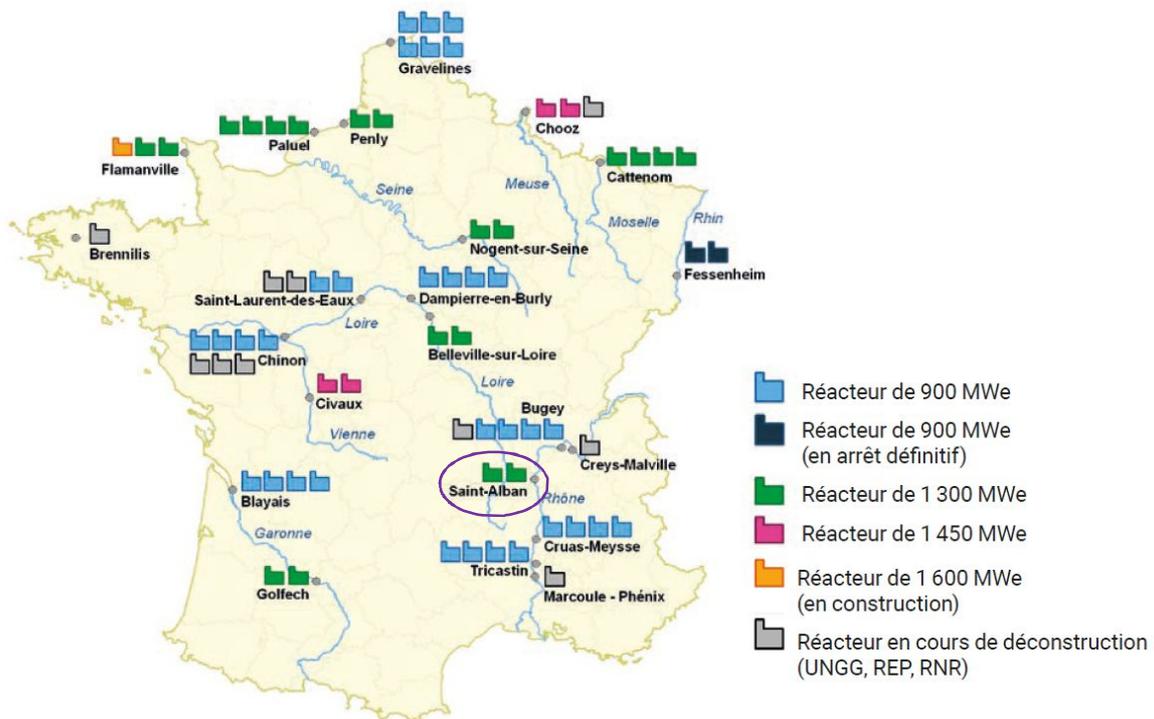


Figure 1 : Localisation des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) d'EDF en exploitation, en arrêt définitif, en cours de démantèlement, nombre et puissance des réacteurs en exploitation [2]

2.2 ORIGINE DES RADIONUCLÉIDES REJETÉS A L'ATMOSPHERE PAR UN CNPE

Le fonctionnement normal d'un CNPE entraîne la production d'effluents radioactifs rejetés dans l'atmosphère et en milieu aquatique. Ces rejets dans l'environnement, dont les modalités sont encadrées par des autorisations propres à chaque centrale, sont effectués après contrôle et surveillance des niveaux de radioactivité conformément à la réglementation [3] [4][5].

Parmi les substances radioactives susceptibles d'être présentes dans les effluents d'un CNPE [6], on distingue :

- Les **produits de fission** : créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium. Ces radionucléides restent en quasi-totalité confinés dans le combustible. Ils peuvent néanmoins migrer dans l'eau du circuit primaire et donc se retrouver dans les effluents.
Principalement : les iodes 131 et 133, les césiums 134 et 137, le krypton 85, le tritium, le carbone 14, le strontium-90.
- Les **produits d'activation** : créés à l'extérieur du combustible.
Principalement : les cobalts 58 et 60, le manganèse 54, l'antimoine 124, le chrome 51, l'argent 110 métastable, le nickel 63, le **tritium** et le carbone 14.
- Les **actinides** : formés dans le combustible, ils y restent en quasi-totalité confinés.

Les conditions de rejets permettent d'assurer que dans toutes les plages et conditions de fonctionnement normal, y compris les plus pénalisantes, l'exposition du public reste inférieure à 1 mSv/an conformément à l'article R.1333-8 du Code de la santé publique.

Concernant les rejets d'effluents radioactifs gazeux, cinq catégories sont distinguées : le tritium, le carbone 14, les iodes et tous les autres produits d'activation ou de fission rejetés sous forme de gaz rares ou d'aérosols. En termes d'activité rejetée, les gaz rares, le tritium et le carbone 14 sont les radionucléides les plus abondants (tableau 1). Pour les aérosols, le « spectre de référence ⁷ » pour la comptabilisation des rejets est composé des radionucléides suivants : ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs.

Tableau 1 : Gammes des rejets annuels atmosphériques réels (min-max) des CNPE en GBq/an⁸ pour la période de 2017 à 2019 [2]

CNPE	Gaz rares	Tritium	Carbone 14	Iodes	PF/PA*
Gravelines	1 530 - 9 430	1 770 - 2 420	1 000 - 1 120	0,050 - 0,100	0,006 - 0,011
Cattenom, Paluel	500 - 2 260	1 700 - 3 540	570 - 850	0,034 - 0,160	0,007 - 0,008
Bugey, Cruas, Chinon, Dampierre, Tricastin, Blayais	440 - 4 840	590 - 1 520	440 - 890	0,014 - 0,067	0,002 - 0,006
Civaux, Chooz	500 - 2 010	620 - 1 580	170 - 260	0,016 - 0,107	0,001 - 0,007
Bellemeville, Flamanville, Golfech, Nogent, Penly, St-Alban	370 - 8 130	670 - 1 590	180 - 630	0,008 - 0,121	0,001 - 0,027
Fessenheim, St-Laurent	110 - 770	590 - 880	120 - 350	0,007 - 0,011	0,001 - 0,002

* PF/PA : produits de fission/produits d'activation : cobalt-60, cobalt-58, argent-110m, césium-137...

⁷ Tous les radionucléides détectés sont systématiquement comptabilisés, certains radionucléides fréquents (dits appartenant au spectre de référence) sont comptabilisés au minimum détectable (seuil de décision métrologique) même s'ils n'ont pas été physiquement détectés.

⁸ L'activité d'un radionucléide est le nombre de désintégration par seconde, l'unité est le Becquerel (Bq).

Pour quantifier les rejets radioactifs d'une installation nucléaire, le becquerel étant une unité très petite, on utilise des multiples : kilobecquerel kBq (= 1 000 Bq), mégabecquerel MBq (= 1 000 000 Bq), gigabecquerel GBq (= 1 000 MBq), terabecquerel TBq (= 1 000 GBq)

Les activités dans l'environnement sont souvent très faibles et on utilise des sous-multiples : par exemple, millibecquerel mBq (= 0,001 Bq), microbecquerel µBq (0,000001 Bq).

Il existe deux principaux types de rejets atmosphériques :

- Les **rejets permanents** qui correspondent à la ventilation des bâtiments.
- Les **rejets concertés** qui proviennent soit de la décompression du Bâtiment Réacteur, soit de la vidange des Réservoirs de Stockage d'effluents hydrogénés après décroissance radioactive de 30 jours minimum.

Les effluents des réservoirs de stockage et l'air du bâtiment réacteur sont contrôlés avant rejet. L'ensemble des rejets s'effectue par la cheminée après passage sur des filtres absolus à très haute efficacité, pour la rétention des aérosols et sur des pièges à iodes à charbon actif. Chaque cheminée de rejet est instrumentée pour permettre les contrôles des rejets radioactifs gazeux. Ces contrôles sont effectués soit en continu soit de manière périodique (1^{er} au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 21 à la fin du mois). La comptabilisation des rejets est volontairement majorée dans le sens où l'activité déclarée est égale au seuil de décision (SD) pour les radionucléides du spectre de référence dont l'activité mesurée est inférieure à celui-ci.

Les rejets radioactifs atmosphériques du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice sont effectués par les cheminées de rejet 1 et 2 (une par unité de production). Le tableau 2 présente les activités rejetées par le CNPE en 2019 [5] [8] [9].

Tableau 2 : Rejets radioactifs à l'atmosphère 2019 du CNPE de Saint-Alban Saint Maurice

Rejets radioactifs à l'atmosphère du CNPE de Saint-Alban 2019	Unité	Limite annuelle Réglementaire	Activités rejetées	% de la limite réglementaire
Gaz rares	GBq	25 000	617	2,47
Tritium	GBq	4 500	1 240	27,6
Carbone-14	GBq	1 400	514	36,7
Iodes	GBq	0,80	0,0286	3,58
Autres produits d'activation et de fission	GBq	0,1	0,0069	6,91

Ces rejets, relativement constants depuis 2008, ont diminué entre 2000 et 2008, principalement en lien avec la réduction des émissions de gaz rares et de tritium. Cette réduction s'observe également pour les autres produits d'activation et de fission [7] [11].

Du fait de la configuration topographique de la zone, les directions privilégiées du vent sont relativement nettes et orientées selon la direction du sillon rhodanien. La dispersion atmosphérique s'effectue majoritairement vers le nord et le sud du site.

Fonctionnement du CNPE pendant l'étude

Durant l'étude, le réacteur numéro 1 de la centrale a fonctionné de manière permanente, le réacteur numéro 2 a été arrêté du 7 septembre au 27 novembre 2019 pour des actions de maintenance programmée.



© S. Sassoulas

Vue du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

2.3 PROGRAMME DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT D'UN CNPE

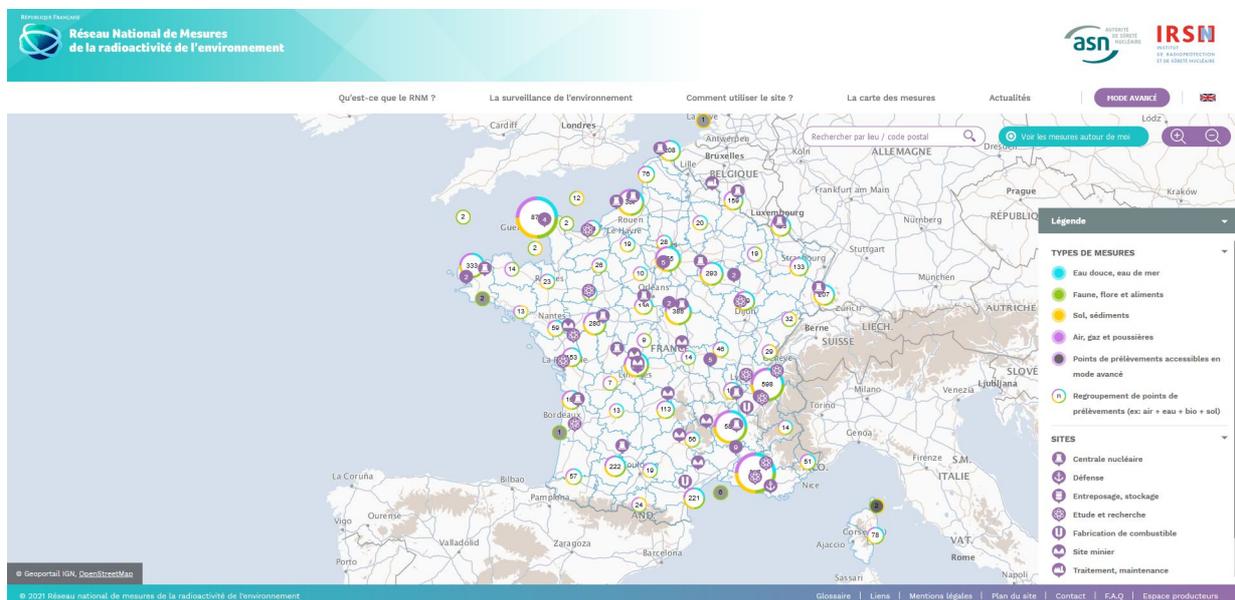
Le programme de surveillance de l'environnement ainsi que les acteurs qui le mettent en œuvre ont beaucoup évolué depuis la mise en production du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et le « point zéro » effectué par l'IPSN⁹ entre juin 1980 et octobre 1981.

De nos jours, l'exploitant doit réglementairement assurer une surveillance de l'environnement. Cette surveillance consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyse(s), dans les compartiments atmosphérique, terrestre et aquatique proches de la centrale, sous et hors vents dominants, dans les eaux souterraines, en amont et en aval du point de rejet principal des effluents liquides [6]. Le plan de surveillance de l'environnement de l'exploitant, mis en œuvre en application de la décision 2016-DC-0569 de l'ASN [10], vise à détecter dans l'environnement les radionucléides présents dans les rejets effectués en situation de fonctionnement normal, à mesurer leur activité ainsi qu'à alerter d'une augmentation anormale des niveaux de radioactivité dans l'environnement et de tout dépassement vis-à-vis des limites prescrites par l'Autorité lorsqu'elles existent. Ce plan de surveillance est complété, à l'initiative d'EDF, par des évaluations décennales plus exhaustives (prélèvements et analyses spécifiques comme la réalisation de spectrométries alpha ou gamma in situ) et des études radioécologiques annuelles, visant à évaluer de manière plus précise l'impact du site sur les différents compartiments de l'environnement.

L'IRSN, dans le cadre de ses missions, réalise également une surveillance autour des CNPE. Cette surveillance vise à évaluer l'influence du fonctionnement du site sur son environnement et sur la population, à déterminer les niveaux d'activités à proximité de celui-ci ainsi que leur évolution dans le temps et à détecter toute élévation anormale de la radioactivité. Répondant à un objectif différent, mais complémentaire des mesures réalisées par l'exploitant, elle repose en outre sur une métrologie plus performante permettant d'atteindre le plus souvent le bruit de fond ou, a minima, de mesurer de faibles activités.

Des études ponctuelles peuvent également être menées par d'autres organismes ou associations environnementales.

Les résultats de cette surveillance sont accessibles sur le site et dans les rapports annuels d'EDF [7] [8], sur le site du Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) [12], dans les rapports [7] [2] et sur le site internet de l'IRSN [13].



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

⁹ Institut de Protection et de Sureté Nucléaire (IPSN) du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). Le gouvernement décide en 1998 de faire évoluer l'IPSN vers un organisme séparé du CEA pour affirmer ses fonctions et son indépendance, puis en mai 2000 de réunir l'IPSN et l'OPRI (Office de protection contre les rayonnements ionisant) pour former l'IRSN et ainsi renforcer les moyens de la radioprotection en France et favoriser les liens entre la sûreté nucléaire et la radioprotection (l'IRSN est créé en 2001, le décret est adopté en Conseil des ministres en février 2002).

ETUDE DES NIVEAUX DE TRITIUM DANS L'AIR DANS L'ENVIRONNEMENT DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

3.1 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES NIVEAUX EN TRITIUM DANS L'AIR A PROXIMITÉ DES CNPE

Généralités sur le tritium dans l'air

Le tritium, symbolisé « ^3H » ou « T », est l'un des 3 isotopes de l'hydrogène.

Origines : Le tritium est produit naturellement dans les hautes couches de l'atmosphère par interaction des rayonnements cosmiques et de la matière. On parle alors d'une origine cosmogénique ($\approx 70\,000$ TBq/an). Il interagit très rapidement avec l'oxygène de l'air pour former des molécules d'eau tritiées. Le tritium provient également des retombées des essais nucléaires qui ont introduit une grande quantité de ce radionucléide dans l'atmosphère. En 2007, il restait encore $140\,000$ TBq de tritium dans l'air lié à cette source. Enfin, le tritium figure parmi les radionucléides les plus rejetés par l'industrie nucléaire. En France, les principaux contributeurs sont le site ORANO de La Hague (≈ 60 TBq en 2018), le site CEA de Valduc (≈ 300 TBq en 2017) et les CNPE d'EDF (0,6 à 3,5 TBq/an ; cf. tableau 1).

Formes chimiques : Dans l'air, on retrouve le tritium dans la vapeur d'eau (appelé HTO ou tritium libre) et dans les gaz sous forme d'hydrogène tritié (HT) et de méthane tritié (CH_3T) [14] [15]. L'activité volumique de HTO dans la vapeur d'eau atmosphérique s'exprime en becquerels par litre (Bq/L). L'activité volumique en tritium est également exprimée en Bq/m^3 d'air, obtenue soit directement à l'aide d'un moyen de prélèvement par aspiration de l'air ambiant (ex : barboteur tritium), soit par conversion de l'activité volumique de HTO dans la vapeur d'eau de l'air à l'aide des données de températures et d'hygrométries mesurées.

Activités attendues/mesurées : À l'échelle de la France métropolitaine, de nos jours, la répartition du tritium est assez homogène à l'écart de toute source anthropique locale, les activités volumiques mesurées sont de l'ordre de $0,01$ Bq/m^3 d'air [7]. Le bruit de fond radiologique en tritium attendu dans les différentes composantes de l'environnement, en 2019, hors influence de toute installation autorisée à rejeter ce radionucléide est de l'ordre de $0,4$ à $1,9$ Bq/L d'eau [16]. En déduisant à cette gamme de valeur, un bruit de fond cosmogénique compris entre $0,1$ et $0,6$ Bq/L, on en déduit que la contribution du tritium hérité des retombées des essais nucléaires est encore comprise entre 40 et 90% [16]. Au voisinage de certaines installations nucléaires, sous les vents dominants des émissaires de rejet, les activités en tritium mesurées dans l'air sont plus élevées [2][7].

Tritium dans l'air à proximité des CNPE

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement réalisée par l'exploitant EDF, un dispositif de piégeage du tritium atmosphérique par barbotage est installé au point « AS 1 » à 1 km des émissaires de rejets à l'atmosphère du CNPE sous les vents dominants. Ce dispositif ne piège que le tritium sous sa forme HTO (forme majoritairement rejetée par les CNPE d'EDF $\approx 80\%$). Les activités en HTO mesurées dans l'air hebdomadairement à l'aide de ce dispositif, sont très majoritairement inférieures aux seuils de décision. Depuis 2012, 98% des valeurs sont inférieures au seuil de décision qui se situe autour de $0,25$ Bq/m^3 [12], les quelques résultats de mesure significatifs ($0,06$ à $1,3$ Bq/m^3) sont bien en deçà de la limite réglementaire pour ce radionucléide fixée à 50 Bq/m^3 [2] [3].

Afin de connaître précisément les niveaux en tritium à proximité d'un CNPE, l'IRSN a mené dans le passé plusieurs campagnes de mesure du tritium dans l'air :

- **A proximité du CNPE de Cruas-Meyssse :** de mai 2015 à mai 2016, l'IRSN a installé un dispositif spécifiquement dédié au prélèvement du tritium atmosphérique de type barboteur (SDEC - MARC 7000) à la station de surveillance AS1 à 1 km au sud du CNPE. Les prélèvements ont été effectués sur une période de 15 jours et les 4 pots du barboteur ont été analysés individuellement. Les activités mesurées en tritium total par scintillation liquide lors de cette étude étaient comprises entre $0,036 \pm 0,004$ et $0,124 \pm 0,007$ Bq/m^3 avec une activité moyenne d'environ

0,07 Bq/m³. Le tritium a été mesuré majoritairement sous sa forme de vapeur d'eau HTO (≈ 86 %), les autres formes de tritium mesurées dans l'air (HT et CH₃T) étant largement minoritaires [7] [17] (figure 2).

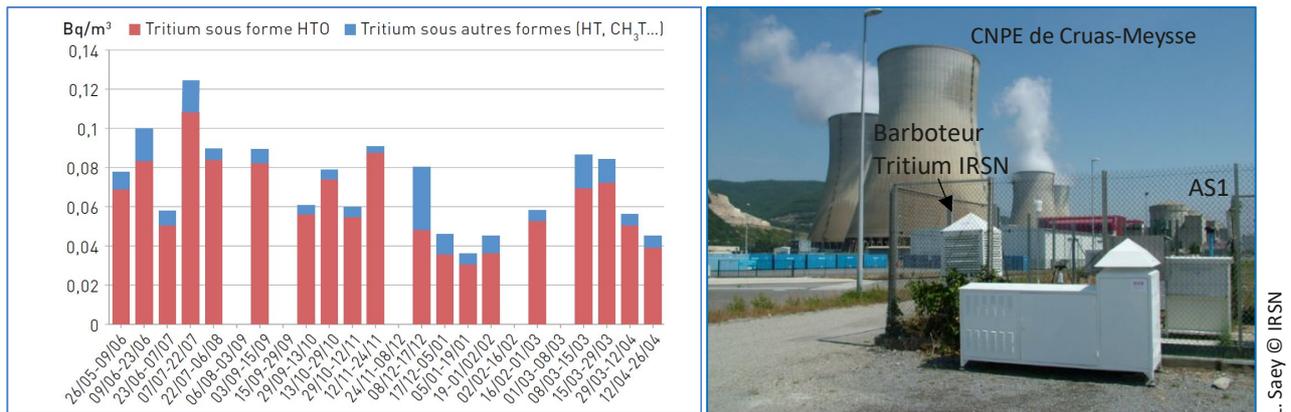


Figure 2 : Etude des niveaux de tritium de l'air au point AS1 du CNPE de Cruas-Meysses 2015-2016

- **A proximité du CNPE de Flamanville** : Quatre campagnes de prélèvements ont été réalisées en 2018 et 2019 dans l'environnement du site afin de mieux caractériser les niveaux de HTO dans l'air. Les prélèvements, d'une durée d'une demi-heure, ont été effectués à l'aide d'un condenseur H3R7000 alimenté par un groupe électrogène, en s'assurant d'être sous les vents des cheminées de rejet des réacteurs, en différents points situés entre 400 m et 1,6 km du CNPE (points A à I cf. figure 3). Les résultats montrent des activités mesurées comprises entre $1,3 \pm 1,4$ Bq/L et $19,5 \pm 1,1$ Bq/L soit entre $0,0071 \pm 0,0075$ à $0,1655 \pm 0,0097$ Bq/m³ (figure 3).

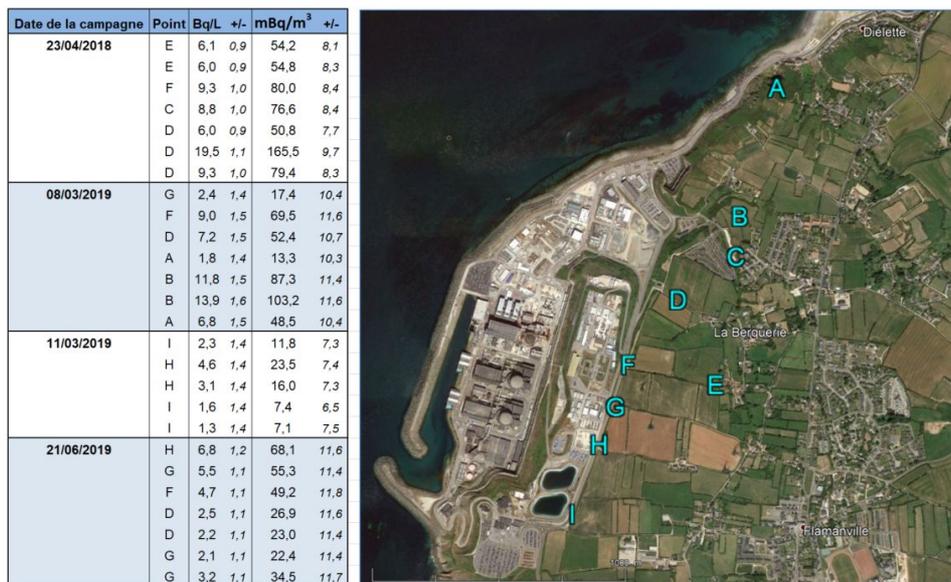


Figure 3 : Etude des niveaux de tritium dans l'air dans l'environnement du CNPE de Flamanville en 2018 et 2019

- **A proximité du CNPE de Golfech** : L'IRSN a réalisé une campagne de prélèvements à l'aide d'un condenseur de type H3R7000 les 24-25 juillet 2012 dans le cadre du constat régional sud-ouest [18]. L'étude a consisté à réaliser des prélèvements à haute fréquence en 2 points différents simultanément, l'objectif étant d'évaluer l'ampleur des variations de l'activité en tritium à l'échelle de quelques heures. Deux dispositifs ont été installés durant 24 h aux points de surveillance atmosphérique de l'exploitant « AS 1 » (800 et 950 m à l'est des émissaires) et « AS 3 » (800 et 1000 m au nord-ouest des émissaires) pour réaliser des prélèvements durant 1 heure, répétés toutes les 2 heures. Deux prélèvements ont été ajoutés pour disposer de références locales à plusieurs kilomètres du CNPE. Les niveaux d'activités en tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurés lors de la campagne ont oscillé entre le bruit de fond, de l'ordre de 0,01 Bq/m³, et une valeur maximum de $0,15 \pm 0,3$ Bq/m³. On note également une très grande variabilité des niveaux lié à l'effet de battement des vents très rapide durant cette période. Les niveaux mesurés à distance du CNPE sont restés inférieurs au seuil de décision, de l'ordre du bruit de fond (figure 4).

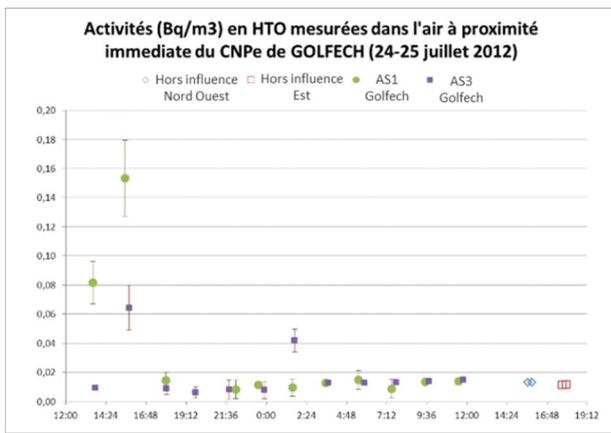


Figure 4 : Etude des niveaux de tritium dans l'air dans l'environnement du CNPE de Golfech en 2012

- **A proximité du CNPE de Gravelines :** Une étude sur les niveaux de tritium dans l'air a été menée, à l'aide de piègeurs passifs tritium de mars à octobre 2016, en collaboration avec le réseau ATMO Hauts-de-France [19]. L'objectif de cette étude était de situer la limite de la zone influencée par les rejets tritiés de la centrale (contrairement aux autres études où les points de mesures étaient concentrés dans la zone la plus influencée) et de déterminer le bruit de fond local en tritium. Pour cette étude, cinq stations ont été retenues : Calais-Parmentier à 19 km du CNPE ; Gravelines à 3 km du CNPE ; Loon-Plage à 8 km du CNPE ; Grande-Synthe à 12 km du CNPE et Malo-les-Bains à 21 km du CNPE. Au total, 85 prélèvements sur les 5 stations ont été réalisés. Les activités mesurées sont faibles et varient assez peu dans le temps ou en fonction de la distance avec le CNPE. La moyenne de l'activité volumique de HTO mesurée pour l'ensemble des stations s'élève à $1,677 \pm 0,732$ Bq/L, soit une activité volumique moyenne dans l'air de $0,019 \pm 0,008$ Bq/m³. Seule la station de Gravelines, la plus proche du CNPE, présente une activité moyenne légèrement plus élevée ($0,022 \pm 0,008$ Bq/m³) que le bruit de fond local mesurés au moyen des autres dispositifs de prélèvement plus éloignés du site (figure 5).



Localisation des stations ATMO à proximité du CNPE de Gravelines et implantation des piègeurs passifs tritium

Synthèse de résultats de mesures du tritium dans l'atmosphère autour du CNPE de Gravelines

Stations (Est en Ouest)	Activité en Bq/m ³		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Calais-Parmentier	$0,006 \pm 0,005$	$0,033 \pm 0,010$	$0,018 \pm 0,008$
Gravelines PC/DRIRE	$0,007 \pm 0,005$	$0,046 \pm 0,014$	$0,022 \pm 0,008$
Loon-Plage	$0,010 \pm 0,006$	$0,031 \pm 0,010$	$0,019 \pm 0,008$
Grande-Synthe	$0,008 \pm 0,004$	$0,032 \pm 0,010$	$0,018 \pm 0,008$
Malo-les-Bains	$0,006 \pm 0,004$	$0,034 \pm 0,010$	$0,019 \pm 0,008$

Figure 5 : Etude des niveaux de tritium de l'air dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2016

Toutes ces études nous permettent de mieux connaître les niveaux en tritium dans le compartiment atmosphérique autour d'un CNPE, les différentes approches et les différents moyens de prélèvement fournissant des informations complémentaires.

L'étude des niveaux en tritium de l'air dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice a permis de compléter les informations précédemment recueillies en combinant les différentes approches et les différents moyens de prélèvement, à savoir :

- l'utilisation à grande échelle des piègeurs passifs tritium, entre 1 et 8 km du CNPE afin de disposer d'une représentation géographique étendue de la zone d'influence des rejets tritiés du CNPE, associée à une métrologie par scintillation liquide avec un seuil de décision d'environ 0,7 Bq/L d'eau ($\approx 0,007$ Bq/m³ d'air) ;
- l'utilisation d'un barboteur tritium à 4 pots, au point de surveillance situé à 1 km au sud du CNPE (zone d'activité maximale prédite par modélisation), associés à une métrologie par scintillation liquide de type ALOKA, avec un seuil de décision à 0,15 Bq/L pour étudier les formes physico-chimiques du tritium rejetés par les CNPE d'une part, et comparer les activités avec celles mesurées à l'aide du piègeur passif tritium d'autre part.

Une étude basée sur l'utilisation de condenseurs afin de valider des codes de calculs opérationnels de dispersion atmosphérique utilisés à l'IRSN était prévue mais n'a pu être réalisée en raison des contraintes imposées par la pandémie (Covid 19).

3.2 ÉTUDE DES NIVEAUX EN TRITIUM A PROXIMITE DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

Rejets tritiés du CNPE

Les rejets de tritium du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice sont relativement stables depuis 2013 après avoir diminué entre 2000 et 2008 [11]. La figure 6 présente l'évolution des activités en tritium, en GBq, rejetées à l'atmosphère entre 2001 et 2019 par le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice.

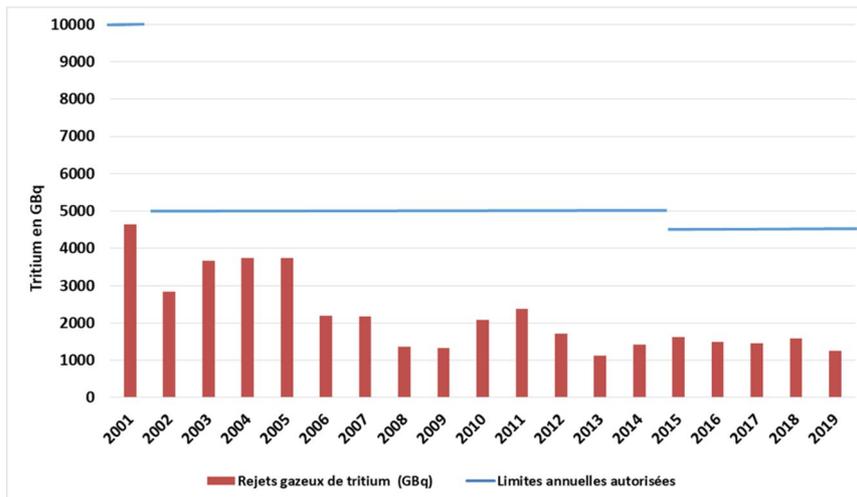


Figure 6 : Evolution des activités en tritium rejetées à l'atmosphère entre 2001 et 2019 par le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice (en GBq)

Durant l'étude, de janvier à fin octobre 2019, le réacteur numéro 2 a été arrêté du 7 septembre au 27 novembre 2019 pour réaliser des actions de maintenance programmée. La figure 7 ci-dessous représente les activités de tritium rejetées mensuellement dans l'atmosphère ainsi que l'énergie produite mensuellement par le CNPE durant l'année 2019 [7]. Les activités de tritium rejetées varient entre 65 GBq en novembre et 144,5 GBq en octobre.

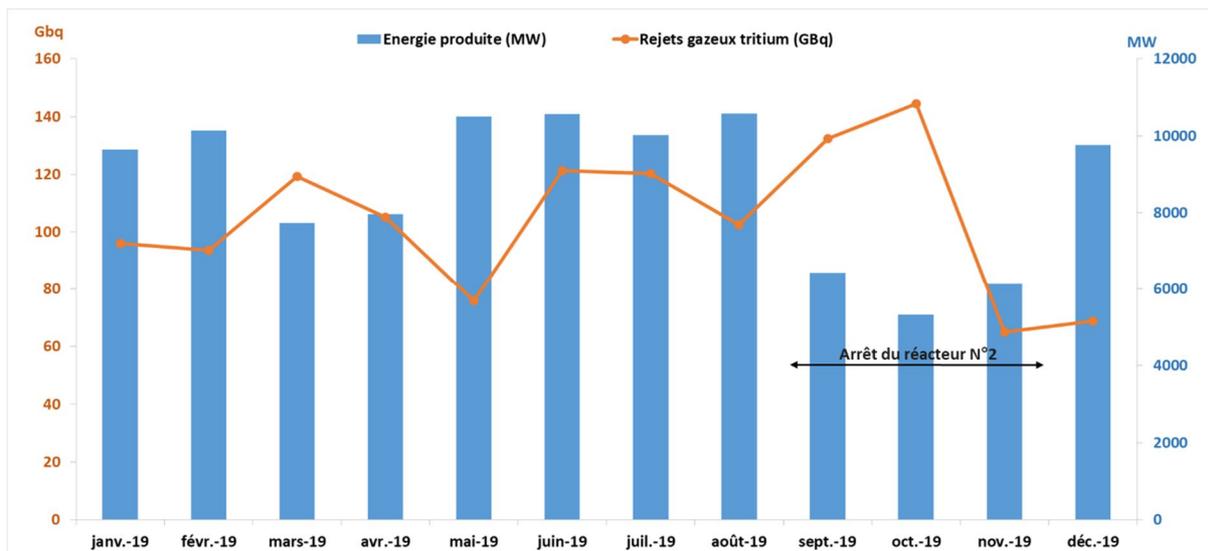


Figure 7 : Activités de tritium gazeux rejetées mensuellement (GBq) par rapport à l'énergie produite (MW) par le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice en 2019

Résultats de la surveillance réglementaire effectuée par EDF

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement réalisée par l'exploitant, un dispositif de piégeage du tritium atmosphérique par barbotage est installé au point AS1 à 1 km au sud du site sous les vents dominants. L'analyse de HTO sur les prélèvements hebdomadaires de ce dispositif, associés à la métrologie mise en œuvre, permettent d'atteindre des seuils de décisions de l'ordre de $0,25 \text{ Bq/m}^3$ en HTO dans l'air, en adéquation avec les exigences réglementaires en termes de performances métrologiques, la limite réglementaire environnementale pour ce radionucléide étant fixée à 50 Bq/m^3 d'air [2]. La figure 8 présente les résultats de cette surveillance de routine de mai 2012 à mai 2019. Il apparaît que les résultats de ces analyses sont quasi systématiquement en dessous des seuils de décisions métrologiques [12].

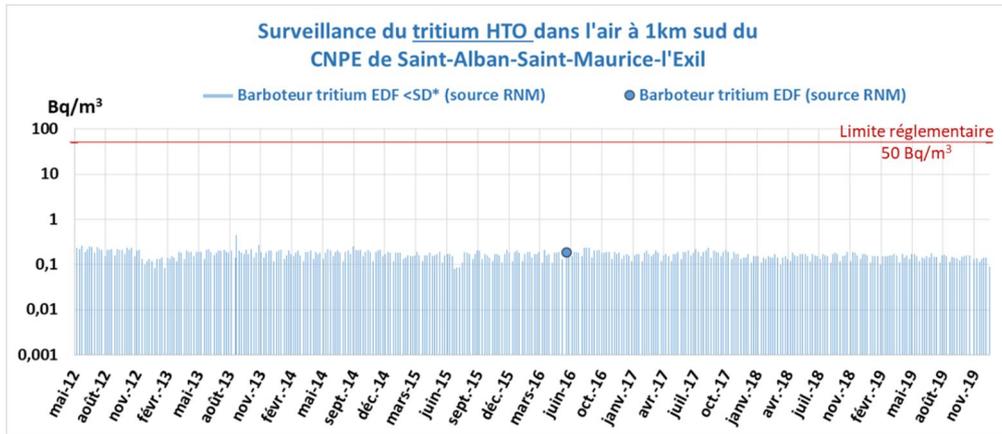


Figure 8 : Activité volumique d'HTO dans l'air au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice en Bq/m^3

3.3 MOYENS ET METHODES

Piégeurs passifs tritium

Le piègeur passif de tritium atmosphérique est un dispositif développé par l'IRSN [7] [20] pour pallier les contraintes des dispositifs de prélèvement de types barboteur et condenseur actuellement mis en œuvre dans le cadre de la surveillance ou d'études particulières. Ce nouveau dispositif, facile à déployer, ne nécessite ni de locaux aménagés ni d'alimentation électrique pour son implantation dans l'environnement.

Le piègeur passif est basé sur la propriété de diffusivité moléculaire des gaz ; il est constitué essentiellement par un matériel adsorbant qui prélève préférentiellement la vapeur d'eau et par un support d'échantillonnage breveté (figure 9).

L'absorbant est un tamis moléculaire composé de zéolite (aluminosilicate) qui collecte la vapeur d'eau. Le support est constitué par un couvercle et par une structure tronconique intérieure perforée. L'ensemble maintient un taux de prélèvement constant par rapport à la disponibilité de la vapeur d'eau dans l'air.

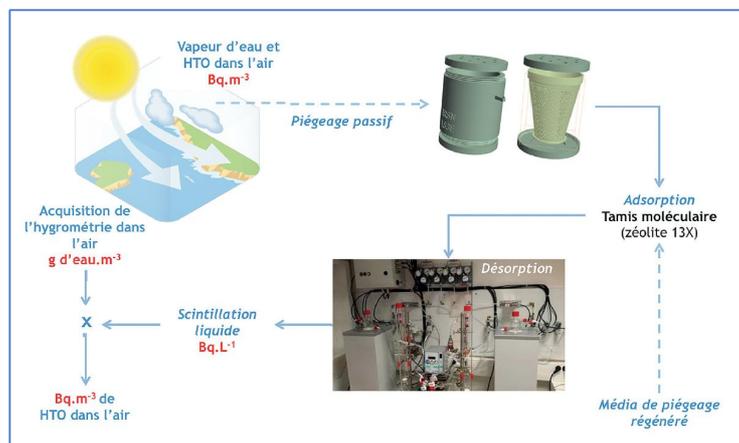


Figure 9 : Schéma du principe de fonctionnement d'un piègeur passif tritium

La figure 10 ci-dessous présente le domaine d'utilisation de ce préleveur passif par rapport à deux autres moyens de prélèvement, le barboteur et le condenseur. Le piègeur passif permet des durées de prélèvement allant de moins de 1 jour à plus d'un mois, et permet d'atteindre un seuil de décision de 1 Bq/L (0,01 Bq/m³) de tritium pour une analyse de l'échantillon réalisée par une scintillation (cf. § 3.3 Métrologie) liquide standard. Toutefois, il ne permet de mesurer que le tritium contenu dans la vapeur d'eau atmosphérique (HTO). Notons que c'est la forme du tritium principalement rejetée à l'atmosphère par les CNPE et qui est directement transférable dans l'environnement aux végétaux et animaux.

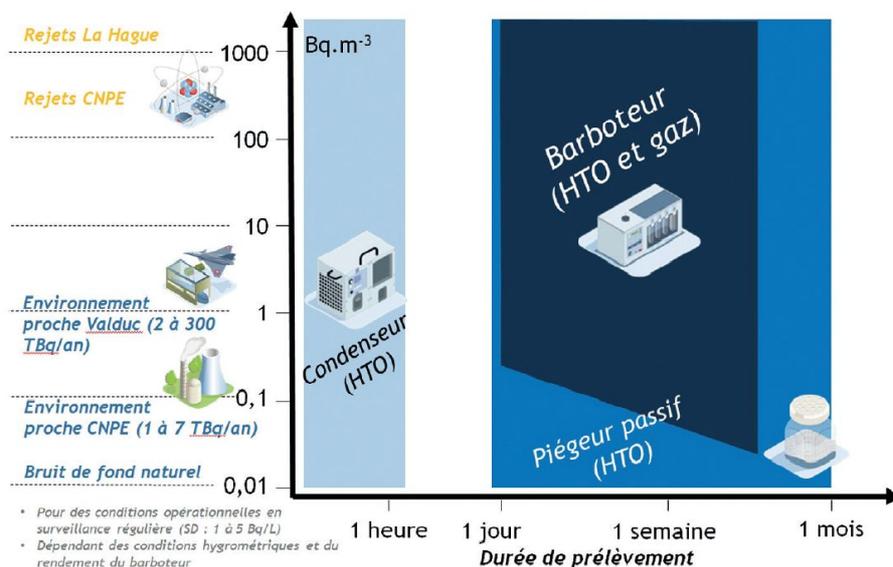


Figure 10 : Domaine d'utilisation du piègeur passif tritium [7]

Les tests effectués et les comparaisons avec les autres dispositifs, notamment les barboteurs, ayant donné des résultats satisfaisants, le brevet a été cédé à la société E2SInnovation (E2S) pour sa commercialisation. Les deux types de piègeurs passifs tritium (IRSN et E2S) ont été utilisés dans le cadre de cette étude (figure 11).

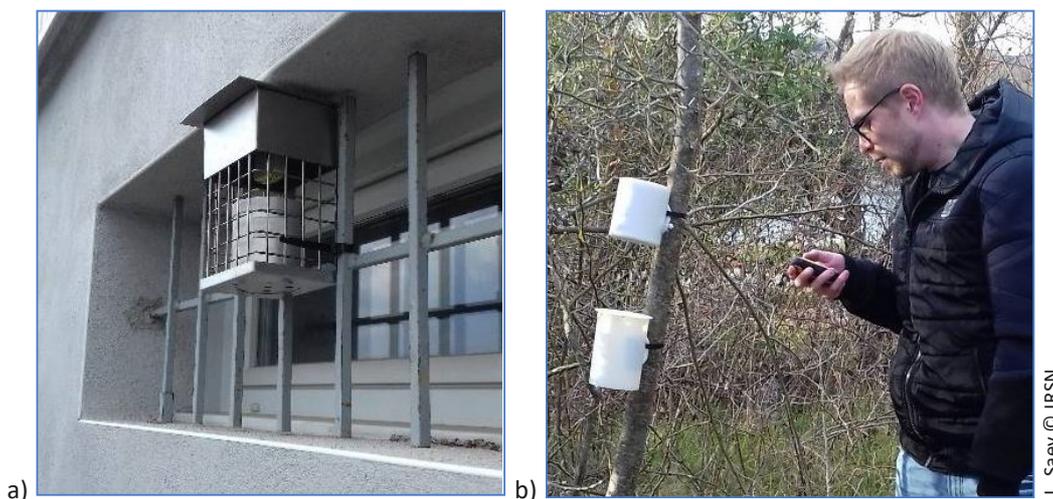


Figure 11 : Piègeur passif tritium E2S (a) et IRSN (b)

Barboteur tritium

Le barboteur prélève l'air par aspiration active à un débit déterminé et piège les gaz par bullage dans des flacons remplis d'eau la moins tritiée possible¹⁰ et maintenus à basse température pour éviter l'évaporation.

Deux types de dispositifs sont utilisés dans le cadre de la surveillance en continu des installations : des dispositifs dotés de 4 pots et d'autres n'utilisant que les deux premiers. Les deux premiers flacons piègent le HTO, les autres formes chimiques du tritium atmosphérique (HT, CH₃T) sont oxydées dans un four et piégées dans les deux derniers flacons figure 12.

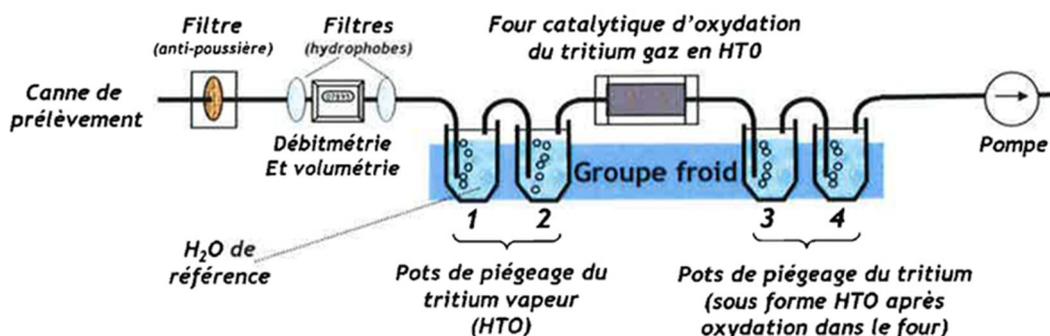


Figure 12 : Schéma du principe de fonctionnement d'un barboteur tritium à quatre pots

La teneur en tritium contenu dans chaque flacon est déterminée par une analyse par scintillation liquide. La quantité de tritium alors mesurée est rapportée au volume d'air passé dans l'appareil.

Dans le cadre de cette étude, un barboteur tritium à 4 pots a été installé au point AS 1 du CNPE.

Métrologie

Les échantillons collectés, après désorption du tamis moléculaire pour les piègeurs passifs ou directement issus des flacons pour le barboteur, sont analysés par scintillation liquide au laboratoire de mesures nucléaires de l'IRSN au Vésinet.

Deux types de scintillateurs liquides ont été utilisés :

- « Tri-Carb » pour les échantillons issus des piègeurs passifs ; ce dispositif peut atteindre des seuils de décisions de l'ordre de 0,7 Bq/L d'eau pour un temps de comptage de 24 h (figure 13a).
- « ALOKA » pour les échantillons du barboteur ; ce dispositif peut atteindre des seuils de décision de l'ordre de 0,15 Bq/L d'eau pour un temps de comptage de 24 h (figure 13b).

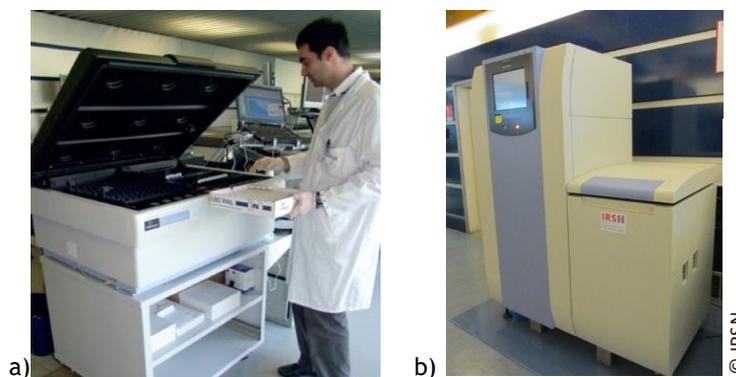


Figure 13 : Scintillateur liquide du Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) de l'IRSN au Vésinet (a : tri-Carb ; b : ALOKA)

¹⁰ L'IRSN utilise de l'eau de la source des Abatilles® pour sa très faible teneur en tritium (autour de 0,05 Bq/l).

3.4 RESULTATS DES ACTIVITES DE TRITIUM DANS LA VAPEUR D'EAU DE L'AIR PRELEVEE A L'AIDE DE PIEGEURS PASSIFS

Stratégie d'implantation des piègeurs passifs

Pour déterminer l'implantation des piègeurs passifs, la zone géographique potentiellement influencée par les rejets atmosphériques du CNPE a été modélisée à l'aide des codes de calcul utilisés à l'IRSN (figure 14 « Symbiose ») en prenant en compte les rejets moyennés et la rose des vents de ces dernières années. A l'aide de ces résultats de modélisation, des informations tirées des résultats des mesures de tritium faites dans des végétaux dans le cadre de la surveillance (§ 3.6), et en fonction des moyens de prélèvements et de la capacité métrologique disponibles pour cette étude, 15 points de prélèvements ont été appareillés progressivement entre janvier et octobre 2019. Les premiers dispositifs ont été installés à proximité immédiate du CNPE (1 km) et sur 4 km dans l'axe des vents dominants (nord - sud). L'emprise territoriale des prélèvements a été élargie progressivement afin de déterminer l'extension maximale de la zone influencée et ce jusqu'à 7 et 8 kilomètres du site hors vents dominants, secteur est et ouest sur les communes de Pélussin et d'Assieu. Ces deux points ont été disposés pour confirmer que ces zones sont bien hors influence et que les niveaux mesurés sont dans la gamme du bruit de fond en tritium (figure 14). Les tableaux en annexe 1 fournissent les coordonnées géographiques d'implantation de ces dispositifs.

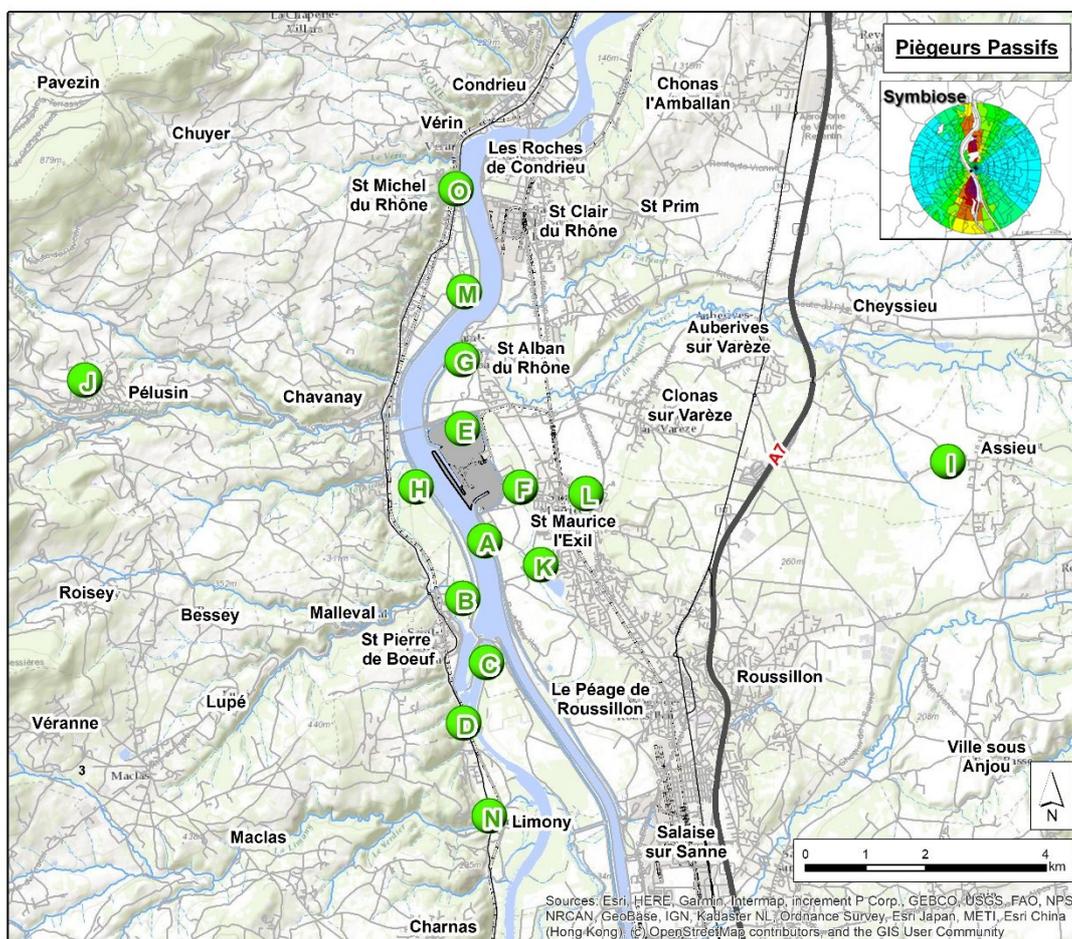


Figure 14 : Carte de l'implantation des piègeurs passifs de tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Résultats

Sur l'ensemble de l'étude, 195 résultats de mesure de tritium contenu dans la vapeur d'eau de l'air, prélevée au moyen de piègeurs passifs sur une quinzaine de jours, ont été exploités ; ils sont fournis dans l'annexe 1. Les moyennes des activités volumiques bimensuelles mesurées en Bq/L de vapeur d'eau dans l'air aux différents points de prélèvements sont représentées sur la figure 15.

Les activités volumiques les plus élevées ont été mesurées à 1 km au nord et au sud du site, avec des moyennes similaires d'environ 4 Bq/L de vapeur d'eau de l'air sur l'ensemble de la période d'étude. Les prélèvements de vapeur d'eau réalisés au niveau des dispositifs les plus éloignés présentent des moyennes d'activités de l'ordre de 1 à 1,4 Bq/L de vapeur d'eau de l'air, ce qui relève du bruit de fond en tritium en 2019 (0,4-1,9 Bq/L). Il apparaît également qu'au-delà de 1 kilomètre à l'est et à l'ouest du site, et au-delà de 3 kilomètres au nord et 5 kilomètres au sud, les activités volumiques en tritium sont aussi de l'ordre de grandeur de ce bruit de fond. La représentation cartographique des secteurs influencés par les rejets atmosphériques tritiés du CNPE, ainsi obtenue est conforme à celle prédite par les modèles. Les activités mesurées sont également cohérentes avec celles mesurées à proximité et à distance d'un CNPE dans le cadre d'études précédentes (cf. § 3.1) ou de la surveillance régulière et de routine [7].

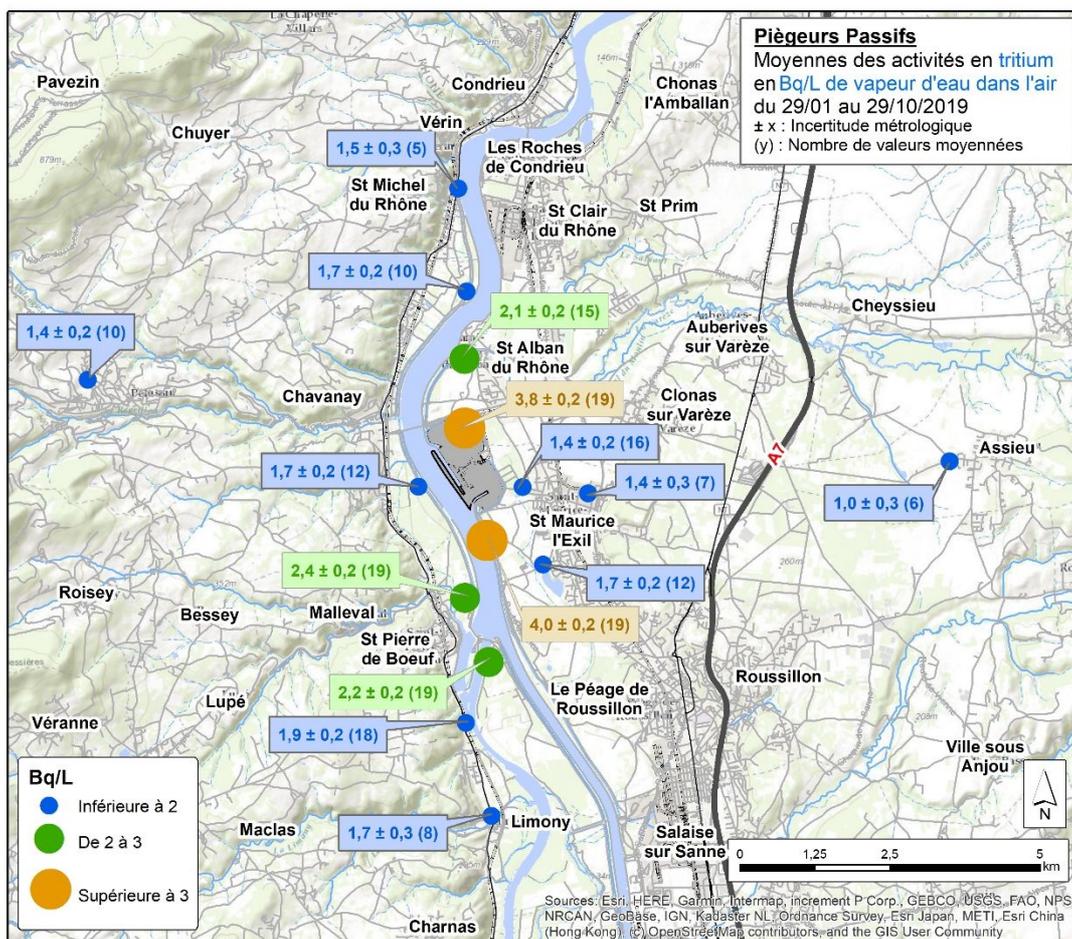
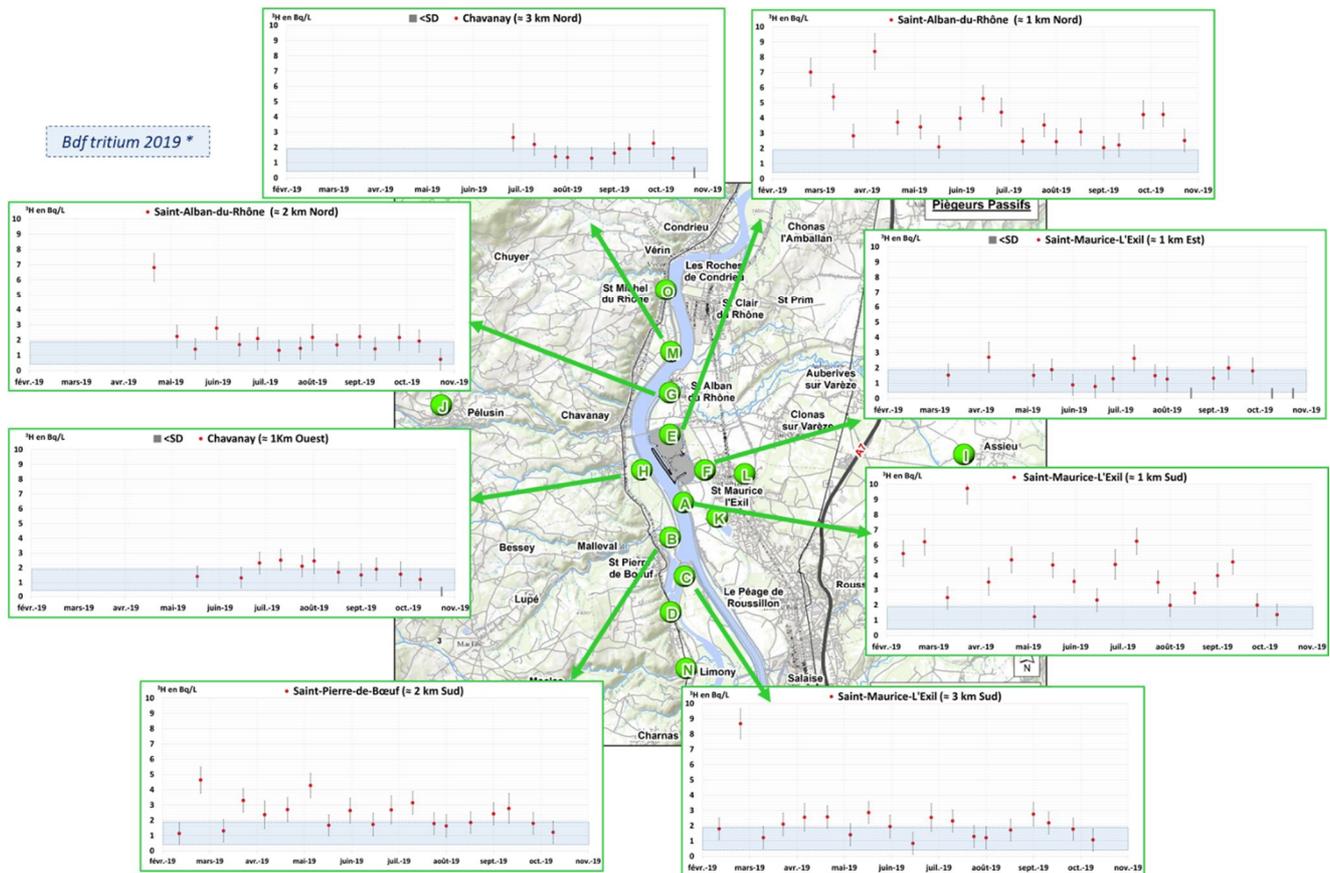


Figure 15 : Moyenne des activités volumiques en tritium dans la vapeur d'eau de l'air (Bq/L) prélevée à l'aide de piègeurs passifs tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Sur la base de l'ensemble des résultats acquis, tous points de prélèvement confondus, les activités de tritium dans la vapeur d'eau de l'air fluctuent entre les seuils de décision métrologique ($\approx 0,7$ Bq/L de vapeur d'eau) et l'activité maximale de 9,7 Bq/L de vapeur d'eau mesurée au point situé à un kilomètre au sud du site. Les activités volumiques de tritium dans l'air diminuent avec la distance au site. Cette diminution est observée sur une plus longue distance, suivant l'axe nord-sud correspondant aux vents dominants, et sur une moindre distance sur l'axe ouest-est. La représentation cartographique des moyennes d'activités bimensuelles (figure 15), ne permet pas de visualiser les fluctuations plus ou moins importantes des activités moyennées selon la localisation. Pour ce faire, les figures 16 et 17, ci-après, présentent les évolutions des activités bimensuelles de tritium mesurées dans la vapeur d'eau de l'air pour chaque point de prélèvement.

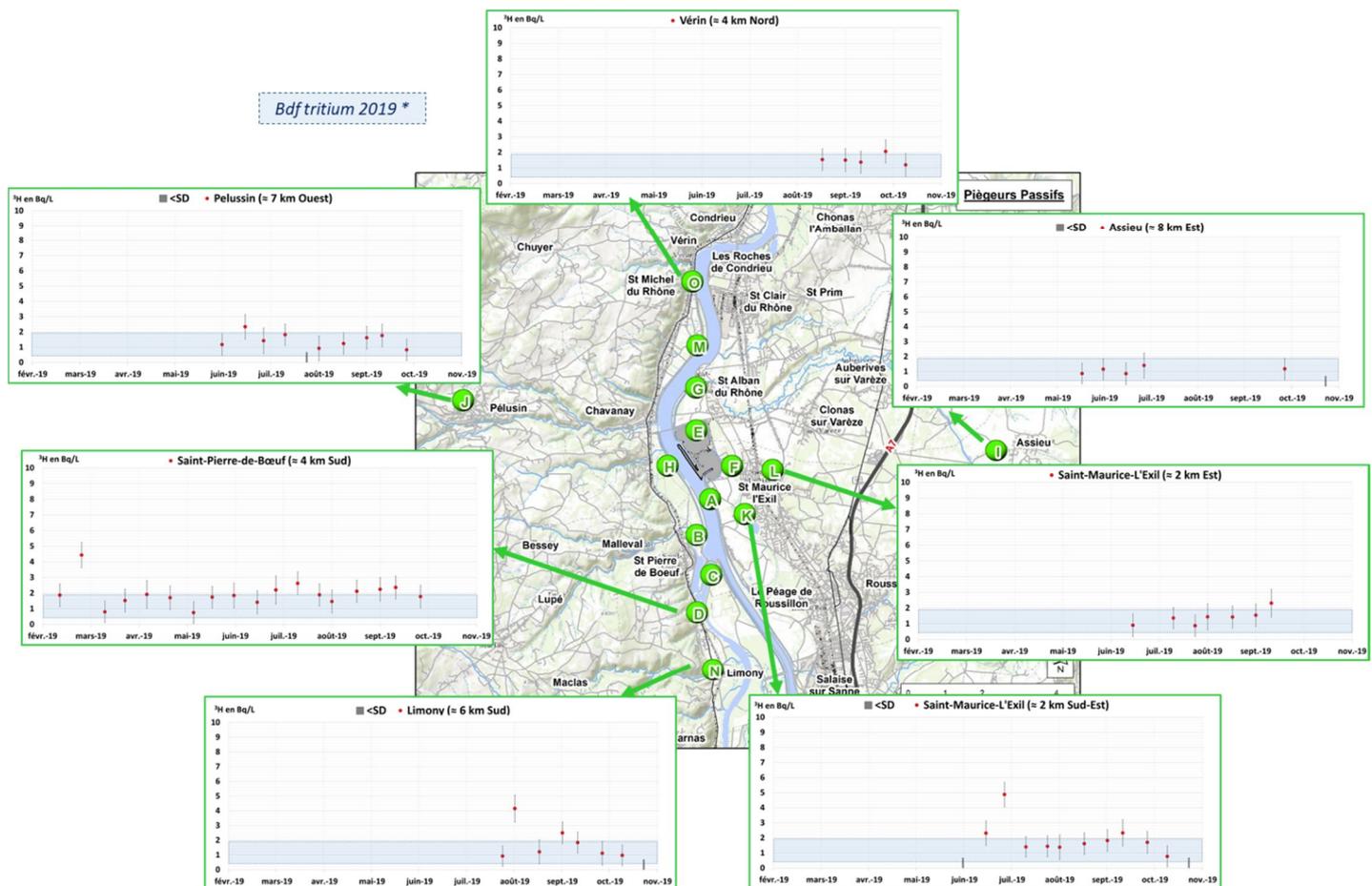
La figure 16 présente l'évolution des activités volumiques de tritium mesurées aux points situés entre 1 et 3 kilomètres au nord et au sud, sous les vents dominants ainsi qu'aux points situés à un kilomètre à l'est et à l'ouest du site. Il apparaît que les activités mesurées aux points situés dans l'axe des vents, pour lesquels les activités maximales sont mesurées, présentent également les plus grandes variations d'activités, oscillants entre 1-2 Bq/L à près de 10 Bq/L de vapeur d'eau aux points situés à 1 km au nord et au sud. En revanche, les variations d'activités aux deux points situés à un kilomètre à l'est et l'ouest du site sont relativement faibles, oscillant entre <SD et moins de 3 Bq/L.



* Bruit de fond en tritium 2019 : gamme d'activités rencontrées en tritium hors influence d'installation nucléaire en France métropolitaine en 2019

Figure 16 : Evolutions des activités bimensuelles de tritium dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier et octobre 2019 (Bq/L)

La figure 17 présente les évolutions des activités volumiques de tritium dans la vapeur d'eau prélevée aux autres points de mesure. Il s'agit des points sélectionnés pour évaluer les activités hors influence des rejets atmosphériques de la centrale (Pélussin et Assieu) et aussi des points situés entre 4 et 5 kilomètres au nord et au sud du site. Ces activités sont, comme attendu, plus faibles et plus homogènes que celles représentées sur la figure précédente ; elles sont très majoritairement comprises dans la gamme du bruit de fond du tritium dans l'air en 2019 (entre 0,4 et 1,9 Bq/L). Les échantillons prélevés à 4 et 5 km au sud du site et à 2 kilomètres au sud-est, présentent très ponctuellement des activités volumiques de l'ordre de 4-5 Bq/L qui témoignent de l'influence ponctuelle des rejets atmosphériques tritiés du CNPE.



* Bruit de fond en tritium 2019 : gamme d'activités rencontrées en tritium hors influence d'installation nucléaire en France métropolitaine en 2019

Figure 17 : Evolutions des activités bimensuelles de tritium dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier et octobre 2019 (Bq/L)

La figure 18 ci-dessous représente une synthèse graphique des variations des activités de tritium dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice par commune instrumentée et ce, en fonction de la distance au site du lieu de prélèvement d'une part, et de son orientation géographique selon 2 axes : nord-sud (vents dominants) et est-ouest, d'autre part. Il apparaît de cette représentation que les variabilités les plus importantes sont observées au niveau des points de prélèvement les plus proches du site et situés dans l'axe des vents dominants (axe nord-sud). Du fait de leur proximité avec le site et de leur position géographique, ces points de prélèvements sont les plus exposés au panache d'air marqué par les rejets atmosphériques tritiés du CNPE. Néanmoins, à cette distance, le panache est relativement étroit car encore peu dispersé et sa « zone d'influence » est très sensible à de légères variations de direction du vent autour de son axe principal, ce qui induit des activités volumiques en tritium qui varient aussi fortement avec les changements de direction du vent, si faibles soient-ils. En s'éloignant du site, même sous les vents dominants, la dispersion des rejets entraîne une baisse de l'activité volumique en tritium dans l'air par l'étalement des masses d'air, ce qui se traduit par des activités plus faibles et plus homogènes, moins sensibles à de faibles variations de direction du vent autour de l'axe principal. Comme attendu, l'activité et la variabilité décroissent en fonction de la distance dans l'axe des vents dominants.

Cette évolution des activités en tritium dans l'air en fonction de la distance au site mais aussi de la localisation par rapport à la rose des vents (azimut¹¹) est à l'origine de la grande variabilité des activités en tritium dans les matrices terrestres prélevées à proximité des CNPE (§ 3.6, figure 24) et illustre l'importance de privilégier l'azimut dans la recherche d'une zone de prélèvement sous influence à proximité immédiate du site.

Par ailleurs, il convient de noter que certaines activités mesurées sont régulièrement proches voire inférieures au seuil de décision de 0,7 Bq/L. Etant donné que les niveaux en tritium hors influence d'installations sont amenés à baisser dans les années à venir, la poursuite des travaux sur la connaissance sur le bruit de fond nécessitera d'envisager d'autres techniques d'analyse du tritium pour mieux caractériser ce bruit de fond lors de prochaines études de ce type.

¹¹ L'azimut est l'angle horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence.

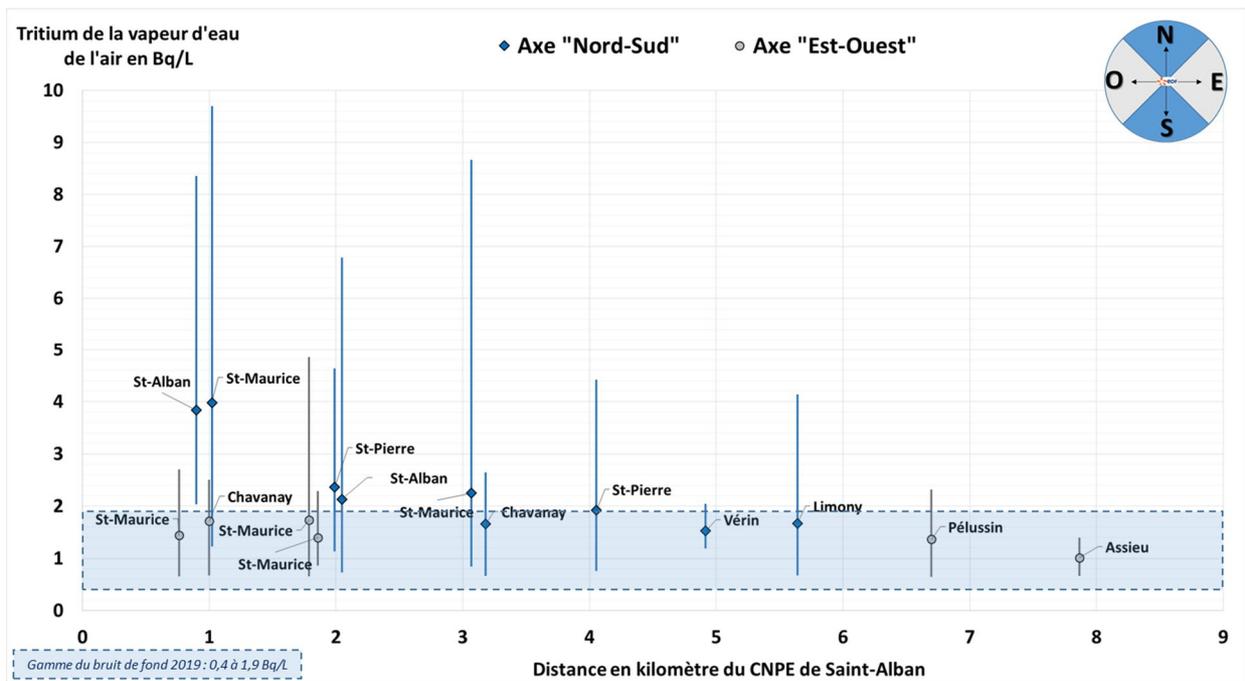


Figure 18 : Synthèse de la gamme des activités et des moyennes de tritium dans la vapeur d'eau de l'air mesurées à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier à octobre 2019 (Bq/L)

La figure 19 présente les valeurs mesurées d'activités de tritium aux stations de prélèvements AS1 et AS2-3 (les deux points de prélèvements les plus influencés par les rejets à l'atmosphère du CNPE (1 km au nord et au sud du site) dans l'axe des vents dominants) pour trois périodes de temps consécutives. Les résultats pour ces trois périodes sont tous différents et rendent compte de la prédominance de l'activité tantôt à la station AS1, tantôt à la station AS2-3 ou au contraire ne reflètent pas de prédominance marquée sur une des stations. Or, les rejets atmosphériques de tritium d'un CNPE en fonctionnement normal, hors opération de maintenance, apparaissant relativement constants (cf. figure 7), leur intégration sur des périodes de temps équivalentes par les dispositifs de piégeage pour chaque station ne peut être influencée que par les directions de vent, favorisant le transport de tritium vers l'une ou l'autre des stations. Ainsi, les conditions météorologiques apparaissent comme les principales causes de fluctuation des activités de ce radionucléide dans l'air en un point donné, comme le suggère l'analyse des roses des vents sur ces trois périodes.

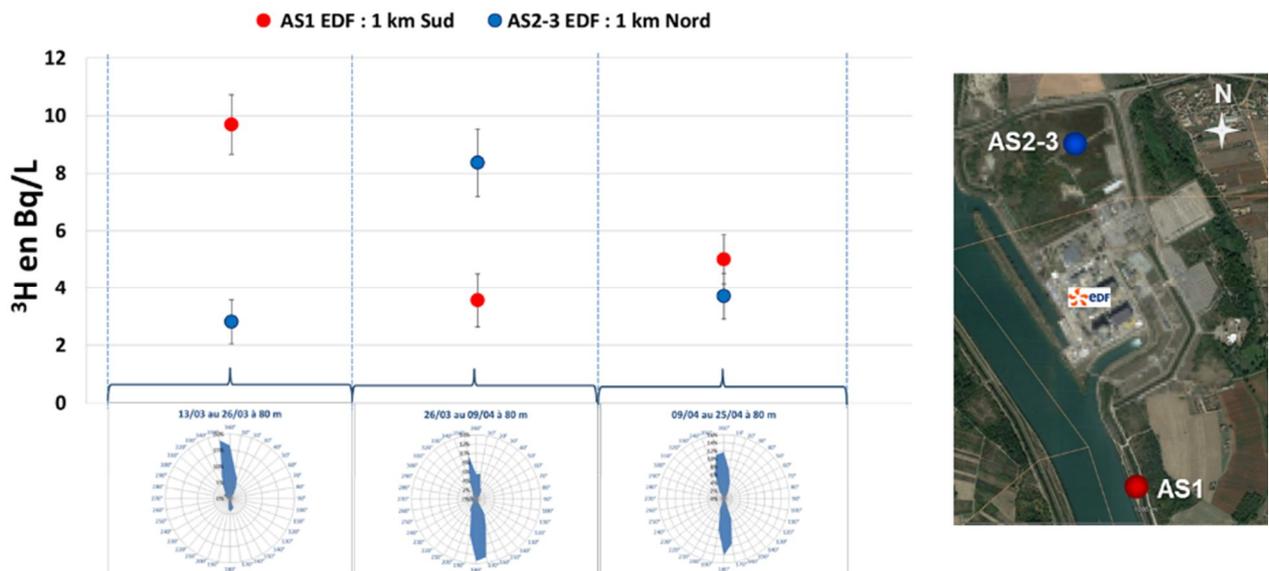


Figure 19 : Activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurées à l'aide des piègeurs passifs lors de conditions de vents différentes aux points de prélèvement situés à 1 km au nord et 1 km au sud du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

- Durant la période du 13 mars au 26 mars 2019, les vents viennent principalement du nord ; c'est donc le dispositif situé au sud du site qui est le plus exposé. Les résultats de mesure sur cette période montrent une activité d'environ 10 Bq/L à 1 km au sud et seulement 3 Bq/L à 1 km au nord.
- Durant la période suivante du 26 mars au 9 avril 2019, les vents viennent majoritairement du sud ; c'est donc le dispositif situé au nord du site qui est le plus exposé. Les résultats de mesure sur cette période montrent une activité d'environ 8,5 Bq/L à 1 km au nord du site et seulement 3,5 au sud du site.
- Durant la période suivante, du 9 avril au 25 avril 2019, les vents viennent équitablement du nord et du sud : les deux dispositifs sont donc exposés assez équitablement aux rejets. Les résultats de mesure sur cette période montrent des activités du même ordre de grandeur aux deux points étudiés (5 et 4 Bq/L).

Chaque piègeur passif tritium implanté est systématiquement associé à un hygromètre numérique afin de mesurer et récupérer à la fin de chaque période de prélèvement les données de température et d'humidité. Ces informations permettent de convertir les activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique, exprimées en Bq/L, en activités volumiques exprimées en Bq/m³ d'air. Les tableaux en annexe 1 fournissent l'ensemble des résultats des activités volumiques calculées, les moyennes des activités bimensuelles calculées sont représentées sur la figure 20. Les activités volumiques moyennes calculées varient entre 0,01 et 0,04 Bq/m³ d'air.

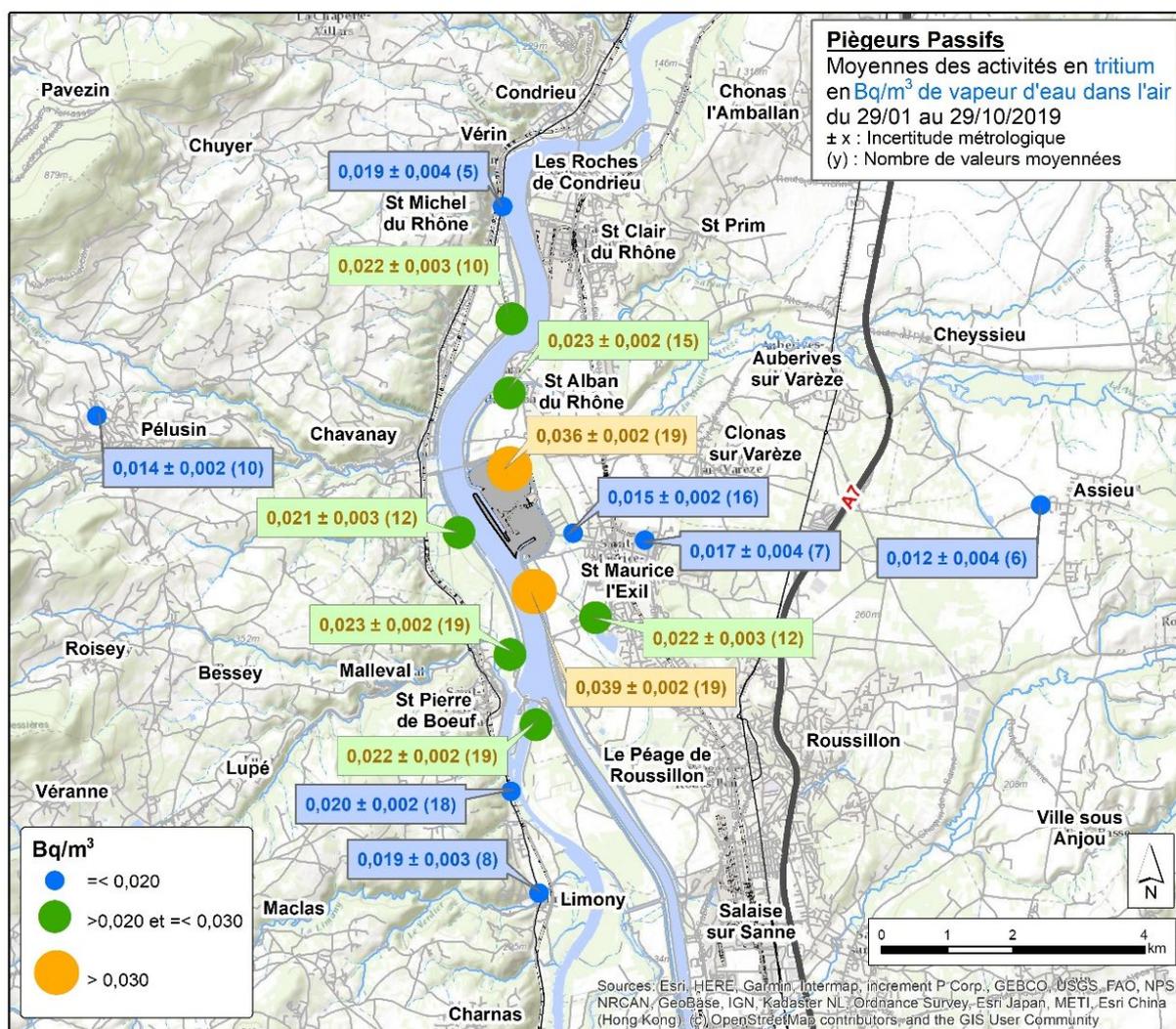


Figure 20 : Moyenne des activités de tritium dans la vapeur d'eau dans l'air (Bq/m³) prélevée à l'aide de piègeurs passifs tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Les données acquises sur les niveaux de tritium dans l'air dans l'environnement de Saint-Alban Saint-Maurice permettent de proposer une estimation de l'exposition au tritium par inhalation et exposition des tissus liée au passage transcutané de ce radionucléide.

Ainsi pour une personne adulte résidant et travaillant à Assieu, point de référence local hors influence de l'installation, et où l'activité moyenne de tritium dans l'air est la plus faible ($0,012 \text{ Bq/m}^3$), la dose par inhalation et absorption transcutanée serait de l'ordre de $0,004 \mu\text{Sv/an}$. Cette dose est imputable au bruit de fond du tritium dans l'air d'origine naturelle ou hérité des retombées anciennes des essais d'armes nucléaires. Pour une personne, résidant et travaillant à proximité du point AS1 du CNPE où l'activité moyenne est la plus élevée ($0,039 \text{ Bq/m}^3$), la dose par inhalation et absorption transcutanée serait de l'ordre de $0,012 \mu\text{Sv/an}$.

L'influence des rejets atmosphériques tritiés du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice sur les activités de tritium dans l'air alentour, se traduit ainsi pour un adulte résidant au point d'activité maximale, par une dose ajoutée estimée à environ $0,008 \mu\text{Sv/an}$ par rapport à un adulte résidant à distance du site. Cette dose est à mettre au regard des évaluations de la dose totale ajoutée réalisées par EDF, à partir des rejets réels effectués dans l'année - dite « à postériori » [9] - et par l'IRSN, sur la base des résultats de mesure dans l'environnement pour l'ensemble des CNPE [2][7], qui sont toutes deux de l'ordre de $1 \mu\text{Sv/an}$. La limite fixée par la réglementation (Code de la santé publique) étant de $1000 \mu\text{Sv/an}$ (1 mSv/an).

Une évaluation complète de l'exposition des populations avoisinantes utilisant les données de l'enquête alimentaire et budget temps sera réalisée ultérieurement, lorsque l'ensemble des résultats d'étude seront disponibles.

3.5 RESULTATS DES ACTIVITES EN TRITIUM DANS L'AIR PRELEVE A L'AIDE DU BARBOTEUR TRITIUM

Contexte

Un barboteur tritium à quatre pots a été disposé au point de surveillance AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de février à octobre 2019, à proximité du piègeur passif et du barboteur à deux pots, utilisé par EDF dans le cadre de la surveillance réglementaire. Les prélèvements, d'une durée de 15 jours, ont été analysés par scintillation liquide de type ALOKA pour atteindre des seuils de décisions de l'ordre de $0,15 \text{ Bq/L}$ (d'eau de barbotage). Ce dispositif associé à une métrologie performante avait pour objectifs de connaître précisément les niveaux d'activité en tritium de l'air, d'étudier les différentes formes chimiques du tritium mesuré et de comparer les mesures en HTO avec celles du piègeur passif (figure 21).



Figure 21 : Barboteur tritium à quatre pots installé au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Résultats

Durant la période d'étude de février à octobre 2019, 17 périodes de prélèvement ont été étudiées, soit 68 résultats de mesure de tritium.

Les activités en tritium total sont comprises entre $0,020 \pm 0,004$ et $0,082 \pm 0,007$ Bq/m³ pour une moyenne de $0,047 \pm 0,001$ Bq/m³. Les activités en HTO sont comprises entre $0,013 \pm 0,003$ et $0,071 \pm 0,006$ Bq/m³ pour une moyenne de $0,039$ Bq/m³ soit 83% de l'activité moyenne en tritium total (tableau 3). Les autres formes gazeuses (HT, CH₃T) mesurées varient de $0,004 \pm 0,002$ à $0,014 \pm 0,003$ Bq/m³ pour une moyenne de $0,008$ Bq/m³ soit 17 % de l'activité moyenne en tritium total [21]. Cette répartition est conforme aux résultats d'une précédente étude réalisée à proximité du CNPE de Cruas-Meyssse [7] [17] ainsi qu'aux formes chimiques du tritium présents dans les rejets tritiés gazeux d'un CNPE [6] [22].

Tableau 3 : Activités en tritium mesurées à l'aide du barboteur au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Date de début	Date de fin	Volume d'air aspiré (m ³)	Tritium en Bq/m ³					
			HTO	+/-	HT, CH ₃ T...	+/-	Total ¹²	(+/-)
27/02/19	14/03/19	10,759	0,013	0,003	0,007	0,002	0,020	0,004
14/03/19	27/03/19	9,345	0,061	0,005	0,008	0,002	0,068	0,006
27/03/19	09/04/19	9,475	0,017	0,003	0,004	0,002	0,021	0,004
09/04/19	25/04/19	11,256	0,045	0,004	0,008	0,002	0,053	0,004
25/04/19	09/05/19	10,323	0,048	0,004	0,008	0,002	0,056	0,004
09/05/19	21/05/19	8,601	0,035	0,004	0,008	0,002	0,043	0,005
21/05/19	04/06/19	10,080	0,042	0,004	0,014	0,003	0,056	0,005
04/06/19	20/06/19	6,081	0,023	0,005	0,006	0,004	0,029	0,007
20/06/19	01/07/19	8,061	0,071	0,006	0,011	0,003	0,082	0,007
01/07/19	15/07/19	9,723	0,055	0,006	0,007	0,003	0,062	0,006
15/07/19	29/07/19	10,077	0,044	0,005	0,009	0,002	0,053	0,005
29/07/19	06/08/19	5,807	0,029	0,007	0,007	0,005	0,036	0,008
06/08/19	22/08/19	11,399	0,041	0,004	0,009	0,002	0,051	0,005
22/08/19	05/09/19	10,247	0,036	0,005	0,006	0,002	0,042	0,005
05/09/19	16/09/19	7,941	0,053	0,006	0,010	0,003	0,062	0,007
16/09/19	02/10/19	11,430	0,018	0,004	0,008	0,002	0,025	0,004
02/10/19	15/10/19	9,335	0,026	0,004	0,007	0,003	0,033	0,005

La moyenne des activités en HTO, mesurées dans la vapeur d'eau atmosphérique prélevée à l'aide du barboteur, d'une valeur de $0,039 \pm 0,001$ Bq/m³, est égale, à l'incertitude près, à celle mesurée à l'aide du piègeur passif disposé au même emplacement ($0,039 \pm 0,002$ Bq/m³). La figure 22 représente la corrélation entre les activités en HTO mesurées dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'AS1 du CNPE à l'aide du barboteur en fonction de celle prélevée à l'aide du piègeur passif tritium. Cette comparaison montre une relation linéaire positive et significative entre ces activités mesurées à l'aide des deux moyens de prélèvements. Sur les 17 périodes étudiées, deux périodes présentent des différences significatives entre les deux moyens de prélèvements sans faire apparaître une tendance de surestimation ou de sous-estimation d'un des deux dispositifs. Ces deux périodes ont une influence sur le coefficient de corrélation (paramètre qui détermine l'importance de la concordance) qui passe de 0,3256 lorsqu'elles sont prises en compte (figure 22a) à 0,8234 lorsque les deux points correspondants sont écartés (figure 22b).

¹² Compte tenu des règles d'arrondis, l'activité en tritium total peut être légèrement différente de la somme des activités en HTO et de HT, CH₃T

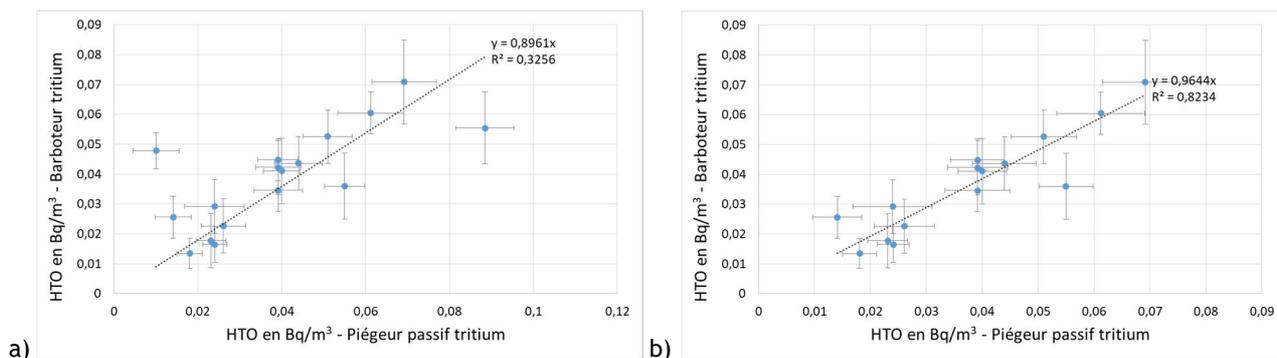


Figure 22 : Activités de tritium mesurées dans la vapeur d'eau de l'air prélevée au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice à l'aide du barboteur en fonction de celle prélevée à l'aide du piègeur passif tritium (a. ensemble des données ; b. ensemble des données moins les deux points divergents).

Les activités en HTO mesurées dans la vapeur d'eau de l'air au niveau de la station AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, à l'aide des deux types de dispositifs sur une même période, sont très proches, ce qui permet de conforter la validité des résultats acquis quel que soit le moyen de prélèvement.

La figure 23 représente la mise en perspective des activités volumiques en HTO dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurées dans le cadre de l'ERS à l'aide du barboteur tritium et du piègeur passif d'une part et ceux mesurés par l'exploitant dans le cadre de la surveillance réglementaire d'autre part. Il apparaît que les résultats des mesures obtenus par l'exploitant sont très majoritairement inférieurs au seuil de décision qui est de l'ordre de 0,25 Bq/m³ (soit ≈ 25 Bq/L de vapeur d'eau). L'étude menée par l'IRSN dans un autre objectif que celui de la surveillance réglementaire de routine, a permis de déterminer précisément ces niveaux d'activités en employant notamment une métrologie plus performante (qui permet de mesurer des niveaux environ 100 fois plus faibles)¹³.

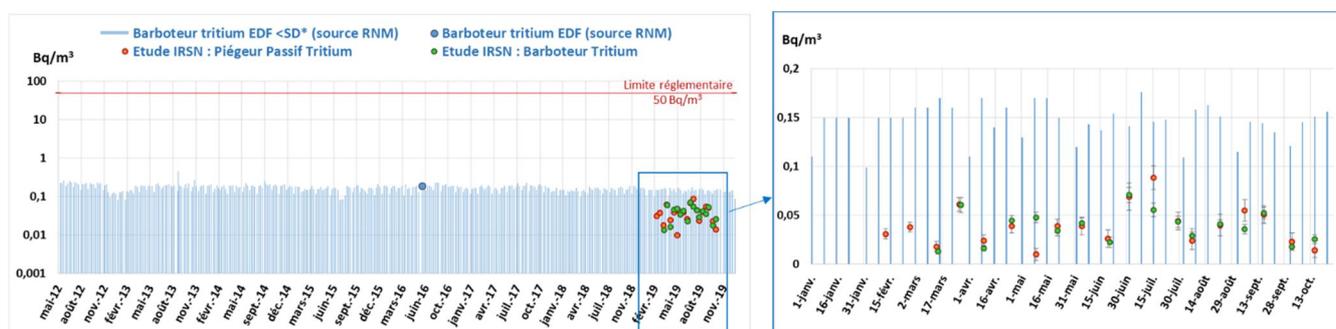


Figure 23 : Comparaisons des activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurées dans le cadre de la surveillance réglementaire (EDF) et dans celui de l'ERS Saint-Alban Saint-Maurice-l'Exil

¹³ L'IRSN rappelle ici que la surveillance régulière de l'exploitant répond à des exigences réglementaires (50 Bq/m³) et que les moyens métrologiques déployés sur une période de temps limitée par l'IRSN ne visent pas à remplacer ceux de la surveillance de l'exploitant.

3.6 RELATION ENTRE LE TRITIUM DE L'AIR ET DES VEGETAUX TERRESTRES

La surveillance du tritium dans l'environnement des CNPE est principalement assurée par des analyses de tritium dans des végétaux. En effet, un végétal contient, du tritium sous forme d'eau (HTO), mais également du tritium incorporé à sa matière organique lors de la photosynthèse (Tritium Organiquement Lié – TOL), dont la teneur est directement liée à celle de la vapeur d'eau atmosphérique. Ainsi le tritium mesuré dans un végétal est représentatif de l'activité en HTO de l'air dans lequel il se développe et on distingue :

- l'activité en HTO mesurée dans un échantillon de plante, exprimé en Bq/L d'eau (contenue dans la plante) qui est représentative de l'activité en HTO de l'air dans les heures précédant le prélèvement de l'échantillon ;
- l'activité en TOL mesurée dans un échantillon de plante, exprimée en Bq/L d'eau combustion¹⁴, qui est représentative de l'activité moyenne en HTO de l'air durant sa croissance.

Les bilans radiologiques de l'environnement [2] [7], publiés par l'IRSN, présentent les résultats de cette surveillance. Dans ces bilans, l'analyse des activités en tritium lié à la matière organique (TOL) mesurées dans différentes composantes de l'environnement terrestre des 19 CNPE français exploités à cette période, en fonction de la distance depuis les points de rejet des CNPE, permet de montrer que l'activité ajoutée en tritium dans l'air par les rejets des CNPE se traduit par (figure 24) :

- une augmentation très locale de l'activité des végétaux et de la chaîne alimentaire qui en découle ;
- une importante variabilité des activités à proximité des installations.

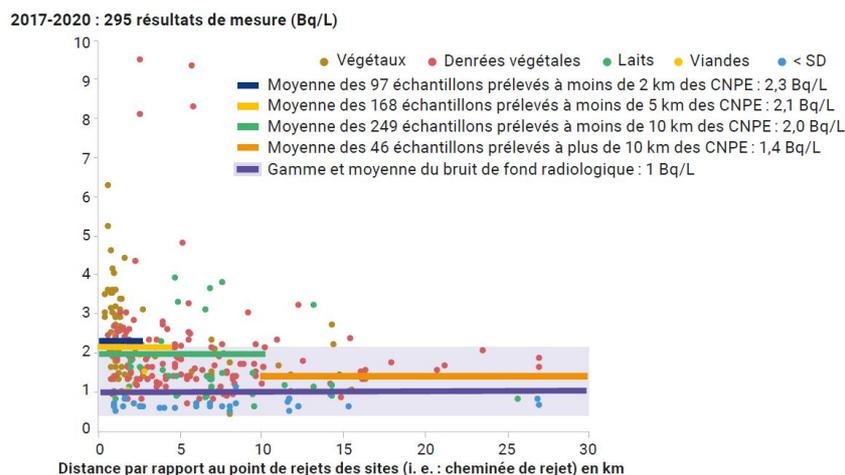


Figure 24 : Evolution des activités de tritium lié à la matière organique (Bq/L d'eau de combustion) mesurées en 2017-2020 dans différentes composantes de l'environnement terrestre des 19 CNPE, en fonction de la distance depuis les points de rejet des sites [2]

Une telle analyse nécessite un grand nombre de données. Elle ne peut donc pas être réalisée pour un site isolé car le nombre de résultats de mesure en tritium organiquement lié collectés annuellement sur les différentes composantes de l'environnement terrestre dans le cadre de la surveillance de l'exploitant et de celle de l'IRSN ne peut pas être aussi important en nombre (≈ 5 par site et par an).

Pour approfondir cette connaissance, l'IRSN, au travers de cette étude radiologique, a réalisé plus de soixante-dix prélèvements de végétaux et de denrées végétales terrestres en 2019 dans l'environnement de la centrale de Saint-Alban Saint-Maurice. Au moins un végétal terrestre (feuilles d'arbres) a été prélevé à proximité immédiate de chaque piègeur passif en vue d'une analyse en tritium afin notamment de compléter nos connaissances sur le transfert de ce radionucléide. Les résultats disponibles permettent une première comparaison entre les résultats dans l'air et dans les

¹⁴ L'eau de combustion est l'eau qui est récupérée lorsqu'on incinère la matière organique et qui contient tout le tritium qui y était fixé.

végétaux. La figure 25 ci-dessous représente la comparaison entre les moyennes des activités en HTO de la vapeur d'eau de l'air et les activités en TOL dans les végétaux terrestres en fonction de la distance au site et de l'orientation par rapport au site selon l'axe nord-sud (vents dominants) et est-ouest. En première approche, il apparaît que, lorsque les prélèvements sont effectués au même emplacement, les activités en TOL dans les végétaux terrestres sont globalement du même ordre de grandeur que les moyennes des activités mesurées en HTO dans la vapeur d'eau dans l'air à l'aide des piègeurs passifs. Ceci tend à confirmer que l'activité en TOL, mesurée dans les échantillons de plante, est représentative de l'activité moyenne en HTO de l'air durant sa croissance [22] [23] [24].

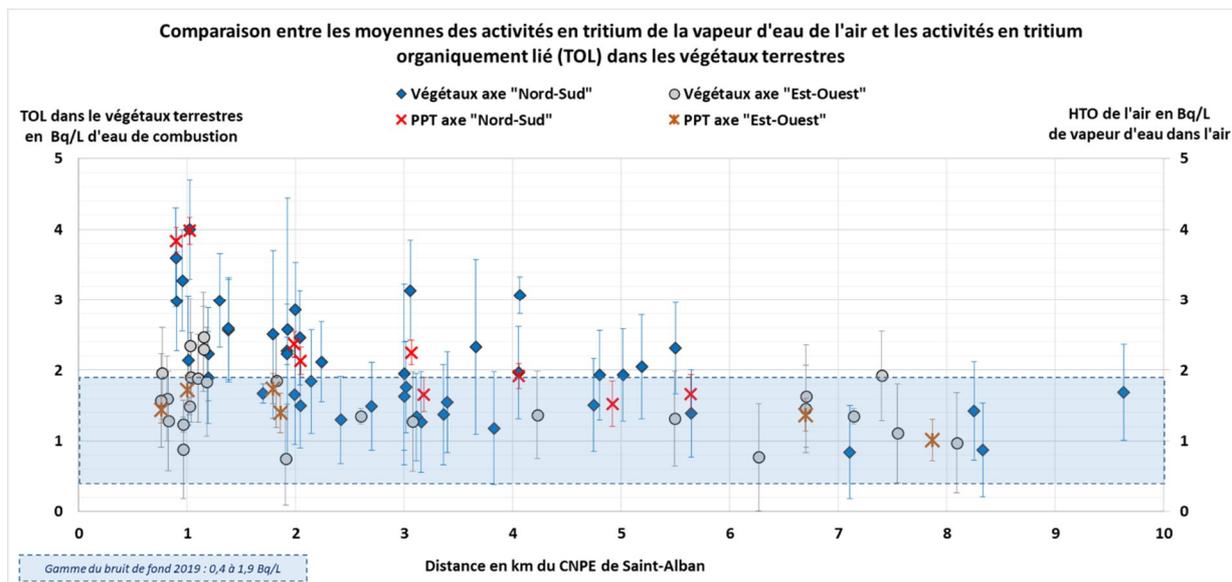


Figure 25 : Comparaison entre les moyennes des activités en tritium de la vapeur d'eau de l'air et les activités en tritium organiquement lié dans les végétaux terrestres

La valorisation des résultats acquis dans les végétaux terrestres fera l'objet d'un prochain rapport dédié, dès réception de l'ensemble des résultats d'analyse. Cette étude permettra d'approfondir l'interprétation présentée ci-dessus en prenant notamment en compte les pratiques culturales comme l'irrigation, qui peuvent avoir une influence sur les niveaux de tritium mesurés dans certaines denrées agricoles.



L. Saey, J. Faramond © IRSN

Prélèvements de maïs et de pommes dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITÉ DANS LES AÉROSOLS A PROXIMITÉ DU CNPE DE SAINT-ALBAN SAINT-MAURICE

4.1 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES NIVEAUX D'ACTIVITÉ DANS L'AIR SOUS FORME AÉROSOL A PROXIMITÉ DES CNPE

Contexte

Dans le cadre de la surveillance régulière de l'environnement, des aérosols sont prélevés et analysés sur tout le territoire national et notamment à proximité des CNPE. Des prélèvements sont effectués par l'exploitant en quatre points (AS 1 à 4), avec des mesures réglementaires quotidiennes de l'indice d'activité bêta-global sur les filtres et, si cet indice est supérieur à 2 mBq/m^3 , une spectrométrie gamma est réalisée. La surveillance effectuée par l'IRSN d'autre part, porte sur le point de surveillance réglementaire « AS 1 » (station située à 1 km des rejets sous les vents dominants) où des aérosols sont prélevés en continu au moyen d'une station d'un débit de $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$ avant 2010) avec la réalisation d'une spectrométrie gamma sur chaque filtre prélevé à une fréquence hebdomadaire. Le tableau de l'annexe 2 présente les activités des radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle mesurés au-dessus des seuils de décision depuis 2010 par les stations du réseau OPERA-Air¹⁵ de l'IRSN situées à proximité des CNPE d'EDF [12]. En dehors des radionucléides mesurés lors du passage des masses d'air contaminées par des épisodes accidentels¹⁶, il apparaît que, très ponctuellement, quelques radionucléides résultant du fonctionnement normal des CNPE (cobalts 58 et 60, argent 110m et manganèse 54) sont mesurés à des niveaux souvent proches des seuils de décision. Toutefois, dans la majorité des cas, les niveaux sont trop faibles pour être mesurés dans le cadre de la surveillance régulière. Leur détection n'est possible qu'à l'occasion du déploiement de moyens de collecte d'aérosols encore plus performants lors d'étude comme celle présentée ici.

Afin de connaître les niveaux des différents radionucléides d'origine artificielle présents à l'état de traces dans les aérosols atmosphériques à proximité d'un CNPE en fonctionnement normal, l'IRSN a réalisé, avec le concours d'EDF et en complément de sa mission de surveillance régulière à l'échelle du territoire, quatre campagnes de mesure, entre 2011 et 2018, des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité de différents CNPE : Golfech (2011 -2012), Tricastin (2012-2013) [27], Cruas-Meysses (2015-2016) et Gravelines (2017-2018). Ces campagnes, effectuées à l'aide d'équipements de prélèvements et de mesures très performants, permettent d'atteindre des seuils de décision très bas ($< 1 \mu\text{Bq/m}^3$) qui se rapprochent de ceux obtenus par les stations pérennes à très grands débits (700 ou $800 \text{ m}^3/\text{h}$) de l'Observatoire Permanent de la Radioactivité dans l'air (OPERA-Air) situées hors influence de rejets industriels.

Les études réalisées à proximité des CNPE par l'IRSN, concernent l'analyse par spectrométrie gamma des radionucléides présents dans les aérosols. Les radionucléides recherchés sont donc les produits d'activation et de fission mesurables par spectrométrie gamma.

Moyens et méthodes

L'échantillonnage des aérosols est effectué à l'aide d'une station de collecte d'aérosols atmosphériques à grand débit régulé ($\approx 330 \text{ m}^3/\text{h}$), fonctionnant 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Les prélèvements sont réalisés sur une base hebdomadaire (du lundi au lundi). Au total, cela correspond à un volume moyen d'air d'environ $55\,500 \text{ m}^3$ (volume ramené aux conditions de température et de pression normalisées) passé au travers de chaque filtre. L'air est échantillonné à 1,6 m au-dessus du niveau du sol à l'aide d'un filtre en fibres de polypropylène à 4 couches. Ce filtre a une efficacité de collecte minimale

¹⁵ Ce réseau d'une quarantaine de stations de prélèvement d'aérosols, réparties sur l'ensemble du territoire français, permet d'actualiser chaque semaine la connaissance des niveaux d'activités des principaux radionucléides naturels et artificiels présents dans l'air.

¹⁶ Cf annexe 2 pour les détections de césium 134, 137 et iode 131 suite à l'accident de Fukushima [25] et la mesure de sélénium 75, suite au rejet des installations du Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK-CEN) de Mol en Belgique [26]

d'environ 95% pour les particules avec un diamètre aérodynamique de 30 nm et une efficacité de collection d'au moins 99% pour les particules ayant un diamètre aérodynamique supérieur à 150 nm. Ce niveau de performance permet de garantir la représentativité du prélèvement vis-à-vis de la distribution des radionucléides en fonction de la taille des aérosols. La masse de poussières sur le filtre et l'empoussièremement moyen ambiant pendant le prélèvement sont déterminés par soustraction de la masse du filtre vierge à la masse du filtre après utilisation. Dans ce but, chaque filtre, vierge (ou utilisé) subit un étuvage de 24 heures à 40°C avant sa pesée. Afin de garantir la représentativité du prélèvement vis-à-vis du spectre granulométrique de l'aérosol ambiant, aucun sélecteur granulométrique (type PM10) n'est utilisé. L'empoussièremement obtenu correspond ainsi à la totalité des particules en suspension.

Les stations de prélèvement ont été installées à proximité des CNPE, au point de surveillance régulière dit « AS 1 » (figures 26 et 27).

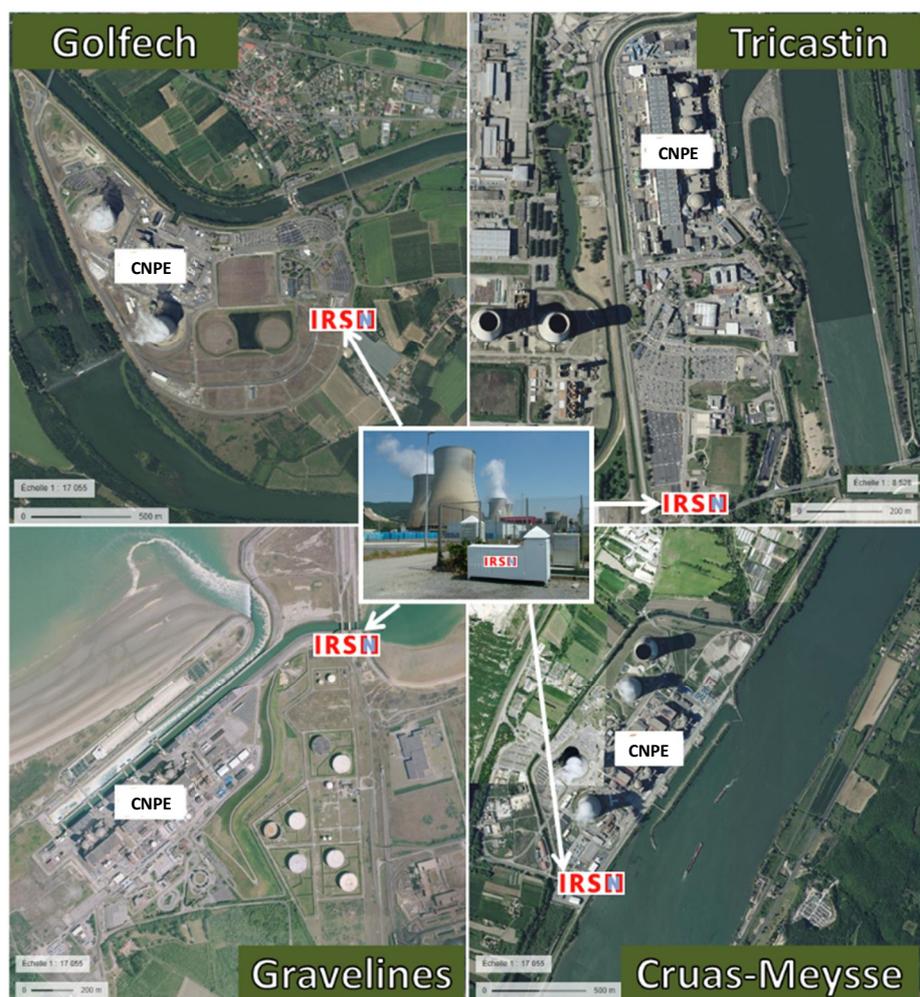


Figure 26 : Implantation des stations de collecte d'aérosols grand débit de l'IRSN à proximité de CNPE lors d'études spécifiques [7]

Une mesure par spectrométrie gamma est réalisée sur chaque filtre au Laboratoire de Mesure de la Radioactivité dans l'Environnement de l'IRSN à Orsay à l'aide de détecteurs Germanium « bas bruit » positionnés dans une salle blindée située au deuxième sous-sol du laboratoire sous une dalle de 3 mètres de béton boré. Le blindage de la salle est composé d'un mur de 10 centimètres de plomb recouvert côté intérieur par 5 millimètres de cuivre afin de diminuer la contribution de la radioactivité naturelle des murs et du rayonnement cosmique. L'air de la salle est filtré et ventilé afin d'éviter l'accumulation de radon et de ses descendants. Chaque détecteur est également muni de son propre blindage au plomb [28]. Les filtres sont compactés dans une presse thermique et ramenés au format d'une géométrie cylindrique de 70 millimètres de diamètre et environ 1 centimètre de hauteur avant leur mesure. Cette technologie associée à un système de véto anti-cosmique permet d'atteindre des seuils de décision de l'ordre de 0,02 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pour le césium 137 pour un temps de comptage de 3 à 4 jours.



L. Saey © IRSN

Figure 27 : Station grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Cruas-Meysses

Résultats

Outre des radionucléides d'origine naturelle (principalement : béryllium 7 (^7Be), potassium 40 (^{40}K), sodium 22 (^{22}Na), plomb 210 (^{210}Pb)) et le césium 137 (^{137}Cs), également présent dans l'air en dehors de l'influence des installations, les données acquises lors de ces études font apparaître la présence de radionucléides d'origine artificielle provenant des rejets atmosphériques des CNPE, notamment l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), le cobalt 60 (^{60}Co) et le cobalt 58 (^{58}Co) (tableau 4).

Tableau 4 : Activités volumiques des principaux radionucléides d'origine artificielle mesurés par l'IRSN lors des 4 campagnes de mesures conduites à proximité de CNPE

Activités en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	^{137}Cs	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{58}Co	^{60}Co	^{124}Sb
CNPE-Cruas-Meysses (49 filtres)	de 0,12 à 1,62	de 0,047 à 0,96	de 0,03 à 2,8	de 0,04 à 0,41	< 0,03 à 0,4
<i>Fréquence de détection</i>	100%	61%	49%	22%	0%
CNPE-Tricastin (75 filtres)	de 0,07 à 1,59	de 0,07 à 4,0	de 0,08 à 4,4	de 0,1 à 5,2	0,24 et 0,4
<i>Fréquence de détection</i>	92%	29%	25%	40%	3%
CNPE-Golfech (24 filtres)	de 0,05 à 0,6	0,76	0,18 et 1,2	0,61	< 0,08 à 0,6
<i>Fréquence de détection</i>	83%	4%	8%	4%	0%
CNPE-Gravelines (49 filtres)	de 0,03 à 1,2	de 0,05 à 0,23	de 0,03 à 0,11	de 0,04 à 1,34	< 0,02 à 0,08
<i>Fréquence de détection</i>	78%	14%	10%	41%	0%

Le césium 137

Le radionucléide d'origine artificielle le plus fréquemment mesuré lors de ces études (de 78 à 100% des filtres) est le césium 137. Ce radionucléide est également mesuré par l'IRSN sur ses stations situées en dehors de l'influence d'installations nucléaires et témoigne de la rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Les fluctuations des niveaux d'activités en césium 137 sont corrélées avec celles des niveaux de potassium 40 et avec l'empoussièremment (l'augmentation de l'empoussièremment entraîne aussi bien l'augmentation des activités de potassium dans l'air que celle des activités de césium 137). Les principaux mécanismes qui participent à sa rémanence à

l'état de traces dans le compartiment atmosphérique sont la remise en suspension de poussières minérales issues du sol par le vent ou par des activités anthropiques (travaux agricoles, roulage d'engins sur des pistes...), l'émission saisonnière de pollens ou les émissions par les feux de biomasse...

Les niveaux d'activités mesurés lors de ces études varient entre 0,03 et 1,62 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (tableau 4). Les niveaux les plus élevés sont mesurés sur les filtres des stations implantées en vallée du Rhône (Tricastin et Cruas-Meyssse), où les retombées de l'accident de Tchernobyl ont été plus importantes et où les conditions récurrentes de vent fort (Mistral) peuvent favoriser une remise en suspension significative.

Le bruit de fond atmosphérique local¹⁷ en césium 137 dans l'air de la vallée du Rhône n'avait, pour autant, pas été jusqu'ici déterminé précisément. En effet, les stations situées hors influence des sites nucléaires du réseau OPERA-Air les plus proches sont situées à quelques centaines de kilomètres de la Vallée du Rhône (Clermont-Ferrand, Dijon, La Seyne sur Mer). Les niveaux d'activité en césium 137 mesurés à ces stations ne peuvent pas être considérés comme représentatifs des niveaux du bruit de fond en vallée du Rhône. Néanmoins, la connaissance du bruit de fond local est nécessaire pour pouvoir estimer la contribution des rejets des CNPE en césium 137. Aussi, l'analyse combinée des résultats de mesures en césium 137 recueillies à Tricastin et à Cruas-Meyssse sur un nombre important de filtres (plus d'une centaine au total) comme détaillée ci-après, permet de donner une estimation de ce bruit de fond local.

Ainsi, pour estimer le bruit de fond local et la contribution des rejets des CNPE en vallée du Rhône, les résultats de mesures en césium 137 ont été répartis en trois cas de figure. Pour chacun de ces cas de figure, la moyenne des activités en césium 137 a été estimée (tableau 5) :

- Cas n°1 : estimation de l'activité moyenne en césium 137 lors de l'étude = moyenne des activités en césium 137 de tous les filtres de l'étude où le césium 137 a été mesuré.
- Cas n°2 : estimation de l'activité moyenne en césium 137 considérée comme « hors influence » de l'installation = moyenne des activités en césium 137 des filtres où seul le césium 137 a été mesuré.
- Cas n°3 : estimation de l'activité moyenne en césium 137 sous influence de l'installation = moyenne des activités en césium 137 des filtres où au moins un autre radionucléide d'origine artificielle provenant des rejets du CNPE a été mesuré (cas des cobalts par exemple).

Tableau 5 : Moyennes des activités en césium 137 à proximité des CNPE de Cruas-Meyssse et Tricastin [27]

¹³⁷ Cs en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$	TRICASTIN			CRUAS		
	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3
Moyenne	0,35	0,29	0,40	0,41	0,36	0,44
Nombre de filtres	69	35	34	49	18	31

Pour les deux CNPE, l'estimation de l'activité moyenne en césium 137 « sous influence de l'installation » est supérieure à l'estimation de l'activité moyenne en césium 137 tous filtres confondus et à l'estimation de l'activité moyenne en césium 137 « hors influence de l'installation ». Avec cette approche, nous pouvons estimer le bruit de fond local en césium 137 lié principalement à la rémanence des retombées de Tchernobyl et des essais atmosphériques d'armes nucléaires à environ 0,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (cas n°2) et la contribution des rejets des CNPE à environ 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (en soustrayant les activités moyennes des cas n°2 à celles des cas n°3).

Autres radionucléides

Les autres radionucléides émetteur gamma d'origine artificielle mesurés lors de ces études sont caractéristiques des rejets atmosphériques des CNPE. Les plus fréquemment mesurés sont l'argent 110 métastable et les cobalts 58 et 60. Les activités mesurées lors de ces études pour ces trois radionucléides varient entre 0,03 et 5,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (tableau 4).

D'autres radionucléides, également présents dans les rejets d'un CNPE, ont été mesurés à proximité du site du Tricastin (qui regroupe des installations du cycle du combustible nucléaire et un CPNE) : le manganèse 54 (⁵⁴Mn), le zirconium 95 (⁹⁵Zr), le

¹⁷ Niveau moyen des radionucléides hors contribution apportée par les rejets des CNPE

niobium 95 (⁹⁵Nb), l'antimoine 124 (¹²⁴Sb), le chrome 51 (⁵¹Cr) et le cobalt 57 (⁵⁷Co) mais à des fréquences nettement moins importantes (tableau 6). On peut émettre l'hypothèse que les rejets des autres installations du site ont pu contribuer à augmenter suffisamment l'activité de ces radionucléides dans l'air pour qu'ils puissent être quantifiés. A noter que le ⁹⁵Zr et le ⁹⁵Nb ont également été mesurés significativement sur un filtre de la station située à proximité du CNPE de Gravelines avec des activités de 0,6 et 1 µBq/m³ respectivement.

Tableau 6 : Autres radionucléides d'origine artificielle mesurés aux points AS 1 des CNPE du Tricastin et de Gravelines

Activités en µBq/m ³	⁵⁴ Mn	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	¹²⁴ Sb	⁵¹ Cr	⁵⁷ Co
CNPE-Tricastin (75 filtres)[27]	de 0,08 à 0,9	de 0,28 à 1,47	de 0,39 à 3,0	de 0,24 et 0,4	de 2,5 et 3,4	0,06
Fréquence de détection	12%	5%	4%	3%	3%	1%
CNPE-Gravelines (49 filtres)	/	0,6	1,0	/	/	/
Fréquence de détection		2%	2%			

Discussion

Les campagnes de mesure de l'activité des aérosols prélevés à proximité immédiate de quatre CNPE d'EDF, menées par l'IRSN depuis 2011 à l'aide de moyens de prélèvement et d'analyse performants, ont permis de mesurer des activités de radionucléides résultant du fonctionnement normal de ces installations et habituellement non mesurés dans le cadre de la surveillance régulière effectuée par EDF ou par l'IRSN. Les activités des quatre radionucléides régulièrement mesurés (cobalt 58 et 60, argente 110 métastable et césium 137) varient entre 0,03 et 5,2 µBq/m³.

Les activités mesurées à proximité des CNPE de Golfech (2 tranches 1300 MWe) et Gravelines (6 tranches 900 MWe), pour les 4 radionucléides d'intérêt, ont les fréquences de détection et les niveaux maxima les moins élevés. En revanche, celles mesurées à proximité des deux CNPE de la vallée du Rhône (4 tranches 900 MWe) enregistrent les fréquences de détection et les maxima les plus élevés. Étant donné que toutes les stations de prélèvement ont été installées à la même distance (≈ 1 km) du ou des points de rejets d'effluents à l'atmosphère et sous les vents dominants, il apparaît que les activités mesurées dépendent des activités rejetées mais aussi de l'azimut de l'équipement par rapport au point de rejet et de sa fréquence d'exposition suivant les roses des vents locales (par temps de pluie et par temps sec). Dans le cas du site de Cruas-Meysses (comme pour celui du Tricastin) les vents suivent un axe très régulier venant très majoritairement du secteur nord avec peu d'écart et la station était donc très majoritairement sous influence des rejets de l'installation. A l'inverse sur le site de Gravelines (comme sur celui de Golfech) les vents sont plus anisotropes et la station a donc été moins régulièrement exposée aux rejets.

Les radionucléides caractérisés sont à l'origine d'une exposition de la population par inhalation mais également par exposition externe en lien avec le rayonnement gamma émis. Une personne qui résiderait aux endroits où ont été installées les stations de prélèvement recevrait une dose totale très inférieure à 0,001 µSv/an, presque exclusivement due à l'inhalation de ces radionucléides, la part de l'exposition externe n'étant que de quelques pourcents de la dose totale (inhalation + externe) [7].

4.2 ÉTUDE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE DANS LES AEROSOLS A PROXIMITE DU CNPE SAINT ALBAN SAINT-MAURICE

Contexte

Du fait de la topographie de la zone, les directions privilégiées du vent sont nettes et orientées selon la direction du sillon rhodanien (Figure 28). La dispersion atmosphérique s'effectue majoritairement vers le nord et le sud du site. Dans le cadre de la surveillance régulière de l'environnement, deux dispositifs de prélèvement des poussières atmosphériques (1 réglementaire d'EDF + 1 IRSN) sont installés au point AS1 à 1 km au sud du site. A l'exception des radionucléides mesurés dans l'air en France métropolitaine suite au passage des masses d'air contaminées par les rejets atmosphériques de l'accident de Tchernobyl (1986), les mesures dans les aérosols de ces dernières années au point AS1 n'ont pas mis en évidence de radionucléides d'origine artificielle. Seul un prélèvement, en juin 2015, a présenté une activité de 5,4 µBq/m³

en cobalt 58, activité proche du seuil de décision pouvant être obtenu à partir des prélèvements de la nouvelle station OPERA-Air (80 m³/h) de l'IRSN [12] [7].

Dans le cadre de l'étude radiologique de l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, l'IRSN a mené, entre juin et décembre 2019, avec l'appui logistique d'EDF, une campagne de mesure des niveaux de radioactivité dans les aérosols à proximité du site. Cette étude avait pour objectifs, de connaître le plus précisément possible les niveaux d'activités à proximité de ce site, de les comparer aux prédictions des codes de calculs utilisés à l'IRSN et d'étudier la faisabilité d'études complémentaires envisagées dans le cadre de ce projet.

Moyens et méthodes

Les moyens et les méthodes employés lors de cette étude sont comparables à ceux utilisés lors des précédentes études de ce type (cf. § 4.2). Une station de collecte d'aérosols à grand débit ($\approx 330 \text{ m}^3/\text{h}$) a été installée au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice fin juin 2019, et ce jusqu'à fin décembre 2019, après autorisation par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) d'aménager une extension du parc à instruments actuel d'EDF (Figure 28). Une mesure par spectrométrie gamma a été réalisée sur chaque filtre.

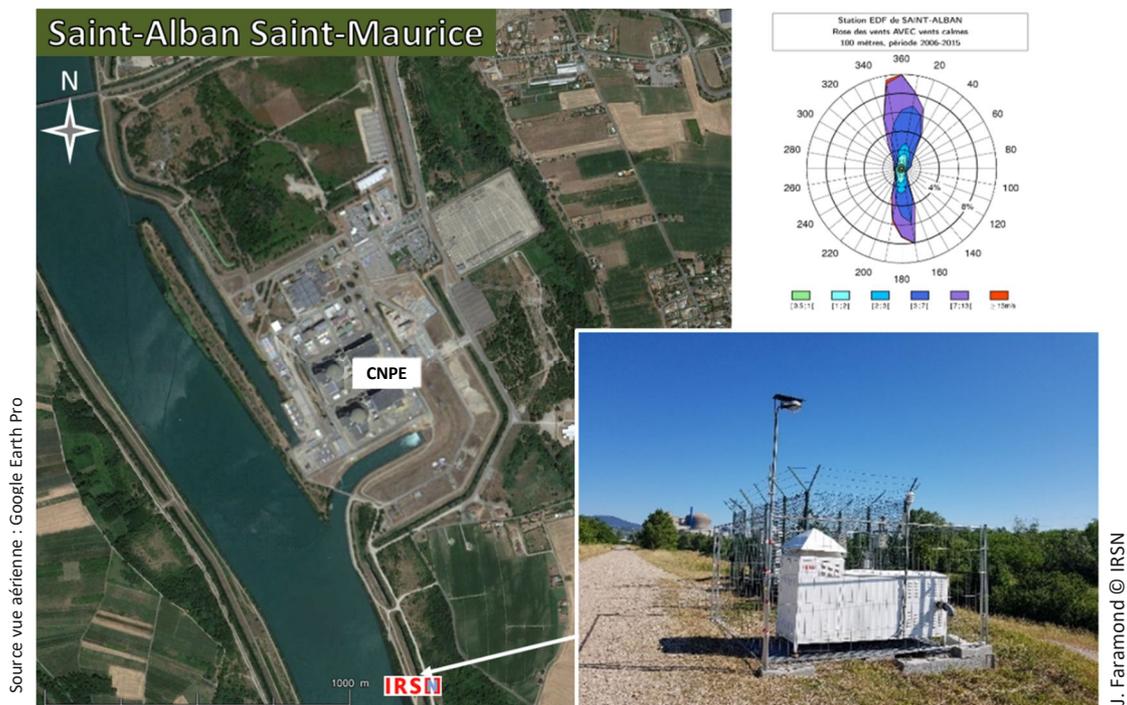


Figure 28 : Localisation de la station de collecte d'aérosols à grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Résultats

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

L'ensemble des résultats de mesure par spectrométrie gamma des filtres analysés sont détaillés dans les tableaux de l'annexe 3 et de l'annexe 4.

Radionucléides d'origine naturelle

La figure 29 présente les activités volumiques des principaux radionucléides d'origine naturelle mesurés sur les filtres de la station grand débit. Les gammes de concentrations de ces radionucléides sont comme attendu, équivalentes à celles enregistrées par les stations OPERA-Air situées en dehors de l'influence d'installations nucléaires.

Les principaux radionucléides mesurés sont le béryllium 7 (1680 à $8200 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), le plomb 210 (208 à $1510 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$), le potassium 40 ($4,4$ à $21 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) et le sodium 22 ($0,12$ à $1,14 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

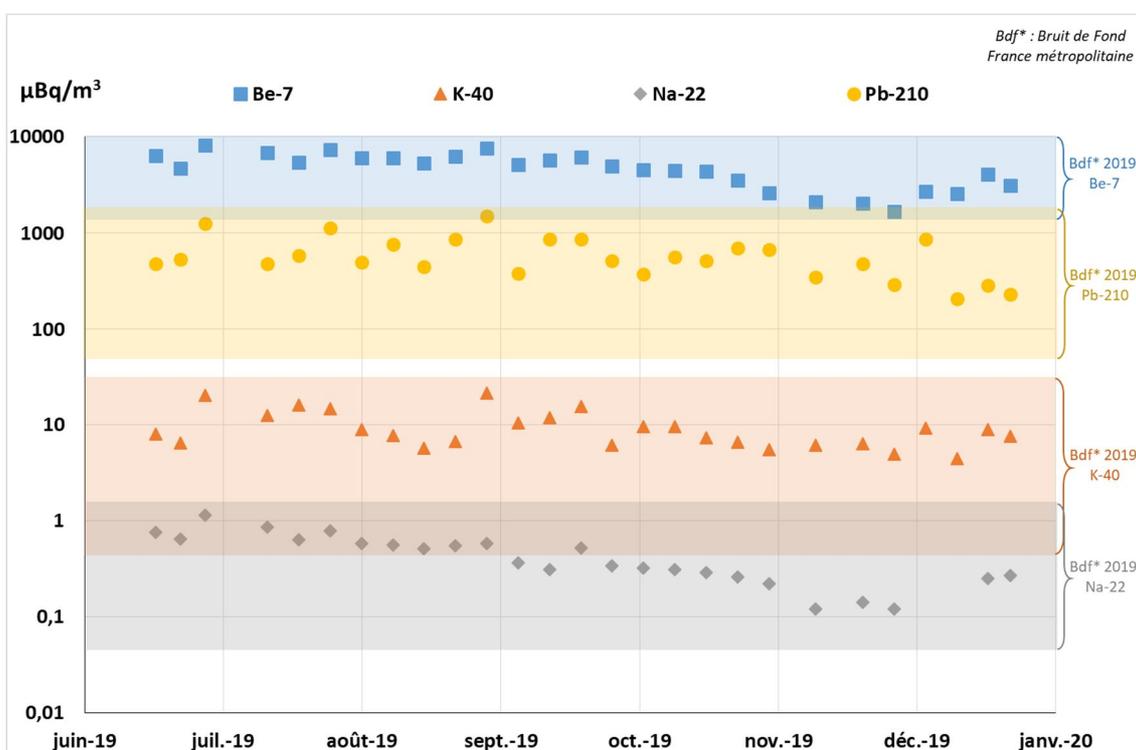


Figure 29 : Activités des principaux radionucléides d'origine naturelle mesurés par spectrométrie gamma sur les filtres de prélèvement des aérosols atmosphériques à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Les niveaux en béryllium 7 (Figure 30) et sodium 22 varient en fonction des saisons avec des niveaux plus élevés l'été que l'hiver. Cette observation s'explique par une source de production de ces deux radionucléides, localisée dans la haute atmosphère et l'existence d'intrusions de masses d'air stratosphériques ou de la haute troposphère vers les basses couches de l'atmosphère préférentiellement durant l'été [29].

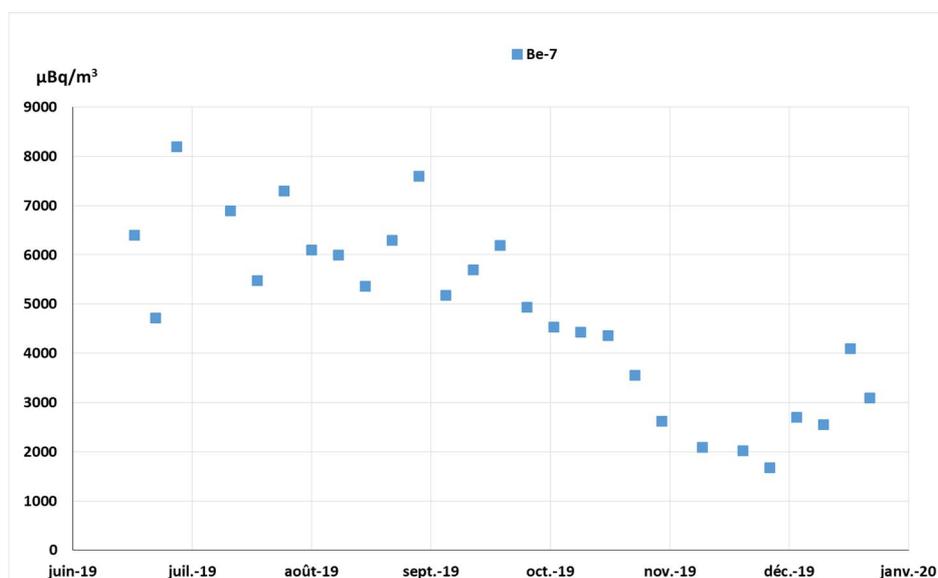


Figure 30 : Évolution des niveaux en béryllium 7 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Le plomb 210 et le potassium 40 présents dans l'air ont une origine tellurique et, dans le cas particulier du potassium 40, également liée à des émissions de pollens ou à des feux de biomasse. Ils sont considérés comme des indicateurs du transport des masses d'air. Les niveaux d'activités en plomb 210 sont notamment plus élevés dans des masses d'air continentales que dans des masses d'air ayant survolé des étendues marines. Ce radionucléide est en effet un des éléments de la chaîne de décroissance de l'uranium 238 naturellement présent dans l'écorce terrestre. Sa présence dans l'atmosphère s'explique à la fois par l'exhalation du radon 222 (gaz radioactif) dont il est issu (on parle alors de plomb en excès) ainsi que par les particules issues de l'érosion éolienne des sols contenant du plomb 210 produit *in situ* par les radionucléides de la famille de l'uranium 238 contenus dans ces particules (fraction qu'on appelle plomb supporté) [30]. Sa concentration atmosphérique dépend notamment du niveau en radon dont l'exhalation est également liée aux conditions météorologiques et aux caractéristiques édaphiques¹⁸ des sols.

Les niveaux moyens obtenus à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice sont, comme attendu, similaires à ceux mesurés à distance d'installations nucléaires par les stations à très grand débit (TGD) du réseau OPERA-Air de l'IRSN (tableau 7).

Tableau 7 : Comparaison des niveaux moyens d'activité en radionucléides d'origine naturelle mesurés à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et mesurés à la même période (juin à décembre 2019) sur des stations TGD du réseau OPERA-Air de l'IRSN

Radionucléides	Niveaux moyens (µBq/m ³)		
	Station TGD Dijon	Station TGD Clermont-Ferrand	Station GD Saint-Alban Saint-Maurice
⁷ Be	4924 ± 164	6014 ± 135	4821 ± 89
⁴⁰ K	7,0 ± 0,3	7,5 ± 0,3	9,5 ± 0,3
²¹⁰ Pb	512 ± 18	589 ± 14	620 ± 12
²² Na	0,49 ± 0,03	0,60 ± 0,03	0,46 ± 0,02

¹⁸ Relatif à la nature du sol

Radionucléides d'origine artificielle

Le césium 137

Le césium 137 est le radionucléide d'origine artificielle le plus fréquemment mesuré lors de cette étude (100% des filtres). Les niveaux d'activités mesurés varient entre 0,06 et 1,11 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (tableau 8).

Tableau 8 : Résultats de mesure en césium 137 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et aux deux stations TGD OPERA-Air de l'IRSN, les plus proches

Activités en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (juin à décembre 2019)	^{137}Cs	Activité moyenne
CNPE-St-Alban (27 filtres) <i>Fréquence de détection</i>	de 0,06 \pm 0,03 à 1,11 \pm 0,14 100%	0,31 \pm 0,01
Station TGD OPERA-Air de Dijon <i>Fréquence de détection</i>	de 0,04 \pm 0,01 à 0,16 \pm 0,03 95%	0,09 \pm 0,01
Station TGD OPERA-Air de Clermont-Ferrand <i>Fréquence de détection</i>	de 0,04 \pm 0,02 à 0,32 \pm 0,06 100%	0,11 \pm 0,01

Les niveaux d'activités en césium 137 de cette étude sont comparables à ceux mesurés lors des études précédemment menées à proximité du CNPE de Cruas-Meysses en 2015-2016 (0,12 à 1,62 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) et de Tricastin en 2012-2013 (0,07 à 1,59 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). La figure 31 montre que les niveaux d'activités en césium 137 sont fortement corrélés avec les niveaux d'empoussièrément et avec les niveaux en potassium 40 dont l'essentiel provient de la remise en suspension traduisant, par conséquent, une origine majoritairement en rapport avec les retombées des essais nucléaires et celles de l'accident de Tchernobyl.

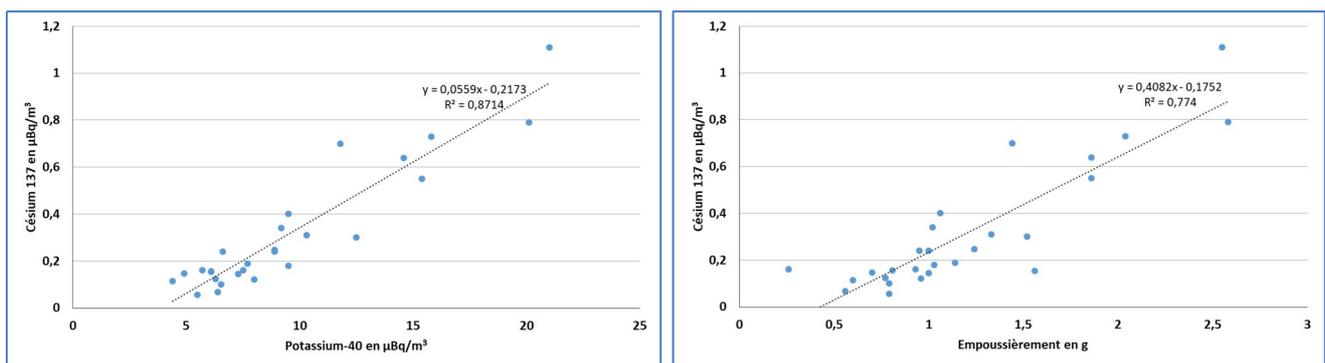


Figure 31 : Relation entre les activités en césium 137 par rapport aux activités en potassium 40 et au niveau d'empoussièrément des aérosols prélevés à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Les activités maximales et moyennes en césium 137 mesurées à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, sont supérieures aux activités maximales et moyennes mesurées sur la même période aux stations du réseau OPERA-Air les plus proches de Dijon et Clermont-Ferrand (tableau 8). Comme indiqué au paragraphe 4.1, la station est située en vallée du Rhône, zone impactée de manière significative par les retombées de l'accident de Tchernobyl auxquelles vient s'ajouter la contribution des rejets du CNPE. Compte tenu du faible nombre de filtres sur lesquels un autre radionucléide d'origine artificielle a été mesuré, il n'a pas été possible de reproduire l'approche faite pour les CNPE de Cruas-Meysses et Tricastin afin d'estimer le bruit de fond local en césium 137 et la contribution du CNPE (cf. § 4.1 Résultats).

Une approche basée sur l'analyse des données météorologiques a permis néanmoins de différencier deux situations d'expositions de la station de prélèvement :

Cas n°1 : Condition de vents venant majoritairement (+ de 50% du temps) du secteur nord (330° - 30°) = Périodes durant lesquelles la station est exposée aux rejets du site.

Cas n°2 : Périodes durant lesquelles la station est moins exposée aux rejets du site (vents ne venant pas majoritairement du secteur nord) = estimation du bruit de fond local.

Il ressort de cette approche que le bruit de fond local (cas n°2) est d'environ 0,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ alors que l'activité moyenne dans les conditions d'expositions de la station aux rejets atmosphériques du site (cas n°1) est d'environ 0,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Nous pouvons estimer l'apport du CNPE à environ 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ en faisant la soustraction de la moyenne d'activité du cas n°2 à celle du cas

n°1. Ces résultats confirment, aux incertitudes près, les contributions estimées précédemment, à proximité des CNPE de Cruas Meysse et Tricastin.

Autres radionucléides

Les autres radionucléides, caractéristiques des rejets atmosphériques des CNPE, mesurés significativement lors de cette étude sont le cobalt 60, le cobalt 58 et l'antimoine 124. Les activités mesurées pour ces trois radionucléides varient entre 0,04 et 5,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Ces radionucléides ont été mesurés significativement sur 4 des 27 filtres analysés (tableau 9). Ils n'ont jamais été mesurés sur les stations de référence hors influence d'une installation nucléaire du réseau OPERA-Air de l'IRSN au cours des 10 dernières années.

Tableau 9 : Radionucléides d'origine artificielle, hors césium 137, mesurés significativement lors de l'étude IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

AS1 du Saint-Alban Saint-Maurice (27 filtres)		Activités en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$		
début de prélèvement	fin de prélèvement	^{58}Co	^{60}Co	^{124}Sb
30-sept.	7-oct.	$5,30 \pm 0,60$	$0,42 \pm 0,10$	$0,52 \pm 0,10$
7-oct.	14-oct.	$<0,04$	$0,07 \pm 0,04$	$<0,04$
21-oct.	28-oct.	$0,12 \pm 0,04$	$0,06 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,02$
4-nov.	18-nov.	$0,08 \pm 0,02$	$<0,03$	$<0,03$
Fréquence de détection		11%	11%	7%
Seuils de décision		0,03 à 0,1	0,01 à 0,12	0,02 à 0,11

Discussion

Le dispositif mis en place (station $\approx 330 \text{ m}^3/\text{h}$) au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de juin à décembre 2019, associé à une métrologie dédiée à la mesure des niveaux traces (cf. § 4.1. Moyens et méthodes), a permis de quantifier les activités de certains radionucléides d'origine artificielle caractéristiques des rejets du CNPE. Les activités mesurées se situent en dessous des seuils de décisions des mesures réalisées dans le cadre de la surveillance régulière effectuée par l'IRSN à la station AS 1 (station $\approx 80 \text{ m}^3/\text{h}$) sur la même période (figure 32) [12] [7]. En effet, le seul radionucléide d'origine artificielle mesuré depuis la mise en service de cette station est le cobalt 58 en juin 2015 ($5,4 \pm 0,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$) (annexe 2).

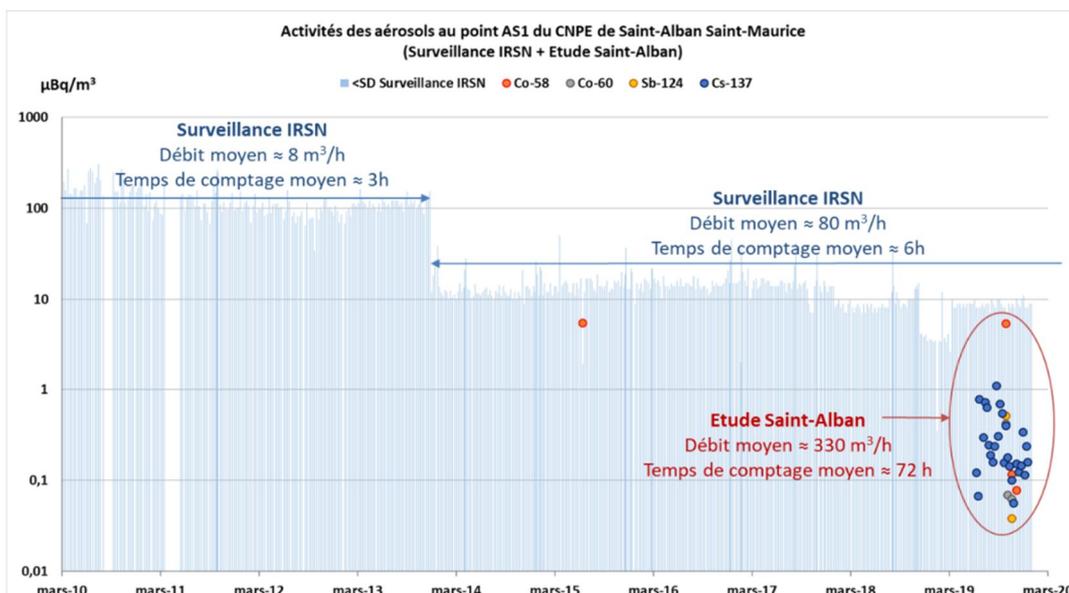


Figure 32 : Activités des aérosols prélevés au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice

Des activités volumiques de radionucléides d'origine artificielle ont pu être quantifiées lors de la période d'arrêt de la tranche 2. D'après les informations recueillies auprès d'EDF, il n'y a pas eu, lors de ces périodes, d'opération particulière qui pourrait justifier ces détections.

Les niveaux mesurés pour les radionucléides d'origine artificielle autres que le césium 137 à proximité du site de Saint-Alban Saint-Maurice sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés lors d'études similaires menées à proximité d'autres CNPE (figure 33). En revanche, la fréquence de détection de ces radionucléides à proximité de Saint-Alban Saint-Maurice (2 x 1300 MWe), comme lors de l'étude réalisée au CNPE de Golfech (2x 1300 MWe) en 2011, est faible au regard des études menées de 2012 à 2018 à proximité des CNPE de plus forte puissance (4 à 6 x 900 MWe).

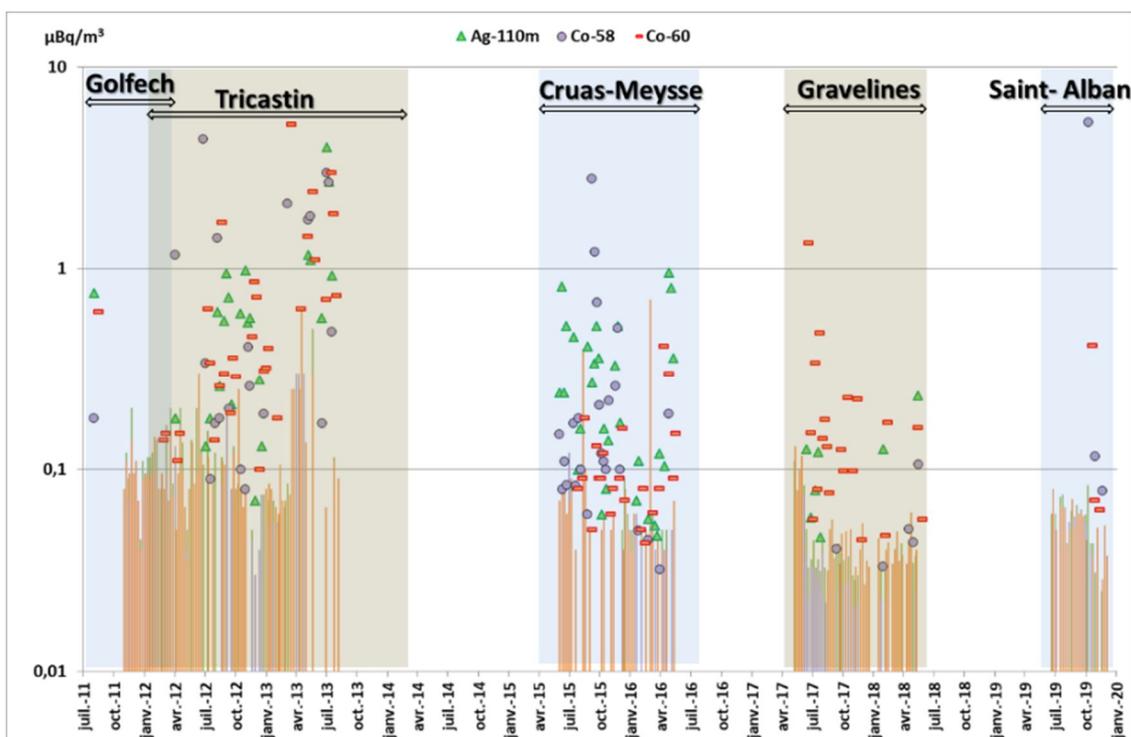


Figure 33 : Principaux radionucléides d'origine artificielle, hors césium 137, mesurés à proximité des CNPE de Golfech, Tricastin, Cruas-Meyssse, Gravelines et Saint-Alban.

CONCLUSION

L'étude des niveaux en tritium de l'air dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice a permis de mieux caractériser la zone influencée par les rejets atmosphériques tritiés de la centrale en mesurant précisément les niveaux d'activité de HTO contenu dans la vapeur d'eau de l'air en différents points dans un rayon de 8 kilomètres d'une part et en mesurant précisément les différentes formes chimiques du tritium au point de surveillance réglementaire AS1 d'autre part.

Zone d'influence

Les activités les plus élevées en tritium de la vapeur d'eau de l'air acquises à l'aide des piègeurs passifs sont mesurées à un kilomètre au nord et au sud du site, sous les vents dominants, avec une moyenne sur l'ensemble de l'étude de l'ordre de 4 Bq/L de vapeur d'eau atmosphérique soit environ 0,04 Bq/m³ d'air.

Ces activités diminuent avec la distance par rapport au site. Elles rejoignent entre 3 et 4 kilomètres sous les vents dominants et dès le premier kilomètre à l'est et à l'ouest du site, des activités proches de celles acquises à distance, en dehors de l'influence de l'installation, qui sont de l'ordre de 1 Bq/L de vapeur d'eau atmosphérique (0,012 Bq/m³ d'air). La cartographie ainsi acquise nous permet d'avoir une vision représentative de la zone d'influence des rejets atmosphériques tritiés du CNPE.

La comparaison des activités mesurées en HTO dans la vapeur d'eau de l'air prélevé au niveau de la station de surveillance AS 1 à l'aide du piègeur passif et à l'aide du barboteur montre que les activités en tritium obtenues par les deux types de dispositifs sur une même période sont généralement très proches, ce qui nous permet de conforter la validité des résultats acquis quel que soit le moyen de prélèvement.

Forme chimique du tritium atmosphérique

Les activités de tritium mesurées au niveau de la station de surveillance AS 1 à 1 kilomètre au sud du site sous les vents dominants, à l'aide d'un barboteur tritium à 4 pots, nous permettent également de quantifier la contribution des différentes formes chimiques. **La répartition des formes chimiques du tritium ainsi mesurées (83% sous forme de HTO et 17% pour les autres formes gazeuses (HT, CH₃T...)) conforte les données acquises** dans le cadre de l'étude réalisée précédemment à proximité du CNPE de Cruas-Meysses entre mai 2015 et mai 2016.

Transfert du tritium atmosphérique aux végétaux

La variabilité des activités de HTO mesurées dans l'air, en fonction de la distance et de l'azimut au site, contribue à une meilleure compréhension des variabilités observées dans les activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées dans les différentes matrices de l'environnement terrestre dans le cadre de la surveillance de l'environnement réalisée à proximité du site.

Les activités en TOL mesurées dans les végétaux terrestres sont du même ordre de grandeur que les moyennes des activités dans la vapeur d'eau atmosphérique prélevée à l'aide des piègeurs passifs tritium disposés à proximité durant leur croissance, ce qui est conforme aux connaissances radioécologiques sur le comportement du tritium dans l'environnement.

Perspectives et limitations de l'étude des niveaux de tritium dans l'air

Les activités mesurées à distance du site hors influence de celui-ci afin de déterminer le bruit de fond sont régulièrement proches voire inférieures aux seuils de décision de 0,7 Bq/L obtenus avec la métrologie mise en œuvre pour cette étude, ce qui ne permet pas de caractériser précisément le bruit de fond. Afin d'abaisser les seuils de décision, l'IRSN devra mettre en œuvre des techniques de prélèvements et d'analyse du tritium encore plus performantes.

Enfin, l'intégration sur 15 jours des prélèvements masque l'influence ponctuelle des fluctuations des activités rejetées, notamment lors des opérations de maintenance et/ou les manœuvres d'exploitation. L'étude complémentaire à l'aide de condenseurs H3R700 disposés sous le vent du CNPE de part et d'autre de la direction moyenne du vent au moment des prélèvements qui était envisagée n'a pas pu être réalisée (COVID 19) dans le cadre de cette ERS. Elle sera menée ultérieurement dans l'environnement d'un autre CNPE.

L'étude des niveaux de radioactivité des aérosols prélevés à proximité (1 km sous les vents dominants) du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice, montre qu'outre des radionucléides d'origine naturelle et du césium 137 qui provient également des retombées anciennes, des activités de **cobalt 58, de cobalt 60 et d'antimoine 124 ont pu être quantifiées pour 4 des 27 filtres analysés, à des niveaux compris entre 0,04 et 5,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$** . Ces radionucléides résultent des rejets effectués pendant le fonctionnement normal de la centrale. Leurs activités sont du même ordre de grandeur que celles mesurées lors d'études similaires menées précédemment à proximité d'autres CNPE entre 2011 et 2018. Leur fréquence de détection est cependant faible (7 à 11 %).

L'apport des rejets du CNPE de Saint-Alban aux niveaux de césium 137 présents dans l'atmosphère est estimé à environ 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, ce qui est identique, aux incertitudes près, aux niveaux estimés à proximité des CNPE de Cruas Meysse et Tricastin.

Limitation de l'étude sur les niveaux de radioactivité des aérosols

Compte tenu des résultats obtenus sur les aérosols, les deux études envisagées dans le cadre de l'étude radiologique du site de Saint-Alban Saint-Maurice, portant, d'une part sur les dépôts et le rapport de lessivage, et d'autre part sur la distribution granulométrique des radionucléides rejetés à l'atmosphère, n'ont pu être réalisées. Elles devront être envisagées à proximité d'un site qui présentera des niveaux d'activités dans l'air suffisants pour le bon déroulement de ces études.

S'agissant de l'étude des niveaux en carbone 14, les résultats dans l'air à proximité du site n'étant pas actuellement disponibles pour être présentés dans de présent rapport, ils feront l'objet d'une autre publication.

REFERENCES

- [1] <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Etudes-complementaires/Etudes-radiologiques-site/Pages/Sommaire.aspx#.YNsXjrtxeUl>
- [2] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport IRSN (à paraître)
- [3] 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)
- [4] 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
- [5] Décision n° 2014-DC-0470 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 2 décembre 2014 fixant les limites de rejet dans l'environnement des effluents liquides et gazeux des installations nucléaires de base n° 119 et n° 120 exploitées par Électricité de France - Société Anonyme (EDF-SA) dans la commune de Saint-Alban Saint-Maurice (département de l'Isère)
- [6] EDF Centrales nucléaires et environnement. Prélèvements d'eau et rejets. Edition 2020 EDP Sciences
- [7] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport IRSN DG/2018-00006, p 87-89
- [8] Rapport annuel d'information du public relatif aux installations nucléaires du site de Saint-Alban Saint-Maurice 2019 -EDF-
- [9] Rapport environnemental annuel relatif aux installations nucléaires du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Saint-Alban 2019 - EDF -
- [10] 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. Version consolidée au 22 décembre 2016
- [11] Historique radiologique de l'environnement du site de Saint-Alban IRSN-2021-00678
- [12] www.mesure-radioactivite.fr
- [13] <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/Pages/Home.aspx>
- [14] Impact du tritium autour des centrales nucléaires EDF, Radioprotection 2008 Vol. 43, n° 2, pages 177 à 191
- [15] Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement - IRSN - PRP-ENV/SERIS/2017-00004
- [16] Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain IRSN/2021-(à paraître 2021)
- [17] Etude des niveaux de radioactivité atmosphérique à proximité du CNPE de Cruas-Meysses Journées SFRP Air & Radioactivité 01 et 02 février 2017
- [18] Constat radiologique « Sud-Ouest » - Rapport de synthèse - IRSN-2020-00896
- [19] Constat radiologique Normandie-Hauts-de-France - Rapport de synthèse IRSN- (à paraître 2021)

-
- [20] Développement d'un piègeur passif pour la surveillance du tritium atmosphérique Radioprotection 2017, 52(1), 57-64
- [21] NF M60-312-1 Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Détermination de l'activité du tritium dans l'air - Partie 1 : Détermination de l'activité volumique du tritium atmosphérique prélevé par la technique de barbotage de l'air dans l'eau - JUIN 2019
- [22] Livre Blanc du tritium, rapport ASN
- [23] Bruit de fond du tritium en milieu terrestre, Radioprotection 49(2), 139-142 (2014)
- [24] Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement, rapport IRSN 2017
- [25] Rapport IRSN/DEI/2011-01 : Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement
- [26] Note IRSN du 28 mai 2019 : Rejet de Sélénium 75 par les installations du SCK-CEN de Mol (Belgique)
- [27] Constat vallée du Rhône Etude complémentaire du milieu atmosphérique_Présentation des résultats Rapport IRSN PRP-ENV/SESURE 2014-38
- [28] A. de Vismes Ott, R. Gurriaran, X. Cagnat, O. Masson (2013) Fission product activity ratios measured at trace level over France during the Fukushima accident. Journal of Environmental Radioactivity, 125, 6-16.
- [29] P. Steinmann, M. Zeller, P. Beuret, G. Ferreri, S. Estier (2013) Cosmogenic ^7Be and ^{22}Na in ground level air in Switzerland (1994-2011). Journal of Environmental Radioactivity, 124 68-73.
- [30] B. Ghaleb, C. Falguères (2017) Apport des méthodes basées sur le déséquilibre radioactif (^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{226}Ra - ^{210}Pb) aux études des variations et changements climatiques (Contribution of U-Series methods based on radioactive disequilibrium (^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{226}Ra - ^{210}Pb) to variations and climatic changes. L'anthropologie, 121 73-81.

ANNEXES

ANNEXE 1 PIEGEURS PASSIFS TRITIUM : INFORMATIONS ET RESULTATS

Saint-Maurice-L'Exil (≈ 1 km Sud du site)					
Latitude :		45,396			
Longitude :		4,758			
Figure 14 :		Point A			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
28/01/19	12/02/19	5,44	0,84	0,031	0,005
12/02/19	26/02/19	6,21	0,88	0,038	0,005
26/02/19	13/03/19	2,48	0,76	0,018	0,005
13/03/19	26/03/19	9,69	1,04	0,061	0,007
26/03/19	09/04/19	3,57	0,94	0,024	0,006
09/04/19	25/04/19	5,01	0,85	0,039	0,007
25/04/19	09/05/19	1,23	0,71	0,010	0,006
09/05/19	21/05/19	4,68	0,82	0,039	0,007
21/05/19	04/06/19	3,59	0,80	0,039	0,009
04/06/19	19/06/19	2,32	0,75	0,026	0,009
19/06/19	01/07/19	4,72	0,98	0,069	0,014
15/07/19	15/07/19	6,23	0,86	0,088	0,012
15/07/19	29/07/19	3,53	0,76	0,044	0,009
29/07/19	06/08/19	1,97	0,74	0,024	0,009
06/08/19	22/08/19	2,79	0,74	0,040	0,011
22/08/19	05/09/19	3,99	0,81	0,055	0,011
05/09/19	16/09/19	4,87	0,81	0,051	0,009
16/09/19	02/10/19	1,98	0,75	0,023	0,009
02/10/19	15/10/19	1,35	0,70	0,014	0,007
Activité moyenne		4,0	0,2	0,039	0,002
Activité maximale		9,69	1,04	0,088	0,012
Activité minimale		1,23	0,71	0,010	0,006
Nombre de prélèvements		19			

Saint-Pierre-de-Bœuf (≈ 2 km Sud du site)					
Latitude :		45,387			
Longitude :		4,753			
Figure 14 :		Point B			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
28/01/19	12/02/19	1,13	0,70	0,006	0,004
12/02/19	26/02/19	4,63	0,86	0,026	0,005
26/02/19	13/03/19	1,31	0,73	0,008	0,005
13/03/19	26/03/19	3,29	0,77	0,021	0,005
26/03/19	09/04/19	2,36	0,89	0,015	0,006
09/04/19	24/04/19	2,70	0,78	0,020	0,006
24/04/19	09/05/19	4,27	0,80	0,033	0,006
09/05/19	21/05/19	1,67	0,68	0,014	0,006
21/05/19	04/06/19	2,63	0,81	0,027	0,008
04/06/19	19/06/19	1,72	0,74	0,019	0,008
19/06/19	01/07/19	2,68	0,92	0,042	0,015
01/07/19	15/07/19	3,13	0,74	0,043	0,010
15/07/19	29/07/19	1,77	0,71	0,025	0,010
29/07/19	06/08/19	1,63	0,74	0,020	0,009
06/08/19	22/08/19	1,85	0,70	0,026	0,010
22/08/19	05/09/19	2,42	0,73	0,032	0,010
05/09/19	16/09/19	2,77	0,98	0,029	0,010
16/09/19	02/10/19	1,79	0,72	0,021	0,008
02/10/19	15/10/19	1,21	0,73	0,012	0,007
Activité moyenne		2,4	0,2	0,023	0,002
Activité maximale		4,63	0,86	0,043	0,010
Activité minimale		1,13	0,70	0,006	0,004
Nombre de prélèvements		19			

Saint-Maurice-L'Exil (≈ 3 km Sud du site)					
Latitude :		45,377			
Longitude :		4,758			
Figure 14 :		Point C			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
28/01/19	12/02/19	1,80	0,72	0,010	0,004
12/02/19	26/02/19	8,65	0,99	0,050	0,006
26/02/19	13/03/19	1,21	0,72	0,008	0,005
13/03/19	26/03/19	2,10	0,74	0,013	0,005
26/03/19	09/04/19	2,55	0,90	0,017	0,006
09/04/19	24/04/19	2,57	0,73	0,020	0,006
24/04/19	09/05/19	1,41	0,72	0,011	0,006
09/05/19	21/05/19	2,86	0,72	0,025	0,006
21/05/19	04/06/19	1,93	0,75	0,021	0,008
04/06/19	19/06/19	0,84	0,71	0,009	0,008
19/06/19	01/07/19	2,54	0,90	0,043	0,015
01/07/19	15/07/19	2,30	0,72	0,033	0,010
15/07/19	29/07/19	1,29	0,70	0,016	0,009
29/07/19	06/08/19	1,21	0,72	0,017	0,010
06/08/19	22/08/19	1,71	0,70	0,026	0,010
22/08/19	05/09/19	2,75	0,77	0,042	0,012
05/09/19	16/09/19	2,18	0,72	0,025	0,008
16/09/19	02/10/19	1,77	0,72	0,021	0,009
02/10/19	15/10/19	1,07	0,72	0,011	0,007
Activité moyenne		2,2	0,2	0,022	0,002
Activité maximale		8,65	0,99	0,050	0,006
Activité minimale		0,84	0,71	0,008	0,005
Nombre de prélèvements		19			

Saint-Pierre-de-Bœuf (≈ 4 km Sud du site)					
Latitude :		45,368			
Longitude :		4,753			
Figure 14 :		Point D			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
28/01/19	12/02/19	1,86	0,73	0,011	0,004
12/02/19	26/02/19	4,42	0,82	0,026	0,005
26/02/19	13/03/19	0,80	0,68	0,005	0,004
13/03/19	26/03/19	1,52	0,72	0,010	0,005
26/03/19	09/04/19	1,91	0,88	0,012	0,006
09/04/19	24/04/19	1,70	0,75	0,013	0,006
24/04/19	09/05/19	0,75	0,70	0,006	0,005
09/05/19	21/05/19	1,73	0,68	0,014	0,006
21/05/19	04/06/19	1,84	0,78	0,019	0,008
04/06/19	19/06/19	1,41	0,73	0,016	0,008
19/06/19	01/07/19	2,20	0,90	0,035	0,014
01/07/19	15/07/19	2,61	0,73	0,035	0,010
15/07/19	29/07/19	1,88	0,71	0,026	0,010
29/07/19	06/08/19	1,46	0,72	0,018	0,009
06/08/19	22/08/19	2,11	0,70	0,030	0,010
22/08/19	05/09/19	2,23	0,75	0,030	0,010
05/09/19	16/09/19	2,35	0,73	0,025	0,008
16/09/19	02/10/19	1,77	0,72	0,020	0,008
Activité moyenne		1,9	0,2	0,020	0,002
Activité maximale		4,42	0,82	0,035	0,010
Activité minimale		0,75	0,70	0,005	0,004
Nombre de prélèvements		18			

Saint-Alban-du-Rhône (≈ 1 km Nord du site)					
Latitude : 45,413					
Longitude : 4,754					
Figure 14 : Point E 					
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
12/02/19	26/02/19	7,00	0,92	0,037	0,005
26/02/19	13/03/19	5,36	0,84	0,033	0,005
13/03/19	26/03/19	2,82	0,77	0,018	0,005
26/03/19	09/04/19	8,36	1,17	0,051	0,007
09/04/19	25/04/19	3,71	0,81	0,026	0,006
25/04/19	09/05/19	3,39	0,77	0,024	0,006
09/05/19	21/05/19	2,09	0,74	0,017	0,006
21/05/19	04/06/19	3,96	0,78	0,038	0,007
04/06/19	19/06/19	5,24	0,85	0,057	0,009
19/06/19	01/07/19	4,35	0,92	0,067	0,014
01/07/19	15/07/19	2,46	0,85	0,031	0,011
15/07/19	29/07/19	3,52	0,75	0,046	0,010
29/07/19	06/08/19	2,43	0,84	0,029	0,010
06/08/19	22/08/19	3,07	0,88	0,043	0,012
22/08/19	06/09/19	2,04	0,72	0,026	0,009
06/09/19	16/09/19	2,20	0,75	0,022	0,008
16/09/19	02/10/19	4,19	0,91	0,048	0,010
02/10/19	15/10/19	4,19	0,79	0,043	0,008
15/10/19	29/10/19	2,50	0,74	0,027	0,008
Activité moyenne		3,8	0,2	0,036	0,002
Activité maximale		8,36	1,17	0,067	0,014
Activité minimale		2,04	0,72	0,017	0,006
Nombre de prélèvements		19			

Saint-Maurice-L'Exil (≈ 1 km Est du site)					
Latitude : 45,404					
Longitude : 4,766					
Figure 14 : Point F 					
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
26/02/19	13/03/19	1,52	0,72	0,010	0,005
26/03/19	09/04/19	2,70	0,98	0,017	0,006
25/04/19	09/05/19	1,51	0,72	0,011	0,005
09/05/19	21/05/19	1,88	0,69	0,015	0,006
21/05/19	04/06/19	0,89	0,69	0,009	0,007
04/06/19	19/06/19	0,78	0,72	0,009	0,008
19/06/19	01/07/19	1,28	0,82	0,021	0,013
01/07/19	15/07/19	2,62	0,86	0,034	0,011
15/07/19	29/07/19	1,49	0,70	0,020	0,009
29/07/19	06/08/19	1,26	0,81	0,016	0,010
06/08/19	22/08/19	<	0,68	<	0,009
22/08/19	05/09/19	1,32	0,74	0,017	0,010
05/09/19	16/09/19	1,99	0,75	0,021	0,008
16/09/19	02/10/19	1,80	0,84	0,020	0,009
02/10/19	15/10/19	<	0,66	<	0,007
15/10/19	29/10/19	<	0,66	<	0,007
Activité moyenne		1,4	0,2	0,015	0,002
Activité maximale		2,70	0,98	0,034	0,011
Activité minimale		<	0,66	<	0,007
Nombre de prélèvements		16			

Saint-Alban-du-Rhône (≈ 2 km Nord du site)					
Latitude :		45,423			
Longitude :		4,754			
Figure 14 :		Point G			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
09/04/19	24/04/19	6,79	0,92	0,051	0,007
24/04/19	09/05/19	2,22	0,73	0,016	0,005
09/05/19	21/05/19	1,40	0,68	0,011	0,006
21/05/19	04/06/19	2,77	0,74	0,027	0,007
04/06/19	19/06/19	1,69	0,74	0,019	0,008
19/06/19	01/07/19	2,09	0,72	0,034	0,012
01/07/19	15/07/19	1,32	0,68	0,017	0,009
15/07/19	29/07/19	1,45	0,70	0,020	0,009
29/07/19	06/08/19	2,16	0,84	0,027	0,011
06/08/19	22/08/19	1,67	0,71	0,024	0,010
22/08/19	05/09/19	2,20	0,76	0,030	0,010
05/09/19	16/09/19	1,41	0,73	0,015	0,008
16/09/19	02/10/19	2,15	0,85	0,025	0,010
02/10/19	15/10/19	1,91	0,72	0,019	0,007
15/10/19	29/10/19	0,73	0,69	0,008	0,008
Activité moyenne		2,1	0,2	0,023	0,002
Activité maximale		6,79	0,92	0,051	0,007
Activité minimale		0,73	0,69	0,008	0,008
Nombre de prélèvements		15			

Chavanay (≈ 1Km Ouest du site)					
Latitude :		45,404			
Longitude :		4,744			
Figure 14 :		Point H			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
10/05/19	21/05/19	1,41	0,69	0,011	0,005
04/06/19	19/06/19	1,31	0,73	0,014	0,008
19/06/19	01/07/19	2,31	0,73	0,037	0,011
01/07/19	15/07/19	2,51	0,71	0,032	0,009
15/07/19	29/07/19	2,10	0,71	0,029	0,010
29/07/19	06/08/19	2,46	0,84	0,032	0,011
06/08/19	22/08/19	1,70	0,71	0,023	0,010
22/08/19	05/09/19	1,51	0,74	0,020	0,010
05/09/19	16/09/19	1,90	0,75	0,020	0,008
16/09/19	02/10/19	1,56	0,82	0,017	0,009
02/10/19	15/10/19	1,21	0,71	0,011	0,007
15/10/19	29/10/19	<	0,68	<	0,006
Activité moyenne		1,7	0,2	0,021	0,003
Activité maximale		2,51	0,71	0,037	0,011
Activité minimale		<	0,68	<	0,006
Nombre de prélèvements		12			

Assieu (≈ 8 km Est du site)					
Latitude :		45,406			
Longitude :		4,857			
Figure 14 :		Point I 			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
10/05/19	21/05/19	0,86	0,68	0,007	0,006
21/05/19	04/06/19	1,15	0,69	0,011	0,007
04/06/19	19/06/19	0,85	0,72	0,010	0,009
19/06/19	02/07/19	1,40	0,83	0,022	0,013
17/09/19	03/10/19	1,16	0,70	0,013	0,008
15/10/19	29/10/19	<	0,66	<	0,007
Activité moyenne		1,0	0,3	0,012	0,004
Activité maximale		1,40	0,83	0,022	0,013
Activité minimale		<	0,66	<	0,007
Nombre de prélèvements		6			

CTM Pelussin (≈ 7 km Ouest du site)					
Latitude :		45,421			
Longitude :		4,674			
Figure 14 :		Point J 			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
21/05/19	04/06/19	1,17	0,69	0,010	0,006
04/06/19	20/06/19	2,32	0,81	0,022	0,008
20/06/19	02/07/19	1,42	0,83	0,019	0,011
02/07/19	16/07/19	1,80	0,69	0,019	0,007
16/07/19	30/07/19	<	0,65	<	0,007
30/07/19	07/08/19	0,92	0,81	0,010	0,008
07/08/19	22/08/19	1,23	0,70	0,014	0,008
22/08/19	05/09/19	1,60	0,74	0,018	0,008
05/09/19	17/09/19	1,76	0,74	0,015	0,007
17/09/19	03/10/19	0,82	0,70	0,008	0,007
Activité moyenne		1,4	0,2	0,014	0,002
Activité maximale		2,32	0,81	0,022	0,008
Activité minimale		<	0,65	<	0,007
Nombre de prélèvements		10			

Saint-Maurice-L'Exil (≈ 2 km Sud-Est du site)					
Latitude :		45,392			
Longitude :		4,770			
Figure 14 :		Point K 			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	Bq/m ³ calculé	±
22/05/19	05/06/19	<	0,66	<	0,006
05/06/19	20/06/19	2,30	0,81	0,026	0,009
20/06/19	01/07/19	4,85	0,81	0,077	0,013
01/07/19	15/07/19	1,40	0,68	0,018	0,009
15/07/19	29/07/19	1,44	0,70	0,019	0,009
29/07/19	06/08/19	1,38	0,82	0,017	0,010
06/08/19	22/08/19	1,61	0,71	0,022	0,010
22/08/19	06/09/19	1,81	0,71	0,024	0,009
06/09/19	17/09/19	2,32	0,87	0,024	0,009
17/09/19	02/10/19	1,69	0,72	0,019	0,008
02/10/19	15/10/19	0,77	0,69	0,008	0,007
15/10/19	29/10/19	<	0,67	<	0,007
Activité moyenne		1,7	0,2	0,022	0,003
Activité maximale		4,85	0,81	0,077	0,013
Activité minimale		<	0,66	<	0,007
Nombre de prélèvements		12			

Saint-Maurice-L'Exil (≈ 2 km Est du site)					
Latitude :		45,402			
Longitude :		4,780			
Figure 14 :		Point L 			
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
05/06/19	20/06/19	0,89	0,72	0,010	0,008
01/07/19	15/07/19	1,35	0,67	0,022	0,011
15/07/19	30/07/19	0,86	0,68	0,011	0,009
30/07/19	07/08/19	1,43	0,82	0,017	0,010
07/08/19	22/08/19	1,42	0,70	0,018	0,009
22/08/19	06/09/19	1,53	0,71	0,019	0,009
06/09/19	17/09/19	2,29	0,86	0,023	0,009
Activité moyenne		1,4	0,3	0,017	0,004
Activité maximale		2,29	0,86	0,023	0,009
Activité minimale		0,86	0,68	0,010	0,008
Nombre de prélèvements		7			

Chavanay (≈ 3 km Nord du site)					
Latitude : 45,433					
Longitude : 4,755					
Figure 14 : Point M 					
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
20/06/19	01/07/19	2,65	0,90	0,044	0,015
01/07/19	15/07/19	2,19	0,71	0,031	0,010
15/07/19	29/07/19	1,38	0,70	0,020	0,010
29/07/19	06/08/19	1,34	0,71	0,018	0,009
06/08/19	22/08/19	1,28	0,69	0,018	0,010
22/08/19	05/09/19	1,61	0,70	0,023	0,010
05/09/19	16/09/19	1,90	0,95	0,022	0,011
16/09/19	02/10/19	2,26	0,85	0,026	0,010
02/10/19	15/10/19	1,29	0,71	0,013	0,007
15/10/19	29/10/19	<	0,66	<	0,007
Activité moyenne		1,7	0,2	0,022	0,003
Activité maximale		2,65	0,90	0,044	0,015
Activité minimale		<	0,66	<	0,007
Nombre de prélèvements		10			

Limony (≈ 6 km Sud du site)					
Latitude : 45,354					
Longitude : 4,758					
Figure 14 : Point N 					
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
16/07/19	29/07/19	0,92	0,68	0,012	0,009
29/07/19	06/08/19	4,13	0,91	0,049	0,011
06/08/19	22/08/19	1,21	0,81	0,016	0,011
22/08/19	06/09/19	2,48	0,73	0,030	0,009
06/09/19	16/09/19	1,83	0,71	0,019	0,008
16/09/19	02/10/19	1,11	0,81	0,012	0,009
02/10/19	15/10/19	0,97	0,70	0,010	0,007
15/10/19	29/10/19	<	0,68	<	0,007
Activité moyenne		1,7	0,3	0,019	0,003
Activité maximale		4,13	0,91	0,049	0,011
Activité minimale		<	0,68	<	0,007
Nombre de prélèvements		8			

Vérin (≈ 4 km Nord du site)					
Latitude : 45,449					
Longitude : 4,753					
Figure 14 : Point O 					
début de prélèvement	fin de prélèvement	³ H en Bq/L mesuré	±	³ H en Bq/m ³ calculé	±
06/08/19	22/08/19	1,53	0,70	0,024	0,011
22/08/19	05/09/19	1,50	0,73	0,019	0,009
05/09/19	16/09/19	1,37	0,70	0,014	0,007
16/09/19	02/10/19	2,05	0,73	0,024	0,008
02/10/19	15/10/19	1,19	0,72	0,012	0,007
Activité moyenne		1,5	0,3	0,019	0,004
Activité maximale		2,05	0,73	0,024	0,008
Activité minimale		1,19	0,72	0,012	0,007
Nombre de prélèvements		5			

ANNEXE 2 RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE MESURÉS SIGNIFICATIVEMENT DEPUIS 2010 PAR LES STATIONS DU RESEAU OPERA-AIR DE L'IRSN SITUÉES AUX POINTS AS 1 DES CNPE D'EDF (en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

Radionucléides d'origine artificielle mesurés significativement par le réseau OPERA-AIR 80 de l'IRSN au points AS 1 des CNPE d'EDF depuis 2010 en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$										
CNPE	date de début de prélèvement	date de fin de prélèvement	$^{110\text{m}}\text{Ag}$ ±	^{58}Co ±	^{60}Co ±	^{54}Mn ±	^{134}Cs ±	^{137}Cs ±	^{131}I ±	^{75}Se ±
Belleville	22/03/2011	01/04/2011						18,4 6,7		
	08/04/2011	15/04/2011					19,1 10,0	20,0 8,3		
	01/04/2011	08/04/2011					33,9 10,2	34,7 8,5		
Brennilis	01/04/2011	08/04/2011					57,4 15,4	63,4 12,9	634,0 146,0	
	08/04/2011	15/04/2011					33,4 11,7	37,6 10,0	250,0 117,0	
	14/05/2019	21/05/2019								1,3 0,3
Bugey	22/03/2011	29/03/2011							182,0 21,1	
	29/03/2011	03/04/2011							472,0 97,0	
	03/04/2011	08/04/2011					26,7 12,1	33,9 12,1		
	08/04/2011	15/04/2011						23,7 7,9	219,0 70,3	
Cattenom	22/03/2011	01/04/2011					44,6 12,5	41,7 9,5	2050,0 805,0	
	01/04/2011	08/04/2011						41,9 13,0		
	08/04/2011	15/04/2011					32,0 11,0	31,0 10,0	240,0 80,0	
	27/02/2017	06/03/2017		18,9 2,4						
	23/04/2018	30/04/2018		15,7 1,4	1,1 0,3					
Chinon	22/03/2011	28/03/2011							363,0 45,8	
	28/03/2011	02/04/2011					63,0 30,3	69,3 58,0	970,0 177,0	
	14/10/2019	21/10/2019		12,1 2,2						
Chooz	22/03/2011	31/03/2011					30,3 9,8	36,8 10,8	596,0 152,0	
	08/04/2011	15/04/2011						28,0 13,3		
Civaux	22/03/2011	01/04/2011					29,6 8,7	50,5 8,2	818,0 146,0	
Creys-Malville	22/03/2011	30/03/2011							194,0 32,1	
Cruas-Meysses	29/10/2018	05/11/2018		5,4 0,8	1,0 0,5					
	15/07/2019	22/07/2019		11,4 2,3						
	23/04/2019	29/04/2019	4,0 1,2							
Dampierre										
Fessenheim	24/03/2011	31/03/2011							777,0 91,4	
	31/03/2011	08/04/2011					37,7 12,9	49,6 13,0	475,0 65,1	
	08/04/2011	15/04/2011						29,6 11,1	182,0 38,3	
Flamanville	02/07/2018	09/07/2018						0,8 0,4		
Golfech	31/03/2011	08/04/2011					38,4 18,0	52,8 12,0	600,0 144,0	
	22/03/2011	31/03/2011						31,5 9,8	911,0 98,6	
Gravelines	16/04/2018	23/04/2018			54,3 3,4	1,7 0,4				
Le Blayais	22/03/2011	01/04/2011					25,9 10,0	35,9 12,5	876,0 101,0	
	01/04/2011	08/04/2011					65,1 19,4	69,6 16,0	651,0 354,0	
Nogent										
Paluel	13/05/2019	20/05/2019								2,68 0,43
Penly	22/03/2011	01/04/2011							409,0 82,0	
	13/05/2019	20/05/2019								5,30 0,70
Saint-Alban	08/06/2015	15/06/2015		5,4 0,6						
Saint-Laurent										
Tricastin	31/08/2015	07/09/2015	2,8 0,7	1,0 0,5	3,6 0,5					
	27/08/2018	03/09/2018			8,3 1,0					

(1) = Masses d'air contaminées par les rejets atmosphériques de l'accident de Fukushima

(2) = Note IRSN du 28 mai 2019 : Rejet de Sélénium 75 par les installations du SCK-CEN de Mol (Belgique) [26]

ANNEXE 3 RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE MESURÉS DANS LES AÉROSOLS PRELEVÉS À PROXIMITÉ DU CNPE DE SAINT ALBAN SAINT MAURICE (en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

date de début de prélèvement		date de fin d'expression des résultats		Radionucléides d'origine naturelle mesurés dans les aérosols prélevés à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$														
				^{228}Ac		^7Be		^{40}K		^{22}Na		$^{234\text{m}}\text{Pa}$		^{210}Pb		^{232}Th		
				Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	Activité \pm SD	SD	
13/06/2019	20/06/2019	16/06/2019	16/06/2019	0,25	6400	600	2,40	8,00	1,40	0,80	0,76	0,14	0,08	6,00	479	44	2,80	1,80
20/06/2019	24/06/2019	22/06/2019	22/06/2019	0,25	4720	420	2,00	6,40	1,50	1,10	0,64	0,15	0,10	6,00	539	49	2,60	1,70
24/06/2019	01/07/2019	27/06/2019	27/06/2019	1,21	8200	700	2,00	20,10	2,60	0,90	1,14	0,19	0,08	6,00	1260	120	3,30	1,90
08/07/2019	15/07/2019	11/07/2019	11/07/2019	0,31	6900	600	2,50	12,50	1,90	0,80	0,85	0,16	0,12	5,00	484	44	2,30	1,70
15/07/2019	22/07/2019	18/07/2019	18/07/2019	0,39	5480	490	2,20	15,80	2,40	0,90	0,63	0,15	0,09	7,00	580	50	3,10	1,80
22/07/2019	29/07/2019	25/07/2019	25/07/2019	1,02	0,25	0,22	7300	700	2,60	14,60	2,00	0,80	0,78	6,00	1130	100	3,00	1,70
29/07/2019	05/08/2019	01/08/2019	01/08/2019	0,21	6100	500	1,50	8,90	1,30	0,60	0,58	0,11	0,05	3,60	497	45	2,10	1,40
05/08/2019	12/08/2019	08/08/2019	08/08/2019	0,26	6000	500	1,60	7,70	1,40	0,80	0,56	0,12	0,07	5,00	770	70	2,50	1,50
12/08/2019	19/08/2019	15/08/2019	15/08/2019	0,26	5370	480	1,70	5,70	1,40	0,80	0,51	0,13	0,08	6,00	451	41	3,10	1,80
19/08/2019	26/08/2019	22/08/2019	22/08/2019	0,24	6300	600	1,80	6,60	1,60	1,00	0,55	0,14	0,08	5,00	860	80	3,30	2,00
26/08/2019	02/09/2019	29/08/2019	29/08/2019	0,34	7600	700	2,00	21,00	2,70	0,80	0,58	0,13	0,08	6,00	1510	140	3,20	1,80
02/09/2019	09/09/2019	05/09/2019	05/09/2019	0,30	5180	470	2,10	10,30	1,60	0,80	0,36	0,09	0,09	5,00	378	35	2,20	1,60
09/09/2019	16/09/2019	12/09/2019	12/09/2019	0,29	5700	500	2,00	11,80	1,70	0,80	0,31	0,09	0,08	6,00	860	80	2,80	1,70
16/09/2019	23/09/2019	19/09/2019	19/09/2019	0,29	6200	600	1,70	15,40	2,00	0,70	0,52	0,11	0,07	4,20	870	80	2,50	1,60
23/09/2019	30/09/2019	26/09/2019	26/09/2019	0,23	4940	440	1,50	6,10	1,20	0,70	0,34	0,09	0,06	5,00	520	48	2,30	1,50
30/09/2019	07/10/2019	03/10/2019	03/10/2019	0,26	4540	410	1,50	9,50	1,60	0,80	0,32	0,09	0,06	6,00	374	34	2,30	1,40
07/10/2019	14/10/2019	10/10/2019	10/10/2019	0,18	4430	400	1,30	9,50	1,40	0,50	0,31	0,08	0,05	3,50	560	50	1,90	1,40
14/10/2019	21/10/2019	17/10/2019	17/10/2019	0,17	4360	390	1,40	7,30	1,10	0,48	0,29	0,07	0,05	3,30	520	47	1,60	1,10
21/10/2019	28/10/2019	24/10/2019	24/10/2019	0,11	3558	325	1,36	6,55	1,05	0,23	0,26	0,07	0,03	2,34	695	64	3,33	1,84
28/10/2019	04/11/2019	31/10/2019	31/10/2019	0,16	2630	240	1,40	5,50	1,00	0,70	0,22	0,06	0,06	3,90	680	60	2,10	1,10
04/11/2019	18/11/2019	11/11/2019	11/11/2019	0,11	2100	190	0,90	6,10	0,90	0,39	0,12	0,04	0,05	2,20	348	32	1,40	0,80
18/11/2019	25/11/2019	21/11/2019	21/11/2019	0,17	2030	180	1,20	6,30	1,20	0,70	0,14	0,06	0,08	4,60	481	44	1,90	1,20
25/11/2019	02/12/2019	28/11/2019	28/11/2019	0,13	1680	150	0,90	4,90	0,80	0,50	0,12	0,04	0,04	3,50	294	27	1,00	0,70
02/12/2019	09/12/2019	05/12/2019	05/12/2019	0,23	2710	240	1,90	9,20	1,60	1,00			0,12	6,00	870	80	2,80	1,40
09/12/2019	16/12/2019	12/12/2019	12/12/2019	0,15	2550	230	1,40	4,40	1,00	0,70			0,09	4,00	208	19	1,50	1,10
16/12/2019	23/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	0,21	4100	370	1,20	8,90	1,50	0,70	0,25	0,07	0,05	4,10	285	26	2,00	1,30
23/12/2019	26/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	0,36	3100	280	2,20	7,50	2,30	1,90	0,27	0,13	0,14	11,00	233	22	2,60	2,00

SD = Seuil de décision

ANNEXE 4 RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE MESURÉS DANS LES AÉROSOLS PRELEVÉS À PROXIMITÉ DU CNPE DE SAINT ALBAN SAINT MAURICE (en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)

date de début de prélèvement			date de fin de prélèvement			date d'expression des résultats			Radionucléides d'origine artificielle mesurés dans les aérosols prélevés à proximité du CNPE de Saint-Alban-Saint-Maurice en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$																													
									$^{108\text{m}}\text{Ag}$		$^{110\text{m}}\text{Ag}$		^{241}Am		^{57}Co		^{58}Co		^{60}Co		^{134}Cs		^{137}Cs		^{54}Mn		^{106}Rh		^{124}Sb		^{125}Sb		$^{123\text{m}}\text{Te}$		^{65}Zn			
									SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
13/06/2019	20/06/2019	16/06/2019	0,07	0,06	0,18	0,09	0,06	0,05	0,12	0,05	0,06	0,05	0,46	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09
20/06/2019	24/06/2019	22/06/2019	0,08	0,07	0,16	0,10	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05	0,06	0,50	0,08	0,06	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09	0,06	0,07	0,43	0,15	0,09
24/06/2019	01/07/2019	27/06/2019	0,07	0,06	0,20	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,49	0,05	0,05	0,49	0,11	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,49	0,05	0,05	0,49	0,11	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,49	0,11	0,06		
08/07/2019	15/07/2019	11/07/2019	0,06	0,07	0,17	0,10	0,06	0,07	0,05	0,30	0,06	0,06	0,50	0,07	0,05	0,50	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,50	0,07	0,05	0,50	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,50	0,07	0,05	0,50	0,06	0,06	
15/07/2019	22/07/2019	18/07/2019	0,08	0,07	0,18	0,09	0,06	0,06	0,06	0,73	0,11	0,05	0,48	0,06	0,06	0,43	0,14	0,12	0,06	0,06	0,06	0,06	0,48	0,08	0,06	0,48	0,07	0,06	0,06	0,06	0,48	0,07	0,06	0,06	0,48	0,07	0,06	
22/07/2019	29/07/2019	25/07/2019	0,07	0,06	0,18	0,10	0,06	0,06	0,06	0,64	0,09	0,05	0,48	0,06	0,06	0,43	0,14	0,12	0,06	0,06	0,06	0,06	0,48	0,08	0,06	0,48	0,07	0,06	0,06	0,06	0,48	0,07	0,06	0,06	0,48	0,07	0,06	
29/07/2019	05/08/2019	01/08/2019	0,05	0,04	0,14	0,08	0,04	0,04	0,03	0,25	0,05	0,04	0,31	0,04	0,03	0,31	0,04	0,31	0,03	0,03	0,03	0,31	0,04	0,03	0,31	0,04	0,03	0,31	0,04	0,03	0,31	0,04	0,03	0,31	0,04	0,03	0,31	
05/08/2019	12/08/2019	08/08/2019	0,05	0,05	0,16	0,09	0,05	0,05	0,04	0,19	0,05	0,05	0,41	0,05	0,04	0,41	0,05	0,41	0,04	0,04	0,04	0,41	0,05	0,04	0,41	0,06	0,06	0,39	0,13	0,08	0,06	0,06	0,39	0,13	0,08	0,06	0,06	
12/08/2019	19/08/2019	15/08/2019	0,07	0,06	0,19	0,10	0,06	0,07	0,05	0,16	0,05	0,05	0,41	0,07	0,05	0,41	0,05	0,41	0,05	0,05	0,05	0,41	0,05	0,05	0,41	0,07	0,05	0,41	0,05	0,05	0,41	0,07	0,05	0,41	0,05	0,05		
19/08/2019	26/08/2019	22/08/2019	0,07	0,06	0,21	0,11	0,06	0,06	0,05	0,24	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,50	0,05	0,05	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05		
26/08/2019	02/09/2019	29/08/2019	0,07	0,07	0,19	0,10	0,06	0,07	0,05	1,11	0,14	0,06	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,50	0,05	0,05	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05		
02/09/2019	09/09/2019	05/09/2019	0,07	0,06	0,16	0,08	0,05	0,06	0,04	0,31	0,06	0,05	0,49	0,06	0,04	0,49	0,06	0,49	0,05	0,05	0,05	0,49	0,06	0,04	0,49	0,06	0,04	0,49	0,06	0,04	0,49	0,06	0,04	0,49	0,06	0,04		
09/09/2019	16/09/2019	12/09/2019	0,07	0,06	0,17	0,09	0,06	0,06	0,05	0,70	0,10	0,06	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,50	0,05	0,05	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05	0,50	0,06	0,05		
16/09/2019	23/09/2019	19/09/2019	0,05	0,05	0,16	0,09	0,04	0,05	0,04	0,55	0,08	0,05	0,38	0,06	0,04	0,38	0,06	0,38	0,04	0,04	0,04	0,38	0,06	0,04	0,38	0,06	0,04	0,38	0,06	0,04	0,38	0,06	0,04	0,38	0,06	0,04		
23/09/2019	30/09/2019	26/09/2019	0,06	0,06	0,15	0,08	0,05	0,05	0,16	0,05	0,05	0,44	0,04	0,05	0,44	0,05	0,44	0,05	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05	0,44	0,05	0,05			
30/09/2019	07/10/2019	03/10/2019	0,08	0,08	0,15	0,08	5,30	0,60	0,07	0,42	0,10	0,05	0,66	0,04	0,05	0,66	0,04	0,66	0,04	0,04	0,04	0,66	0,04	0,04	0,66	0,04	0,04	0,66	0,04	0,04	0,66	0,04	0,04	0,66	0,04	0,04		
07/10/2019	14/10/2019	10/10/2019	0,04	0,04	0,13	0,08	0,04	0,04	0,04	0,18	0,04	0,04	0,33	0,07	0,04	0,33	0,07	0,33	0,03	0,03	0,03	0,33	0,07	0,04	0,33	0,07	0,04	0,33	0,07	0,04	0,33	0,07	0,04	0,33	0,07	0,04		
14/10/2019	21/10/2019	17/10/2019	0,04	0,04	0,11	0,06	0,04	0,04	0,04	0,15	0,03	0,04	0,29	0,04	0,03	0,29	0,04	0,29	0,03	0,03	0,03	0,29	0,04	0,03	0,29	0,04	0,03	0,29	0,04	0,03	0,29	0,04	0,03	0,29	0,04	0,03		
21/10/2019	28/10/2019	24/10/2019	0,02	0,03	0,19	0,09	0,12	0,04	0,02	0,06	0,03	0,01	0,03	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03	0,03			
28/10/2019	04/11/2019	31/10/2019	0,05	0,05	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,36	0,04	0,04	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04		
04/11/2019	18/11/2019	11/11/2019	0,03	0,03	0,08	0,04	0,08	0,04	0,04	0,08	0,02	0,03	0,21	0,03	0,03	0,21	0,03	0,21	0,03	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03	0,21	0,03	0,03		
18/11/2019	25/11/2019	21/11/2019	0,05	0,05	0,12	0,06	0,05	0,05	0,12	0,06	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,36	0,04	0,04	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04		
25/11/2019	02/12/2019	28/11/2019	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,26	0,04	0,26	0,04	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04	0,26	0,04	0,04		
02/12/2019	09/12/2019	05/12/2019	0,08	0,07	0,14	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,60	0,08	0,07	0,60	0,08	0,60	0,07	0,07	0,07	0,60	0,08	0,07	0,60	0,08	0,07	0,60	0,08	0,07	0,60	0,08	0,07	0,60	0,08	0,07		
09/12/2019	16/12/2019	12/12/2019	0,05	0,04	0,11	0,06	0,05	0,04	0,11	0,06	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,36	0,04	0,04	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04		
16/12/2019	23/12/2019	19/12/2019	0,06	0,05	0,13	0,07	0,06	0,05	0,13	0,07	0,06	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,36	0,04	0,04	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04	0,36	0,05	0,04		
23/12/2019	26/12/2019	24/12/2019	0,14	0,12	0,19	0,11	0,14	0,12	0,10	0,12	0,10	0,11	0,08	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10		

SD= Seuil de décision

Table des illustrations et tableaux

Illustration

Figure 1 : Localisation des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) d'EDF en exploitation, en arrêt définitif, en cours de démantèlement, nombre et puissance des réacteurs en exploitation [2]	10
Figure 2 : Etude des niveaux de tritium de l'air au point AS1 du CNPE de Cruas-Meysses 2015-2016	15
Figure 3 : Etude des niveaux de tritium dans l'air dans l'environnement du CNPE de Flamanville en 2018 et 2019	15
Figure 4 : Etude des niveaux de tritium dans l'air dans l'environnement du CNPE de Golfech en 2012	16
Figure 5 : Etude des niveaux de tritium de l'air dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2016	16
Figure 6 : Evolution des activités en tritium rejetées à l'atmosphère entre 2001 et 2019 par le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice (en GBq)	17
Figure 7 : Activités de tritium gazeux rejetées mensuellement (GBq) par rapport à l'énergie produite (MW) par le CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice en 2019	17
Figure 8 : Activité volumique d'HTO dans l'air au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice en Bq/m ³	18
Figure 9 : Schéma du principe de fonctionnement d'un piègeur passif tritium	18
Figure 10 : Domaine d'utilisation du piègeur passif tritium [7]	19
Figure 11 : Piégeur passif tritium E2S (a) et IRSN (b)	19
Figure 12 : Schéma du principe de fonctionnement d'un barboteur tritium à quatre pots	20
Figure 13 : Scintillateur liquide du Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) de l'IRSN au Vésinet (a : tri-Carb ; b : ALOKA)	20
Figure 14 : Carte de l'implantation des piègeurs passifs de tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	21
Figure 15 : Moyenne des activités volumiques en tritium dans la vapeur d'eau de l'air (Bq/L) prélevée à l'aide de piègeurs passifs tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	22
Figure 16 : Evolutions des activités bimensuelles de tritium dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier et octobre 2019 (Bq/L)	23
Figure 17 : Evolutions des activités bimensuelles de tritium dans la vapeur d'eau de l'air prélevée à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier et octobre 2019 (Bq/L)	24
Figure 18 : Synthèse de la gamme des activités et des moyennes de tritium dans la vapeur d'eau de l'air mesurées à l'aide des piègeurs passifs dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice de janvier à octobre 2019 (Bq/L)	25
Figure 19 : Activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurées à l'aide des piègeurs passifs lors de conditions de vents différentes aux points de prélèvement situés à 1 km au nord et 1 km au sud du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	25
Figure 20 : Moyenne des activités de tritium dans la vapeur d'eau dans l'air (Bq/m ³) prélevée à l'aide de piègeurs passifs tritium du 29 janvier au 29 octobre 2019 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	26
Figure 21 : Barboteur tritium à quatre pots installé au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	27
Figure 22 : Activités de tritium mesurées dans la vapeur d'eau de l'air prélevée au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice à l'aide du barboteur en fonction de celle prélevée à l'aide du piègeur passif tritium (a. ensemble des données ; b. ensemble des données moins les deux points divergents)	29
Figure 23 : Comparaisons des activités de tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique mesurées dans le cadre de la surveillance réglementaire (EDF) et dans celui de l'ERS Saint-Alban Saint-Maurice-l'Exil	29
Figure 24 : Evolution des activités de tritium lié à la matière organique (Bq/L d'eau de combustion) mesurées en 2017-2020 dans différentes composantes de l'environnement terrestre des 19 CNPE, en fonction de la distance depuis les points de rejet des sites [2]	30
Figure 25 : Comparaison entre les moyennes des activités en tritium de la vapeur d'eau de l'air et les activités en tritium organiquement lié dans les végétaux terrestres	31

Figure 26 : Implantation des stations de collecte d'aérosols grand débit de l'IRSN à proximité de CNPE lors d'études spécifiques [7]	33
Figure 27 : Station grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Cruas-Meyssse.....	34
Figure 28 : Localisation de la station de collecte d'aérosols à grand débit de l'IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	37
Figure 29 : Activités des principaux radionucléides d'origine naturelle mesurés par spectrométrie gamma sur les filtres de prélèvement des aérosols atmosphériques à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	38
Figure 30 : Évolution des niveaux en béryllium 7 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice.....	39
Figure 31 : Relation entre les activités en césium 137 par rapport aux activités en potassium 40 et au niveau d'empoussièrement des aérosols prélevés à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice.....	40
Figure 32 : Activités des aérosols prélevés au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	42
Figure 33 : Principaux radionucléides d'origine artificielle, hors césium 137, mesurés à proximité des CNPE de Golfech, Tricastin, Cruas-Meyssse, Gravelines et Saint-Alban.....	42

Tableau

Tableau 1 : Gammes des rejets annuels atmosphériques réels (min-max) des CNPE en GBq/an pour la période de 2017 à 2019 [2]	11
Tableau 2 : Rejets radioactifs à l'atmosphère 2019 du CNPE de Saint-Alban Saint Maurice	12
Tableau 3 : Activités en tritium mesurées à l'aide du barboteur au point AS 1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice	28
Tableau 4 : Activités volumiques des principaux radionucléides d'origine artificielle mesurés par l'IRSN lors des 4 campagnes de mesures conduites à proximité de CNPE	34
Tableau 5 : Moyennes des activités en césium 137 à proximité des CNPE de Cruas-Meyssse et Tricastin [27].....	35
Tableau 6 : Autres radionucléides d'origine artificielle mesurés aux points AS 1 des CNPE du Tricastin et de Gravelines	36
Tableau 7 : Comparaison des niveaux moyens d'activité en radionucléides d'origine naturelle mesurés à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et mesurés à la même période (juin à décembre 2019) sur des stations TGD du réseau OPERA-Air de l'IRSN.....	39
Tableau 8 : Résultats de mesure en césium 137 à proximité du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice et aux deux stations TGD OPERA-Air de l'IRSN, les plus proches.....	40
Tableau 9 : Radionucléides d'origine artificielle, hors césium 137, mesurés significativement lors de l'étude IRSN au point AS1 du CNPE de Saint-Alban Saint-Maurice.....	41

IRSN
Pôle Santé et Environnement
Direction de l'Environnement

E-mail
contact-ers@irsn.fr

N° du rapport
Rapport IRSN 2021-00649
Tous droits réservés IRSN
Septembre 2021

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



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

COURRIER

B.P 17
92260 Fontenay-aux-Roses Cedex

TÉLÉPHONE

+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET

www.irsn.fr

Email

contact@irsn.fr

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