

**DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION
ENVIRONNEMENTALE – PROJET
TECHNOCENTRE**

PIÈCE JOINTE 4

ÉTUDE D'IMPACT

- Extrait Chapitre 6 -
Etat initial Radioécologie

PLACE DU CHAPITRE DANS L'ÉTUDE D'IMPACT

Résumé non technique de l'étude d'impact

Sommaire général

Chapitre 1 – Objectifs et contenu de l'étude d'impact

Chapitre 2 – Description du projet

Chapitre 3 – Air et climat

Chapitre 4 – Eaux de surface

Chapitre 5 – Sols et eaux souterraines

Chapitre 6 – Radioécologie

Chapitre 7 – Biodiversité

Chapitre 8 – Population et santé humaine

Chapitre 9 – Activités humaines

Chapitre 10 – Gestion des déchets

Chapitre 11 – Analyse des incidences cumulées

Chapitre 12 – Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000

Chapitre 13 – Analyse de la compatibilité aux plans de gestion

Chapitre 14 – Synthèse des mesures ERC

Chapitre 15 – Évaluation environnementale de la mise en compatibilité du PLU

Chapitre 16 – Conclusion de l'étude d'impact

Chapitre 17 – Auteurs de l'étude d'impact

>> ANNEXES : voir le classeur spécifique.

SOMMAIRE

PRÉSENTATION DU CHAPITRE 6	8
6.1. ÉTAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT	9
6.1.1. INTRODUCTION	9
6.1.2. ORIGINES DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT	12
6.1.2.1. ORIGINE NATURELLE	12
6.1.2.2. ORIGINE ARTIFICIELLE	13
6.1.2.2.1. <i>Retombées des essais nucléaires aériens</i>	13
6.1.2.2.2. <i>Retombées de l'accident de Tchernobyl</i>	13
6.1.2.2.3. <i>Retombées de l'accident de Fukushima-Daïichi</i>	14
6.1.2.2.4. <i>Autres sources</i>	14
6.1.2.3. RADIONUCLÉIDES AYANT UNE DOUBLE ORIGINE (NATURELLE ET ARTIFICIELLE)	15
6.1.2.3.1. <i>Tritium</i>	15
6.1.2.3.2. <i>Carbone 14</i>	17
6.1.3. ÉTAT RADIOLOGIQUE À L'INTÉRIEUR DU SITE	19
6.1.4. HISTORIQUE DES ÉTUDES RADIOÉCOLOGIQUES CONDUITES DANS L'ENVIRONNEMENT	20
6.1.5. ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE	22
6.1.5.1. ÉTAT DE RÉFÉRENCE INITIAL (OU POINT « ZÉRO ») RADIOÉCOLOGIQUE (1973-1976)	24
6.1.5.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE AU VOISINAGE DU SITE (2014-2023)	25
6.1.5.2.1. <i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	25
6.1.5.2.2. <i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	27
6.1.5.2.3. <i>Radionucléides émetteurs alpha</i>	29
6.1.6. ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE	30
6.1.6.1. ÉTAT DE RÉFÉRENCE INITIAL (OU POINT « ZÉRO ») RADIOÉCOLOGIQUE (1976)	32
6.1.6.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE AU VOISINAGE DU SITE (2014-2023)	32
6.1.6.2.1. <i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	32
6.1.6.2.2. <i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	36
6.1.6.2.3. <i>Radionucléides émetteurs alpha</i>	39
6.1.7. SYNTHÈSE DES ENJEUX SUR L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT	40

TABLEAUX

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

FIGURES

Figure 6.a : Évolution des activités du tritium organiquement lié (TOL) dans le compartiment terrestre hors influence d'installations nucléaires (en Bq/L d'eau de combustion) ...	16
Figure 6.b : Origines et niveaux d'activités dans les salades (en Bq/kg frais) et le lait (en Bq/L) en France à différentes périodes	17
Figure 6.c : Évolution récente des niveaux d'activités du carbone 14 dans les compartiments atmosphérique et terrestre hors influence d'installations nucléaires (Bq/kg de carbone)	18
Figure 6.d : Chronologie des principaux événements et études radioécologiques réalisées dans l'environnement au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre	21
Figure 6.e : Rose des vents de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (période 2014-2023)	22
Figure 6.f : Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement terrestre de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (2014-2023)	23
Figure 6.g : Activités massiques en césium 137 dans les matrices solides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)	25
Figure 6.h : Activités volumiques en césium 137 dans le lait prélevé en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)	26
Figure 6.i : Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)	27
Figure 6.j : Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)	27
Figure 6.k : Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)	28
Figure 6.l : Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement aquatique de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (2014-2023)	31
Figure 6.m : Activités massiques du césium 137 dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site	34
Figure 6.n : Activités massiques du césium 137 dans les poissons prélevés en amont et en aval du site	34
Figure 6.o : Activités massiques du cobalt 60 dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site	35
Figure 6.p : Activités massiques de l'iode 131 dans les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site	35
Figure 6.q : Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site	36
Figure 6.r : Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site	37
Figure 6.s : Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site	38
Figure 6.t : Indices de risque calculés au point d'étude pour les organismes de référence de l'écosystème terrestre, échelle logarithmique	Erreur ! Signet non défini.

Figure 6.u : Surveillance radiologique de l'environnement – Compartiment atmosphérique :
localisation des balises des réseaux clôture du Technocentre et 1 km du
Technocentre et de l'INB n°75 et des stations AS **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 6.v : Surveillance radiologique de l'environnement – Compartiment atmosphérique :
localisation des stations de prélèvement et de mesure à l'extérieur du
Technocentre et de l'INB n°75 **Erreur ! Signet non défini.**

ABRÉVIATIONS

AIEA	Agence Internationale de l'Énergie Atomique
AS	AéroSol (Station de Prélèvement des Aérosols)
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
ASNR	Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection
BD	Bilan radioécologique Décennal
BdF	Bruit de Fond ambiant
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives
Centrac	CEntre Nucléaire de TRAitement et de COnditionnement
Cires	Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage
CNPE	Centrale Nucléaire de Production d'Électricité
DR	<i>Dose Rate</i> (Débit de Dose)
DRS	<i>Dose Rate Screening</i> (Débit de Dose de Screening)
EChA	Agence Européenne des Produits Chimiques (<i>European Chemicals Agency</i>)
EDF	Electricité De France
EMCL	<i>Environmental Media Concentration Limit</i>
EMRAS	<i>Environmental Modelling for Radiation Safety</i>
ERICA	<i>Environmental Risks from Ionising Contaminants: Assessment and management</i>
FMA	Faible et Moyenne Activité
HDR5	<i>Hazardous Dose Rate 5 %</i>
HPGe	Abréviation anglaise de Détecteur Germanium Hyper Pur, type de détecteur utilisé pour réaliser des spectrométries gamma
HTO	Tritium libre
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INB	Installation Nucléaire de Base
IR	Indice de Risque
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
LD	Limite de Détection
MODARIA	<i>Modelling and Data for Radiological Impact Assessments</i>
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
PA	Produit d'Activation
PCRD	Programme Cadre de Recherche et Développement
PEC	<i>Predicted Environmental Concentration</i>
PF	Produit de Fission
PNEC	<i>Predicted No Effect Concentration</i>
PNEDR	<i>Predicted No Effect Dose Rate</i>
REACH	Règlement concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques (<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i>)
REB	Réacteur à Eau Bouillante
REP	Réacteur à Eau Pressurisée
RNM	Réseau National de Mesures de la radioactivité dans l'environnement
SD	Seuil de Décision
SSD	<i>Species Sensitivity Distribution</i>

TES	Traitement des Effluents Solides (boues radioactives produites par le Technocentre)
TEU	Traitement des Effluents Usés (effluents radioactifs liquides produits par le Technocentre)
TFA	Très Faible Activité
THE	Très Haute Efficacité
TOL	Tritium Organiquement Lié
VC	Vie Courte
ZI	Zone potentiellement Influencée
ZNI	Zone Non Influencée
ZppDN	Zone à production possible de Déchets Nucléaires

P RÉSENTATION DU CHAPITRE 6

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'état initial pour la thématique « Radioécologie ».

6.1. ÉTAT INITIAL DE L'ENVIRONNEMENT

6.1.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente l'état radiologique de l'environnement à l'intérieur (cf. [Paragraphe 6.1.3](#)) et à l'extérieur du site¹ (cf. [Paragraphe 6.1.5](#) et [Paragraphe 6.1.6](#)).

L'environnement au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75 a fait l'objet d'études radiologiques destinées d'une part à identifier les principaux radionucléides présents dans les différentes matrices de l'environnement terrestre et aquatique depuis l'état de référence initial ou point « zéro » (avant l'exploitation de l'INB n°75), et d'autre part à évaluer sur le long-terme dans quelle mesure les rejets d'effluents du site contribuent à un éventuel apport de radioactivité dans l'environnement au regard des autres sources potentielles en présence.

L'évolution des niveaux de radioactivité dans l'environnement est suivie à des fréquences variables adaptées aux objectifs de surveillance dans le cadre :

- d'un plan de surveillance réglementaire effectué par l'INB n°75 depuis sa mise en service ;
- d'études radioécologiques ponctuelles, de suivis radioécologiques annuels et de bilans radioécologiques décennaux, assurés par des laboratoires agréés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR)².

↳ RADIOÉCOLOGIE³

La radioécologie a pour rôle de détecter la présence de radionucléides dans l'environnement, de rechercher leurs origines et de comprendre leurs processus de transfert et de concentration dans les écosystèmes.

Son objectif est d'évaluer l'impact de la radioactivité naturelle et artificielle sur l'environnement (impact radioécologique) et sur la population (impact dosimétrique). Ces études relèvent de la même démarche que celles relatives à d'autres polluants chimiques comme les métaux lourds (plomb, zinc, etc.) ou les nitrates.

¹ Le site désigne dans ce chapitre le projet du Technocentre, objet du présent dossier et l'INB n°75 (Centre Nucléaire de Production d'Électricité ou CNPE de Fessenheim arrêté en 2020). L'état autour du site est basé sur la surveillance réalisée depuis de nombreuses années autour de l'INB n°75.

² L'ASN et l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) ont fusionné au 1^{er} janvier 2025 en une seule nouvelle autorité : l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR). Cependant, compte tenu de la période de référence de ce dossier (2014-2023), les désignations ASN et IRSN sont conservées dans le texte.

³ Définition issue du site www.asnr.fr

Compte tenu de la présence de radionucléides dans tous les écosystèmes et de la complexité des transferts, les radioécologistes travaillent sur les trois milieux principaux de la biosphère : l'aquatique marin, l'aquatique continental et le terrestre.

L'état radiologique à l'intérieur du site s'appuie sur les mesures réglementaires de surveillance de l'environnement destinées :

- à s'assurer du respect des valeurs limites réglementaires (fonction de contrôle). C'est notamment le cas pour l'indice de radioactivité bêta (β) globale des aérosols atmosphériques et le tritium dans l'air au niveau du sol (sous les vents dominants) ;
- à s'assurer de l'absence de toute élévation atypique du niveau de radioactivité dans l'environnement (fonction de surveillance) et à déceler toute anomalie de façon précoce. Les analyses radiologiques réglementaires sont réalisées sur des matrices importantes dans le transfert des radionucléides au sein de l'environnement et vis-à-vis de l'exposition de la population. Les mesures portent notamment sur le débit de dose gamma ambiant, les aérosols, l'eau de pluie et les eaux souterraines au droit du site.

Ces mesures réglementaires, réalisées de façon cohérente pour l'ensemble du Parc électronucléaire français, et en accord avec l'ASNR, sont effectuées à des fréquences courtes (quotidiennes, hebdomadaires ou mensuelles) et ont des seuils de décision analytiques cohérents avec l'objectif de surveillance court-terme.



SEUIL DE DECISION (SD)

Le Réseau National de Mesures (RNM) définit le Seuil de Décision (SD) comme une valeur de comptage pour laquelle on estime que, compte tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper, qu'un comptage supérieur à cette valeur révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré. L'activité de l'échantillon et son incertitude peuvent alors être calculées. Si en revanche, la mesure de l'échantillon donne un comptage inférieur à cette valeur, on peut seulement affirmer, également avec une probabilité quantifiée de ne pas se tromper, que même si une radioactivité est présente, bien que n'ayant pas été détectée, elle est en tout cas inférieure à une valeur appelée Limite de Détection (LD). Selon les techniques de mesure, la limite de détection est approximativement égale à deux fois la valeur du seuil de décision. En pratique et conformément aux demandes de l'ASNR, les résultats sont exprimés « < SD ».

Les techniques de prélèvement et de mesure mises en œuvre dans le cadre de la surveillance de l'environnement doivent garantir des valeurs de seuils de décision ne dépassant pas les valeurs indiquées dans la décision « environnement » modifiée⁴. Ces valeurs seront nommées « seuils de décision réglementaires » par la suite.

L'état radioécologique de l'environnement au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75 est basé sur des études radioécologiques annuelles, quinquennales et décennales constituées d'analyses d'expertise très performantes, dites « bas bruit de fond », permettant d'identifier des radionucléides présents à l'état de traces dans l'environnement. Des seuils de décision analytiques plus

⁴ Décision n°2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 modifiée par la décision n°2016-DC-0569 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base dite « Décision Environnement modifiée ». Cette décision s'applique uniquement aux INB. Toutefois, cette décision servira de cadre de référence pour le projet du Technocentre, qui est une ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) rejetant des effluents radioactifs.

faibles que pour les analyses réalisées à fréquence courte sont recherchés dans le cadre de ces études radioécologiques. Cela permet de caractériser finement les niveaux de radioactivité de l'environnement et par la suite d'évaluer dans quelle mesure les rejets des installations du site contribuent à l'apport de radionucléides dans l'environnement au regard des autres sources potentielles en présence.

L'exploitation des données radioécologiques nécessaires pour établir l'état radiologique de l'environnement au voisinage du site nécessite tout d'abord de distinguer les radionucléides présents naturellement dans l'environnement (origines cosmique et tellurique), de ceux produits artificiellement lors de réactions nucléaires de fission ou d'activation (radionucléides trouvant leur origine dans les essais nucléaires aériens, les accidents nucléaires, ou encore les rejets d'effluents radioactifs industriels et hospitaliers). Les différentes origines de la radioactivité⁵ dans l'environnement sont détaillées dans le [Paragraphe 6.1.2.](#)

Les radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine naturelle (potassium 40, béryllium 7, *etc.*) et d'origine artificielle (césium 134, césium 137, cobalt 58, cobalt 60, argent 110 métastable, *etc.*), les radionucléides émetteurs bêta (β) (tritium, carbone 14, strontium 90, nickel 63, *etc.*), ainsi que les radionucléides émetteurs alpha (α) (plutonium 238, plutonium 239+ 240 et américium 241) sont ainsi recherchés.

Les prélèvements et analyses sont réalisés selon une chronologie initiée avec les états de référence initiaux (dit point « zéro »), et se poursuivent avec la réalisation de suivis radioécologiques annuels et de bilans décennaux, dans l'objectif de caractériser et d'interpréter une éventuelle évolution du niveau de radioactivité de l'environnement au regard des rejets des installations du site.

Le choix de la nature des matrices prélevées et des stations de prélèvements lors de ces études est effectué dans l'objectif d'assurer une représentativité du milieu étudié et de pouvoir comparer les résultats obtenus sur le long terme. Ainsi, dans la mesure du possible, les prélèvements sont réalisés aux mêmes stations et sur les mêmes matrices, tout en visant à obtenir une cohérence à l'échelle nationale, sans écarter les spécificités locales.

Concernant la nature des prélèvements, les échantillons prélevés correspondent notamment à :

- des bioindicateurs connus pour leurs aptitudes à retenir les éléments traces et renseigner sur certaines caractéristiques écologiques de l'environnement (bryophytes, végétaux terrestres et aquatiques) ;
- des compartiments d'accumulation dans lesquels la radioactivité est retenue, ce qui permet de révéler des émissions anciennes de radioactivité (sols et sédiments) ;
- des vecteurs directs de la radioactivité (eaux, air) ;
- des matrices environnementales consommées par les animaux et / ou l'homme constituant des voies de transfert, directes ou indirectes (productions agricoles, lait, poissons).

La localisation des stations de prélèvement a été choisie notamment en fonction de la rose des vents locale ou des conditions hydrodynamiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement au voisinage du site :

- Dans l'environnement terrestre (surveillance du compartiment atmosphérique et terrestre), les prélèvements collectés sont répartis en distinguant les zones sous les vents dominants (Zones potentiellement Influencées par les vents dominants et secondaires) des zones hors vents dominants (Zones Non Influencées par les vents), notées par la suite ZI ou ZNI.

⁵ Les caractéristiques des radionucléides cités dans ce chapitre sont disponibles dans la référence « Nucléide 2000 », 2004, table informatique des radionucléides, Bureau National des Mesures et Laboratoire National Henri Becquerel, CEA.

- Dans l'environnement aquatique, les prélèvements sont réalisés en amont (zone non influencée par les rejets d'effluents liquides) et en aval (zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents liquides) du site.

Il est à noter que pour l'ensemble des données utilisées, toutes les étapes du prélèvement à l'analyse de l'échantillon sont conformes à la norme NF EN ISO/CEI 17025 (relative aux exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais). Ces mesures sont réalisées sous couvert des agréments au RNM⁶ de la radioactivité de l'environnement délivrés par l'ASNR.

Pour mettre en évidence une éventuelle contribution des rejets du site à l'apport de radioactivité dans l'environnement, les résultats acquis dans les milieux terrestre ou aquatique sous influence potentielle des rejets sont comparés à ceux acquis hors influence des rejets du site, et aux données obtenues lors de la réalisation de l'état de référence initial radioécologique (également appelé point zéro).

MARQUAGE

Pour la compréhension de l'analyse réalisée dans le cadre de ce document, il est à noter que le mot « marquage » est le terme classiquement utilisé dans le milieu de la radioécologie pour évoquer la présence mesurable d'un radionucléide dans l'environnement en incrément du bruit de fond, en lien avec une source identifiée. Ce terme ne présage pas des niveaux d'activité quantifiés.

Les résultats acquis pour les radionucléides artificiels sur la période de référence sont présentés sous forme de graphiques en distinguant, pour l'environnement terrestre, les échantillons collectés sous et hors vents et, pour l'environnement aquatique, les échantillons prélevés en amont et en aval du point de rejet du site. Pour les données de l'état de référence initial établi avant la mise en service du site et les radionucléides d'origine naturelle cette distinction n'est pas nécessaire.

Certaines informations, en particulier les détections ponctuelles ou matrices pour lesquelles peu d'analyses ont été réalisées ou pour lesquelles toutes les activités mesurées sont inférieures au seuil de décision, peuvent être uniquement reportées dans le texte associé au graphique.

6.1.2. ORIGINES DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT

6.1.2.1. ORIGINE NATURELLE

Les principaux radionucléides naturels rencontrés dans l'environnement ont deux origines :

- Une origine cosmique, représentée par les radionucléides issus de l'interaction des rayonnements (neutrons) cosmiques avec les atomes présents dans l'atmosphère (tritium, béryllium 7, béryllium 10, carbone 14, silicium 32, chlore 36, sodium 22, phosphore 32, etc.). La réaction la plus importante conduit à la formation de carbone 14 à partir de l'azote atmosphérique ;
- Une origine tellurique, représentée par les radionucléides présents dans l'écorce terrestre depuis l'origine de la Terre. Le potassium 40 et les radionucléides issus des familles

⁶ RNM : Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement centralise l'ensemble des données de surveillance de la radioactivité de l'environnement en France, et s'assure de leur qualité et de leur harmonisation par une procédure d'agrément.

radioactives de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232 constituent la majeure partie de ces radionucléides.

6.1.2.2. ORIGINE ARTIFICIELLE

Un certain nombre de radionucléides d'origine artificielle sont détectés de manière plus ou moins homogène sur l'ensemble du territoire français. Ils proviennent :

- des essais nucléaires aériens réalisés de 1945 à 1980 ;
- des accidents nucléaires (Tchernobyl en 1986 et dans une bien moindre mesure, Fukushima-Daiichi en 2011) ;
- des rejets d'effluents radioactifs réalisés dans le respect des limites autorisées par les INB comme les CNPE, les installations nucléaires en démantèlement, les sites de fabrication et de retraitement du combustible nucléaire, les sites de stockage, les sites militaires mais également les établissements de santé et universitaires *via* l'utilisation de radionucléides à des fins médicales et / ou de recherches.

6.1.2.2.1. Retombées des essais nucléaires aériens

Les essais nucléaires aériens, auxquels ont procédé les grandes puissances militaires (États-Unis, Russie, Grande-Bretagne, France et Chine) entre 1945 et 1980, constituent le seul apport massif de radionucléides artificiels à l'échelle planétaire et la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement français. Au total, 543 essais aériens ont été effectués. L'essentiel de la puissance a été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962. À partir de 1961, les essais nucléaires aériens ont progressivement laissé place aux essais souterrains, constituant une source de marquage moindre pour la biosphère. Le dernier essai nucléaire aérien a eu lieu en Chine en octobre 1980.

La plupart des essais nucléaires aériens se sont déroulés dans l'hémisphère Nord. Environ 90 % des radionucléides émis dans l'atmosphère sont retombés dans cet hémisphère. Les radionucléides émis étaient des Produits de Fission ou PF (strontium 90, césium 137, iode 131, *etc.*) et des Produits d'Activation ou PA (tritium et carbone 14) créés par l'interaction du rayonnement neutronique avec les atomes présents au sein des molécules constituant l'atmosphère.

Les radionucléides à courte période radioactive ont progressivement disparu (iode 131, cérium 141, ruthénium 103, zirconium 95, cérium-praséodyme 144, ruthénium-rhodium 106). En revanche, le césium 137, le strontium 90 et les transuraniens (radionucléides émetteurs alpha) persistent toujours dans les matrices environnementales prélevées actuellement en France en raison de périodes radioactives beaucoup plus longues.

Les retombées atmosphériques dues aux essais nucléaires aériens constituent un bruit de fond radiologique plus ou moins hétérogène à l'échelle du territoire français. Les radionucléides émetteurs alpha déposés via ces retombées (plutonium 238, plutonium 239 et 240, américium 241, *etc.*) sont caractérisés par les rapports d'activités ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) égaux à 0,03 et ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$) égaux à 0,4⁷. Ainsi, la comparaison des rapports établis à partir des activités mesurées dans l'environnement à ces valeurs caractéristiques permet de mettre en évidence un éventuel apport anthropique autre que les retombées des essais aériens.

6.1.2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl est survenu le 26 avril 1986 en Ukraine. En raison des conditions météorologiques, le panache radioactif émis dans la troposphère s'est déplacé vers les pays nordiques,

⁷ Masson O., Piga D., Gurriaran R. et D'Amico D. 2010. Impact of an exceptional Saharan dust outbreak in France : PM10 and artificial radionuclides concentrations in air and in dust deposit. *Atmospheric Environment* 44(20) : 2478-2486.

l'Europe Centrale et la Méditerranée. Il a survolé principalement la Vallée du Rhône puis l'est de la France au cours de la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules radioactives principalement sur l'est de la France et les reliefs. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans l'environnement sur le territoire français, parmi lesquels : le tellure 132, l'iode 131, le ruthénium 103, le ruthénium et rhodium 106, le césium 134 et le césium 137. À l'exception du césium 137, ces radionucléides présentent des périodes de décroissance courtes (de quelques secondes pour le rhodium 106 à deux ans pour le césium 134). De ce fait, seul le césium 137, dont la période radioactive est d'environ 30 ans, demeure actuellement détectable dans les matrices environnementales prélevées en France métropolitaine et contribue au bruit de fond radiologique anthropique.

Du fait de sa position géographique, l'environnement au voisinage du site nucléaire de Fessenheim, et plus généralement l'est de la France, a été plus fortement marqué par les retombées radioactives de cet accident, comparativement à l'ouest de la France.

6.1.2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

L'accident de Fukushima-Daiichi est survenu le 11 mars 2011 au Japon. Le panache radioactif résultant des rejets radioactifs à l'atmosphère des réacteurs nucléaires accidentés s'est déplacé, tout en se diluant, dans les courants atmosphériques de l'hémisphère Nord. Le continent nord-américain a été le premier touché par cette dispersion à grande échelle, puis les particules radioactives ont atteint le nord et le nord-est de l'Europe (Scandinavie), une dizaine de jours après l'accident. La France et le sud-ouest de l'Europe ont été atteints vers le 25 mars 2011. Les masses d'air ont ensuite poursuivi leur déplacement vers l'Asie.

Les différentes observations ont montré que les régions françaises ont globalement été touchées de façon similaire, avec de légères fluctuations spatiales et temporelles dues au déplacement des masses d'air. Les activités en radionucléides artificiels imputables à l'accident de Fukushima-Daiichi (iode 131, césium 134, césium 137, tellure 132) mesurées en France ont été très faibles. Ces activités se situent à des niveaux 500 à plus de 1 000 fois inférieurs à ceux mesurés en mai 1986 en France suite à l'accident de Tchernobyl⁸.

À l'exception du césium 137, les autres radionucléides détectés en France présentent des périodes de décroissance courtes. Après l'accident, les niveaux d'activité des césiums mesurés dans les aérosols en France conduisaient à un rapport d'activité ($^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$) égal à 0,97, représentatif des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques liés à l'accident de Fukushima-Daiichi. Compte tenu des périodes de décroissance radioactive, seul le césium 137 pourrait encore être mesuré. Néanmoins, et malgré l'emploi des Meilleures Techniques Disponibles (MTD), les activités sont trop faibles pour être distinguées des activités préexistantes dans l'environnement du fait des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl⁹.

6.1.2.2.4. Autres sources

À l'échelle du bassin versant du Rhin, des établissements médicaux utilisent des produits radioactifs à Mulhouse, Strasbourg et Colmar. En amont du cycle du combustible, trois sites sont localisés dans le Haut-Rhin. Par ailleurs, deux établissements sont dédiés à la Défense Nationale, une vingtaine d'établissements de recherche manipulent des radionucléides à Strasbourg, Illkirch-Graffenstaden, Colmar et Mulhouse, et enfin trois industries exploitent des matériaux radioactifs pour leurs propriétés non nucléaires (Ottmarsheim, Thann et Wintzenheim). L'environnement aquatique alsacien est aussi soumis à l'influence des rejets d'installations nucléaires suisses sur le bassin versant amont du Rhin.

⁸ IRSN/DEI/2011-01, février 2012. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DOM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement.

⁹ Masson O. *et al.*, 2011. Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-ichi, nuclear reactors by european networks. Environmental science and technology, 45 : 7670-7677.

Des usines de production électrique suisses sont implantées en amont sur le Rhin à Leibstadt (un REB¹⁰) et sur son affluent, l'Aar, à Beznau (deux REP¹¹) ainsi qu'à Mühleberg (un REB) et à Gosgen (un REP). Les rejets de tritium par l'industrie horlogère suisse, effectués jusqu'au début des années 2000, contribuent également au marquage de l'environnement aquatique du Rhin, en particulier des sédiments.

6.1.2.3. RADIONUCLÉIDES AYANT UNE DOUBLE ORIGINE (NATURELLE ET ARTIFICIELLE)

Le tritium et le carbone 14 ont une double origine naturelle et artificielle. La distinction de la part produite naturellement de celle issue de l'activité industrielle nucléaire peut être évaluée grâce à :

- une bonne connaissance de l'activité de ces radionucléides au sein des rejets d'effluents réalisés par voies liquide et atmosphérique ;
- une bonne connaissance de l'activité de ces radionucléides dans les différentes matrices de l'environnement, en dehors de toute influence de rejets d'effluents radioactifs ;
- une stratégie d'étude adaptée qui porte sur des échantillons représentatifs de même nature récoltés au même stade de développement, sous et hors vents (sous et hors influence potentielle des rejets de l'installation nucléaire étudiée).

6.1.2.3.1. Tritium

En raison de ses propriétés physico-chimiques très similaires à celles de l'hydrogène, élément majeur de la biosphère notamment comme constituant de la molécule d'eau et de la matière organique, le tritium est présent dans toutes les matrices environnementales. Les mesures réalisées dans le cadre de la surveillance radioécologique des installations nucléaires permettent de distinguer le tritium présent dans l'eau tissulaire des organismes (« tritium libre » ou HTO) du tritium lié à la matière organique (« tritium organiquement lié » ou TOL). La première forme s'équilibre très rapidement dans toutes les matrices de l'environnement selon le cycle de l'eau et permet d'identifier un apport récent de tritium dans l'environnement. Le tritium organiquement lié reflète l'activité du radionucléide dans le milieu au moment de sa fixation à la matière organique de par les processus biologiques, et apporte ainsi une information rétrospective « intégrée » des activités en tritium assimilées sur plusieurs semaines à plusieurs années.

Du tritium est produit naturellement par action des rayons cosmiques (neutrons) sur certains composants de l'air (azote, oxygène ou argon). L'inventaire permanent du tritium naturel est d'environ $1,2 \cdot 10^6$ TBq¹² à l'échelle planétaire, avec une production annuelle atmosphérique de l'ordre de $7 \cdot 10^4$ TBq¹³.

Entre 1945 et 1980, les essais nucléaires aériens ont disséminé à l'échelle mondiale environ $2,3 \cdot 10^8$ TBq de tritium. La quantité de tritium présente dans la biosphère a alors fortement augmenté. Le pic d'activité observé en 1963 traduit l'influence des apports liés aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens avec une valeur d'activité d'environ 500 Bq/L mesurée en France dans l'eau de pluie. La décroissance de l'activité en tritium mesurée dans les précipitations s'est faite de manière exponentielle, du fait de la période radioactive relativement courte (12,3 ans) de ce radionucléide. Dans les matrices de l'environnement terrestre, les activités en tritium diminuent également depuis une trentaine d'années, se rapprochant du niveau existant avant les essais nucléaires aériens.

¹⁰ Réacteur à Eau Bouillante

¹¹ Réacteur à Eau Pressurisée

¹² TBq signifie Terabecquerels, soit 10^{12} Becquerels, le Becquerel étant l'unité de mesure d'activité des radionucléides du Système International, égale à une désintégration par seconde.

¹³ Source - Fiche radionucléide IRSN « Tritium et environnement », dernière mise à jour en juin 2014 (www.asnr.fr).

Le compartiment atmosphérique détermine l'activité dans les cours d'eau, notamment *via* les précipitations. L'évolution du bruit de fond du tritium dans l'ensemble atmosphère - milieu terrestre - milieu aquatique continental peut donc être représentée par l'activité volumique de l'eau de pluie. En France, les valeurs de référence du tritium libre (HTO) dans les eaux de pluie en milieu continental et les cours d'eau se situent aujourd'hui aux alentours de 0,8 Bq/L, dans une gamme allant de 0,3 à 2 Bq/L¹⁴ sur la période d'étude.

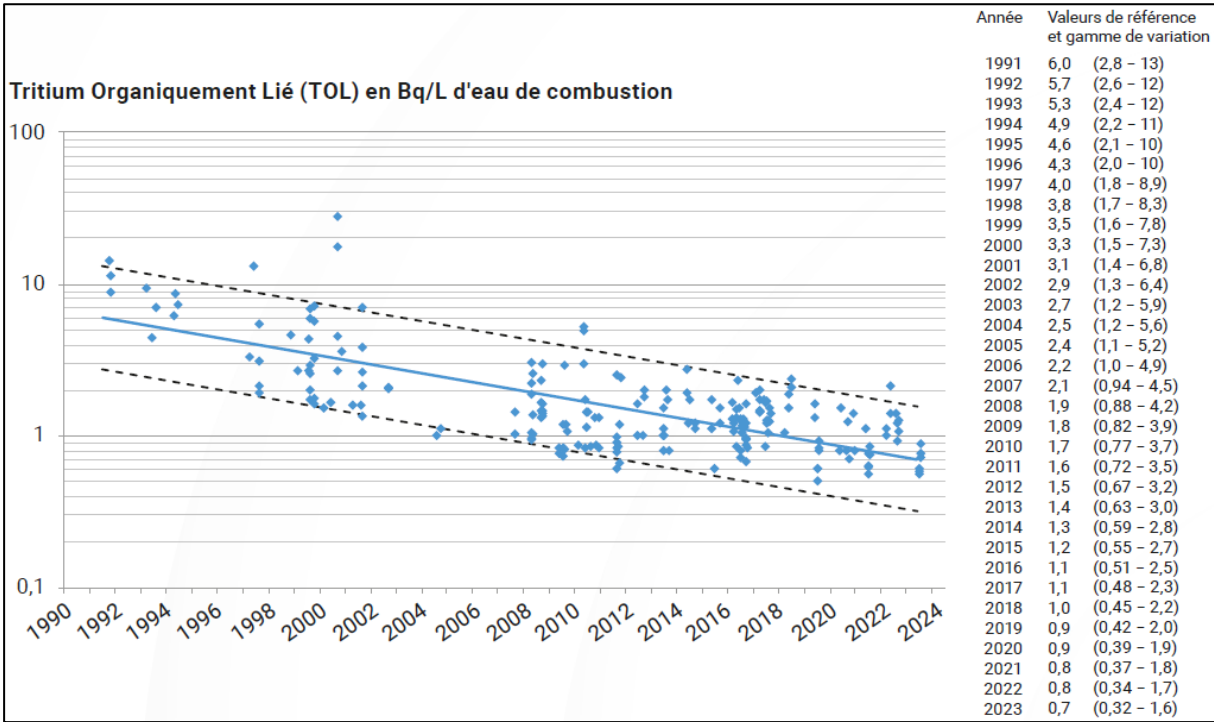


Figure 6.a : Évolution des activités du tritium organiquement lié (TOL) dans le compartiment terrestre hors influence d'installations nucléaires (en Bq/L d'eau de combustion)¹⁵

Les mesures de TOL acquises en France métropolitaine hors influence industrielle, pour des végétaux et des denrées d'origine animale et végétale (cf. [Figure 6.a](#)), témoignent également d'un bruit de fond moyen dont les valeurs de référence se situent entre 0,7 Bq/L d'eau de combustion¹⁶ en 2023 (gamme allant de 0,3 à 1,6 Bq/L d'eau de combustion) et 1,3 Bq/L d'eau de combustion en 2014 (gamme allant de 0,6 à 2,8 Bq/L d'eau de combustion)¹⁴.

¹⁴ IRSN, Décembre 2024. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023. Rapport 2024-00600, 340 p.

¹⁵ Figure (haut de page) en p°26/340 du Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023, publié par l'IRSN en 2024 - Rapport 2024-00600, 340 p.

¹⁶ L'« eau de combustion » est le liquide recueilli suite à la combustion des échantillons à 900°C sous flux d'oxygène, préparation réalisée afin de recueillir le tritium non labile

6.1.2.3.2. Carbone 14

Le carbone est l'un des quatre éléments essentiels, avec l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, au développement de toute vie. Il est très majoritairement présent sous forme d'isotopes stables (carbone 12 $\approx$ 99 % ; carbone 13 $\approx$ 1 %). Le carbone 14, isotope radioactif présent à l'état de traces, est produit majoritairement par voie naturelle par capture des neutrons cosmiques par les noyaux de l'azote atmosphérique. Le stock de carbone 14 à l'échelle de la planète est à ce jour d'environ $1,27 \cdot 10^7$ TBq, dont 90 % sont contenus dans les profondeurs des océans, 1 % dans l'atmosphère et 9 % à la surface des mers, dans les sédiments et la biosphère. La réserve atmosphérique à l'équilibre est d'environ $1,4 \cdot 10^5$ TBq¹⁷. Outre cette origine naturelle, 2 % des stocks de carbone 14 sont issus des activités humaines.

Dans la nature, le carbone 14 existe principalement sous forme minérale (gaz carbonique ($^{14}\text{CO}_2$) dans l'atmosphère et carbonates dans l'eau), et sous forme organique suite à son assimilation par les plantes au cours de la photosynthèse.

L'activité en carbone 14, relativement constante au cours des derniers millénaires, a subi de grandes fluctuations depuis le début de l'ère industrielle. La constante augmentation des rejets de CO_2 , liée à l'utilisation de combustibles fossiles aux teneurs plus faibles en carbone 14, a contribué à diminuer l'activité spécifique du carbone 14 présent dans l'atmosphère (effet de dilution isotopique généralement connu sous le nom de l'effet Suess). Au contraire, les rejets de carbone 14 d'origine anthropique, essentiellement dus aux essais nucléaires aériens pratiqués entre 1945 et 1980¹⁸, ont augmenté l'activité atmosphérique. Ainsi, l'activité spécifique en carbone 14 dans l'atmosphère est passée de 226 Bq/kg de carbone au milieu du 19^{ème} siècle à un maximum d'environ 400 Bq/kg de carbone dans les années 1960 suite aux essais nucléaires aériens. Depuis l'arrêt de ces derniers, l'activité en carbone 14 dans l'atmosphère est en diminution. Depuis 2015, ce niveau d'activité en carbone 14 est redevenu comparable à celui mesuré avant les essais nucléaires aériens (cf. [Figure 6.b](#)).

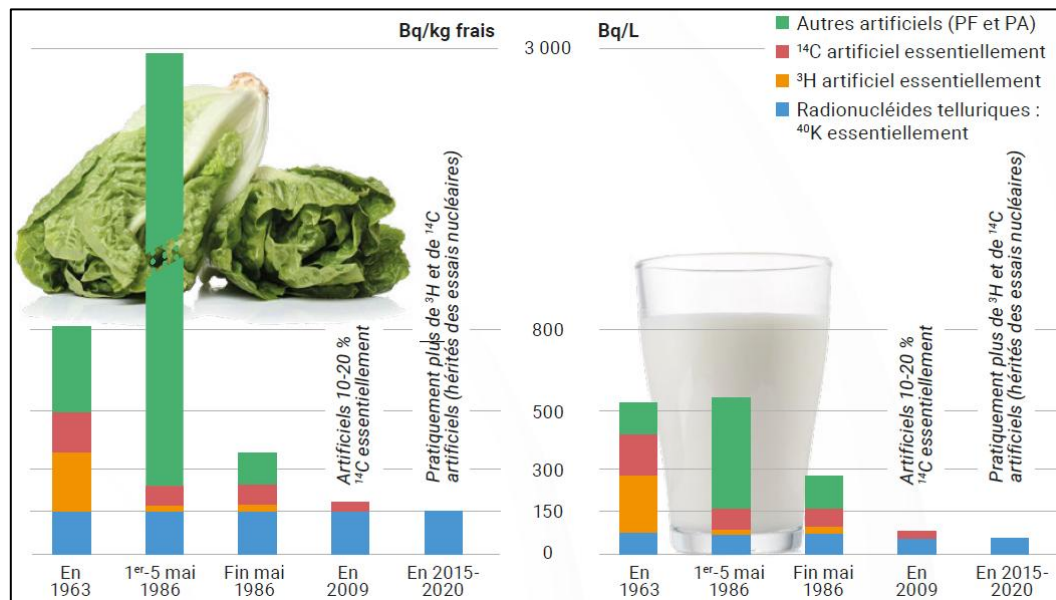


Figure 6.b : Origines et niveaux d'activités dans les salades (en Bq/kg frais) et le lait (en Bq/L) en France à différentes périodes¹⁹

¹⁷ Fiche radionucléide IRSN « Carbone 14 et environnement », dernière mise à jour janvier 2016 (www.asnr.fr).

¹⁸ Les explosions nucléaires réalisées avant 1972 ont rejeté dans l'atmosphère environ $3,5 \cdot 10^5$ TBq de carbone 14. Les explosions ultérieures ont augmenté cette quantité d'environ 1 %¹³.

¹⁹ Figure (haut de page) en p°23/340 du Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023, publié par l'IRSN en 2024 - Rapport 2024-00600, 340 p.

Dans l'environnement terrestre, l'activité spécifique en carbone 14 qui en résulte est de l'ordre de 231 ± 7 Bq/kg de carbone en 2014 et 221 ± 7 Bq/kg de carbone en 2023²⁰, et continue à décroître en raison des phénomènes d'absorption par les eaux océaniques et de dilution par les émissions de carbone stable issues notamment de la combustion des combustibles fossiles (cf. [Figure 6.c](#)).

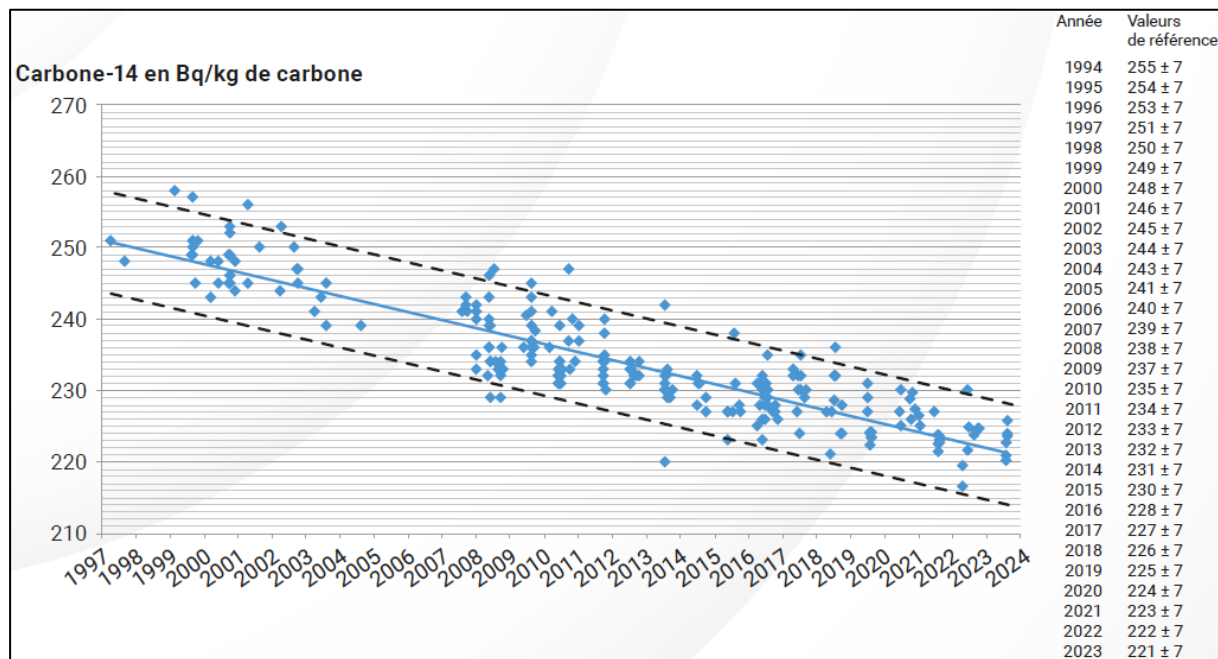


Figure 6.c : Évolution récente des niveaux d'activités du carbone 14 dans les compartiments atmosphérique et terrestre hors influence d'installations nucléaires (Bq/kg de carbone) ²¹

En milieu aquatique, le carbone se répartit entre carbone organique (dissous et particulaire) et carbone minéral (CO₂ et acide carbonique dissous, carbonates et bicarbonates) et subit un ensemble complexe de processus biochimiques. Le carbone 14 des écosystèmes d'eau douce n'est donc pas en équilibre avec le carbone 14 atmosphérique. Hors de l'influence directe d'une installation, les niveaux, fortement influencés par la teneur en carbonates du milieu, varient actuellement entre 200 et 220 Bq/kg de carbone dans les cours d'eau²².

²⁰ IRSN, Décembre 2024. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023. Rapport 2024-00600, 340 p.

²¹ Figure (bas de page) en p°25/340 du Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023, publié par l'IRSN en 2024 - Rapport 2024-00600, 340 p.

²² IRSN, Novembre 2021. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport 2021-00765, 403 p.

6.1.3. ÉTAT RADIOLOGIQUE À L'INTÉRIEUR DU SITE

L'état radiologique à l'intérieur du périmètre de l'INB n°75 et de l'emplacement du projet du Technocentre a été réalisé en s'appuyant sur les résultats acquis dans le cadre du contrôle et de la surveillance réglementaire (disponibles sur le site du RNM – www.mesure-radioactivite.fr). Ces mesures sont réalisées à des fréquences relativement courtes et ont des seuils de décision analytiques cohérents avec l'objectif de surveillance, qui vise notamment à déceler de manière précoce tout accroissement atypique de la radioactivité lié à l'exploitation des installations du site.

En conséquence, eu égard à la fréquence des mesures et aux performances analytiques associées, la période de référence retenue correspond aux cinq dernières années (2019-2023) de la période d'analyse de l'état radiologique réalisé au [Paragraphe 6.1.5](#) et au [Paragraphe 6.1.6](#).

Les mesures portent sur :

- Le compartiment atmosphérique : débit de dose gamma ambiant, activité bêta globale et alpha globale des poussières atmosphériques (aérosols), activité volumique du tritium dans l'air, activité bêta globale, alpha globale et tritium des eaux de pluie ;
- Les eaux souterraines : indice d'activité bêta globale et tritium.

Les eaux souterraines sont traitées dans le [Chapitre 5](#).

Les stations de prélèvements et balises considérées (cf. [Erreur ! Source du renvoi introuvable.](#)) fournissent ainsi des informations pour définir son état radiologique. Leur localisation, ainsi que le détail des mesures réalisées et leur périodicité, sont présentés dans le [Paragraphe Erreur ! Source du renvoi introuvable.](#)

Concernant la mesure du débit de dose gamma ambiant, le débit de dose moyen mesuré au niveau de la station AS1 (située au nord de l'INB n°75 et du projet du Technocentre) sur la période 2019-2023 est de 90 nSv/h (0,79 mSv/an). Ces valeurs sont à mettre en regard du bruit de fond gamma ambiant moyen du département du Haut-Rhin, évalué par l'IRSN à 87 nSv/h (0,76 mSv/an)²³, et aux débits de dose moyens mesurés par chacune des balises des réseaux « 5 km » et « 10 km » (cf. [Erreur ! Source du renvoi introuvable.](#)) sur la même période, représentatifs du bruit de fond hors influence des installations de l'INB n°75, et compris entre 95,8 et 135 nSv/h selon les balises.

L'activité bêta globale des poussières atmosphériques analysée à la station AS1 est inférieure en moyenne à 0,73 mBq/m³ sur la période 2019-2023.

L'activité volumique du tritium dans l'air, mesurée au niveau de la station AS1, est inférieure en moyenne à 0,14 Bq/m³. Dans l'eau de pluie prélevée au niveau de la station AS1, l'activité volumique bêta globale est inférieure en moyenne à 0,17 Bq/L et l'activité volumique du tritium est inférieure en moyenne à 4,24 Bq/L.

²³ IRSN – Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014 – Figure 8 – Moyenne du débit de dose gamma ambiant par département sur la période de juillet 2011 à décembre 2012 (nSv/h)

6.1.4. HISTORIQUE DES ÉTUDES RADIOÉCOLOGIQUES CONDUITES DANS L'ENVIRONNEMENT

La chronologie des études réalisées autour de l'INB n°75 et du projet du Technocentre est présentée sur la [Figure 6.d](#). Dans celle-ci, apparaissent également les événements extérieurs (essais nucléaires aériens, accidents de Tchernobyl et de Fukushima-Daiichi), dont les retombées sont responsables d'une influence sur le niveau de radioactivité observé dans l'environnement au voisinage du site.

L'INB n°75 se compose de deux réacteurs de 900 MWe de la filière des REP mis en service en avril et octobre 1977 (INB n°75 - Fessenheim 1 et 2), et arrêtés définitivement en février et juin 2020. Cette INB est actuellement en phase de démantèlement.

Un état de référence initial avant la mise en service de l'INB n°75 (ou « point zéro ») commandité par EDF a été réalisé dans l'environnement proche du site entre 1973 et 1976 afin de dresser un constat du niveau de radioactivité des eaux, des sols, des végétaux terrestres et de quelques produits alimentaires au sein de l'environnement. Des mesures ont également été réalisées sur des poissons prélevés dans le grand canal à Fessenheim.

En 1989, soit une dizaine d'années après le couplage au réseau des réacteurs, un premier Bilan radioécologique Décennal (BD) a été réalisé. Ce bilan visait à évaluer de façon plus fine l'activité des radionucléides présents dans l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du site, en recherchant également des radionucléides non rejetés par les installations du site dans une plus grande diversité de matrices.

Depuis 1992, des suivis radioécologiques annuels sont réalisés dans l'environnement proche du site.

Trois autres bilans décennaux ont été réalisés en 1998, 2009 et 2019 afin de rendre compte d'une éventuelle évolution de l'état radiologique de l'environnement au voisinage du site de l'INB n°75 et du projet du Technocentre depuis le premier bilan décennal.

L'état radiologique actuel au voisinage du site du Technocentre et de l'INB n°75 est basé sur l'ensemble des données acquises entre 2014 et 2023.

Une synthèse de l'état de référence initial établi avant la mise en service de l'INB n°75 est présentée dans un premier temps afin de mettre en perspective les résultats de l'analyse de l'état radiologique de l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du site sur la période 2014-2023.

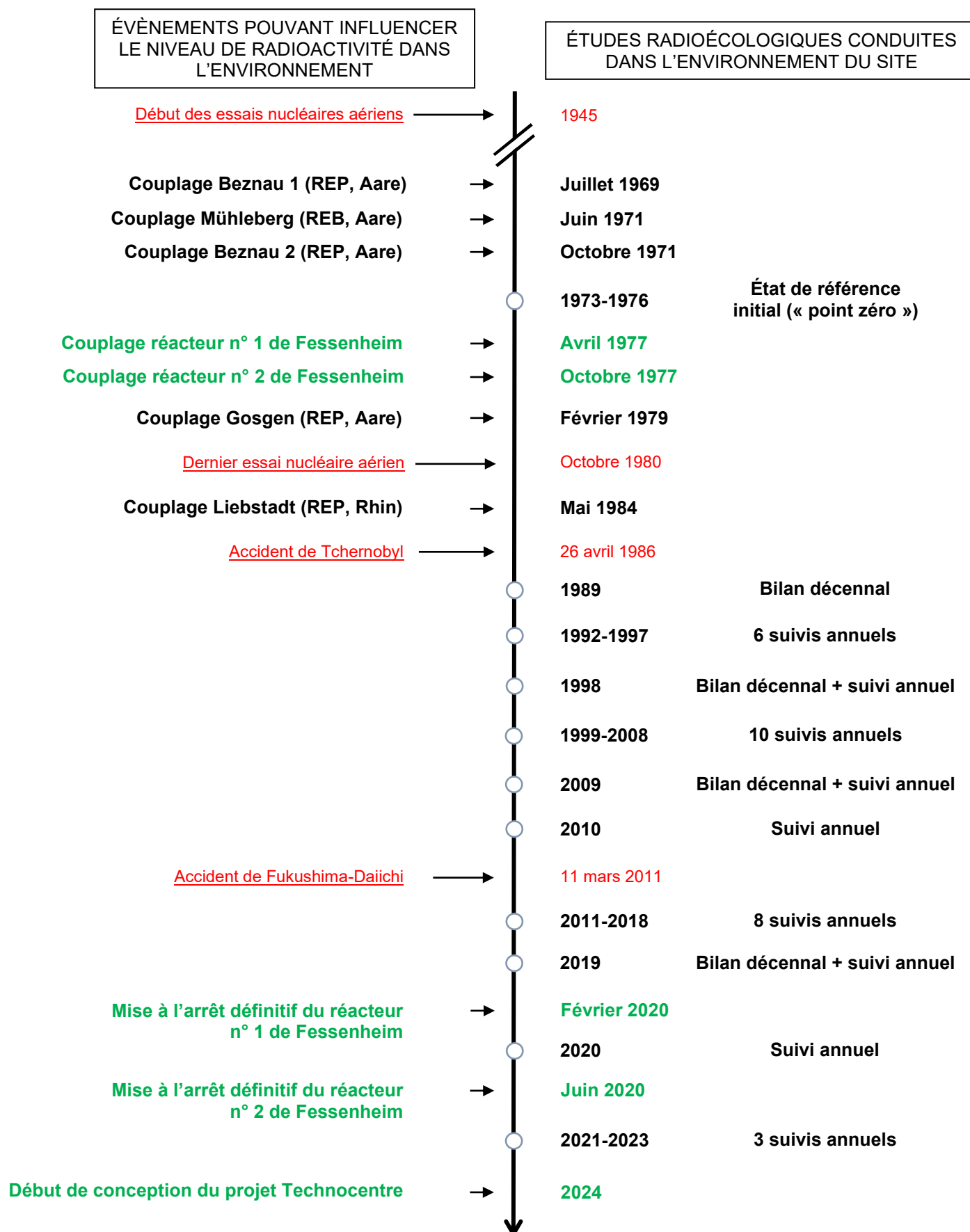


Figure 6.d : Chronologie des principaux événements et études radioécologiques réalisées dans l'environnement au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre

6.1.5. ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

Afin de pouvoir apprécier l'influence potentielle des rejets atmosphériques d'effluents radioactifs émis par l'INB n°75, les stations de prélèvement de l'environnement terrestre (cf. [Figure 6.f](#)), sont choisies selon la rose des vents (cf. [Figure 6.e](#)) :

- au niveau des communes situées à proximité du site (rayon de 7 kilomètres) et dans les secteurs nord-nord-ouest à nord-nord-est sous les vents dominants, en zones potentiellement influencées par les rejets d'effluents à l'atmosphère du site (ou ZI) ;
- au niveau des communes situées dans le secteur sud-ouest à ouest-nord-ouest hors vents, à une distance supérieure à 8 kilomètres, en zones non influencées par les rejets d'effluents à l'atmosphère (ou ZNI).

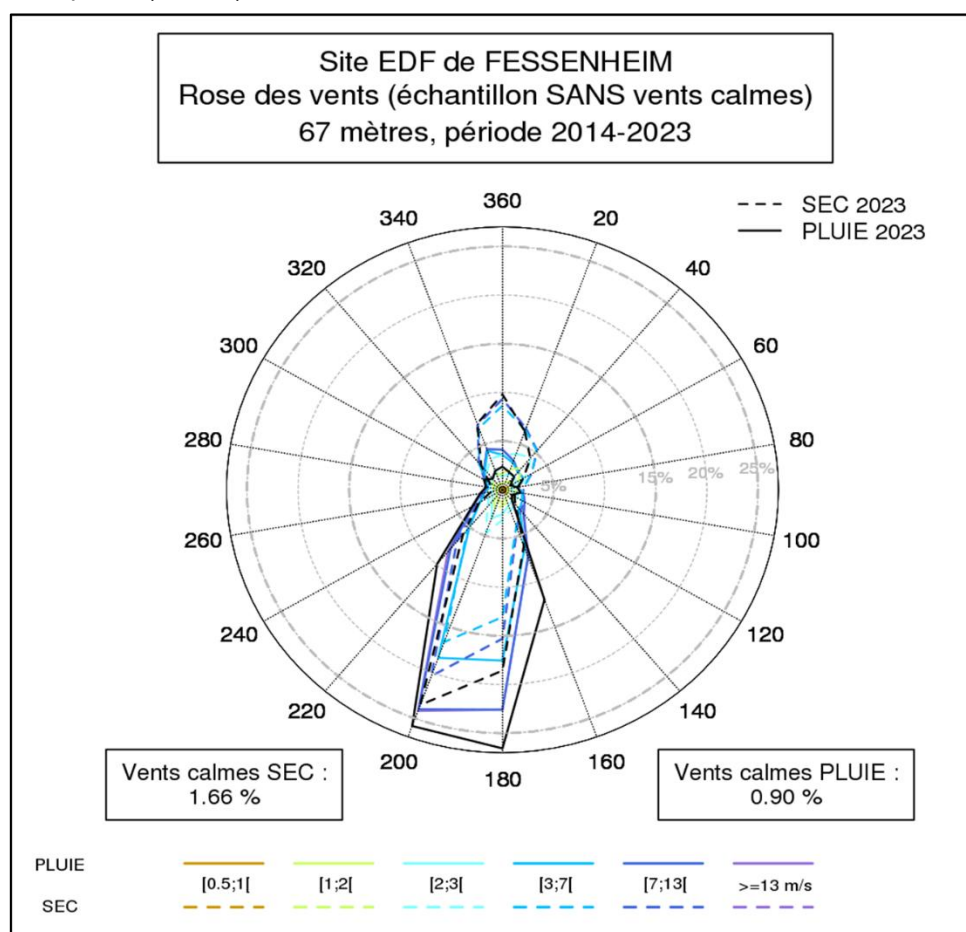


Figure 6.e : Rose des vents de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (période 2014-2023)

Dans la suite du document, il sera évoqué par simplification les zones hors et sous les vents (respectivement ZNI et ZI).

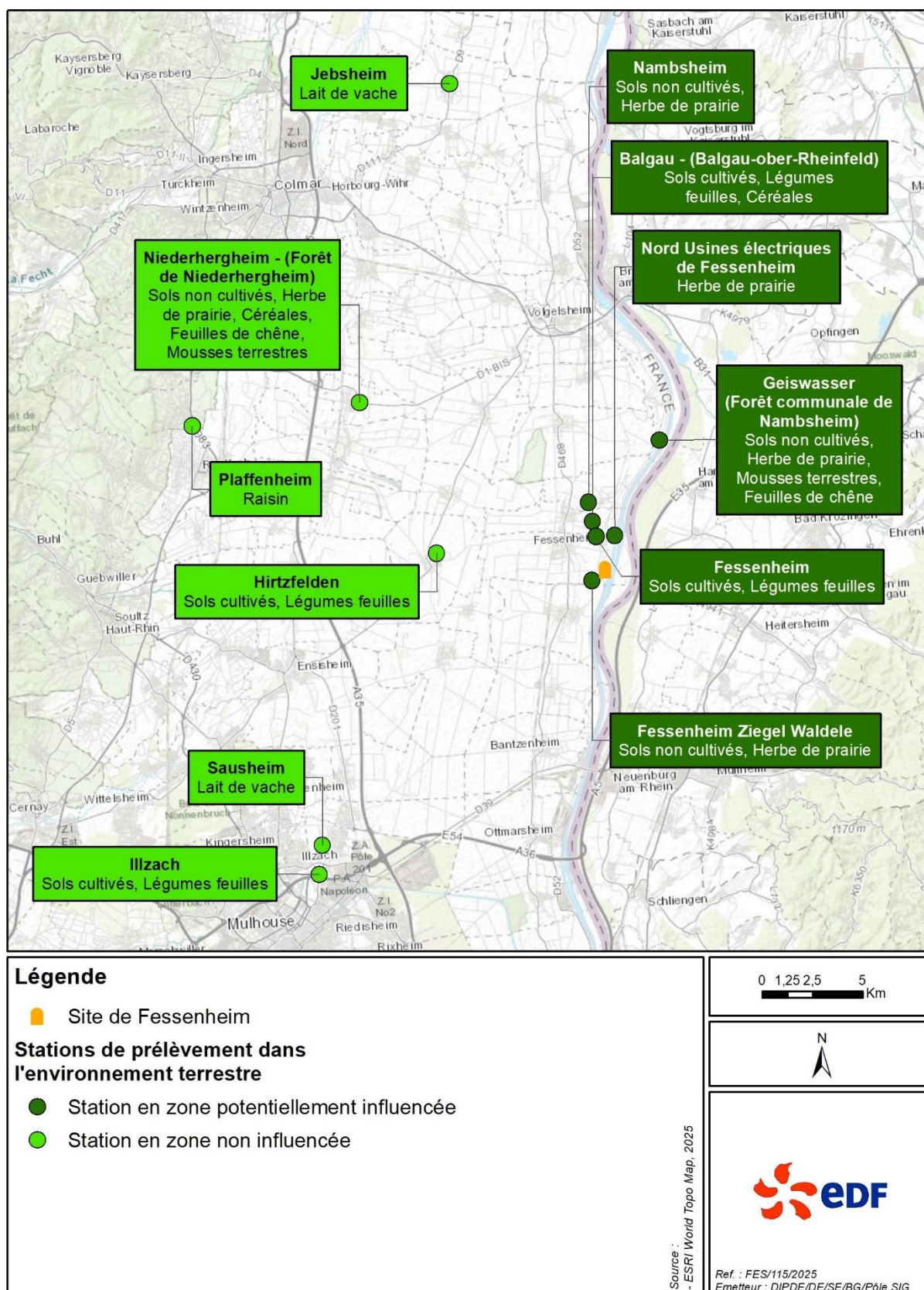


Figure 6.f : Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement terrestre de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (2014-2023)

6.1.5.1. ÉTAT DE RÉFÉRENCE INITIAL (OU POINT « ZÉRO ») RADIOÉCOLOGIQUE (1973-1976)

Avant la mise en service de l'INB n°75, un constat du niveau de radioactivité des sols, des végétaux terrestres et de l'eau de pluie, a été dressé dans l'environnement proche du site entre 1973 et 1976.

La **radioactivité** dans l'environnement du site est majoritairement **d'origine naturelle**. Elle est représentée essentiellement par le **potassium 40**, détecté dans les sols cultivés, les céréales²⁴, les fruits²⁵ (de 68 à 1 385 Bq/kg sec dans ces trois matrices), et le moût de raisin (de 2 à 43 Bq/L).

La **radioactivité gamma (γ) d'origine artificielle** est due dans la plupart des matrices au seul **césium 137** détecté dans les sols cultivés, les céréales²⁴, les fruits²⁵ (de 0,4 à 31,8 Bq/kg sec dans ces trois matrices ; cf. [Figure 6.g](#)), ainsi que dans le miel²⁶ (de 15 à 796 Bq/kg sec) et le moût de raisin (de 0,4 à 12,6 Bq/L). Systématiquement détecté dans les sols cultivés et le miel, il est régulièrement présent dans les céréales, les fruits et le moût de raisin. L'origine du césium 137 est imputable aux retombées des essais nucléaires aériens. Il est accompagné de **cobalt 60** (de 67 à 740 Bq/kg sec) dans les échantillons de miels collectés en 1973, ainsi que dans un échantillon de miel en 1976. L'origine de ce radionucléide n'est pas déterminée, elle pourrait être liée aux rejets des installations nucléaires suisses ayant divergé dans les années 1970, qui restent cependant lointaines.

Le **tritium libre (HTO)**²⁷ est recherché dans l'eau de pluie²⁸. Les niveaux d'activité mesurés (de 23,1 à 25,2 Bq/L) sont conformes aux valeurs habituellement mesurées dans des milieux terrestres soumis à la seule influence des essais nucléaires aériens à cette époque ; le tritium étant également en partie d'origine naturelle.

Le **tritium organiquement lié (TOL)**²⁹, le **carbone 14**, et les **radionucléides émetteurs alpha (α)** n'ont pas été mesurés lors de l'état de référence initial.

En conclusion, lors de l'état de référence initial réalisé en 1973-1976 avant la mise en service de l'INB n°75, la radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement terrestre est principalement due à la présence de césium 137 et de tritium libre. Ces radionucléides sont issus des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens. Le tritium libre présent dans l'environnement est également d'origine naturelle. La présence de cobalt 60 dans certains échantillons de miel est imputable aux rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère des installations suisses ayant divergé dans les années 70.

²⁴ Maïs

²⁵ Mirabelles et pommes

²⁶ Miels français et allemands

²⁷ Le tritium libre correspond au tritium présent dans l'eau issue de la déshydratation de l'échantillon frais. La mesure est exprimée en becquerel par litre d'eau de déshydratation.

²⁸ Des mesures de tritium libre ont également été réalisées dans le miel et le moût de raisin lors de l'état de référence initial. Cependant, ces résultats de mesure n'ont pas pu être reportés, en raison de l'unité dans laquelle ils sont exprimés (pCi/g au lieu de Bq/L : la conversion des g en L étant impossible, du fait de l'absence de masse volumique mentionnée dans les rapports d'analyse).

²⁹ L'analyse du tritium lié à la matière organique (TOL) se fait par scintillation liquide à partir de l'eau issue de la combustion de cette matière organique, dont la mesure s'exprime en Bq/L d'eau de combustion.

6.1.5.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE AU VOISINAGE DU SITE (2014-2023)

6.1.5.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

6.1.5.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

La radioactivité d'origine naturelle des matrices échantillonnées sur la période considérée (2014-2023) est essentiellement liée au **potassium 40**, détecté par activité massique décroissante dans les légumes feuilles³⁰, les herbes de prairie, les mousses, les sols, les fruits et les céréales (de 106 à 2 860 Bq/kg sec), ce principalement en raison de l'apport d'engrais potassiques sur les productions agricoles. Dans le lait, l'activité en potassium 40 est proche de 40-50 Bq/L. Ces activités sont conformes aux valeurs observées en France métropolitaine.

Le **béryllium 7** est présent principalement dans les végétaux (de 3,29 à 1 410 Bq/kg sec) dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Il est également détecté dans certains échantillons de sols cultivés et non cultivés (de 2,6 à 10,5 Bq/kg sec).

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle sont stables dans l'environnement terrestre au voisinage du site par rapport à l'état de référence initial (ou point « zéro »).

6.1.5.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Durant la période 2014-2023, le **césium 137** est le seul radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle qui soit détectable dans l'environnement terrestre au voisinage du site (cf. [Figure 6.g](#)).

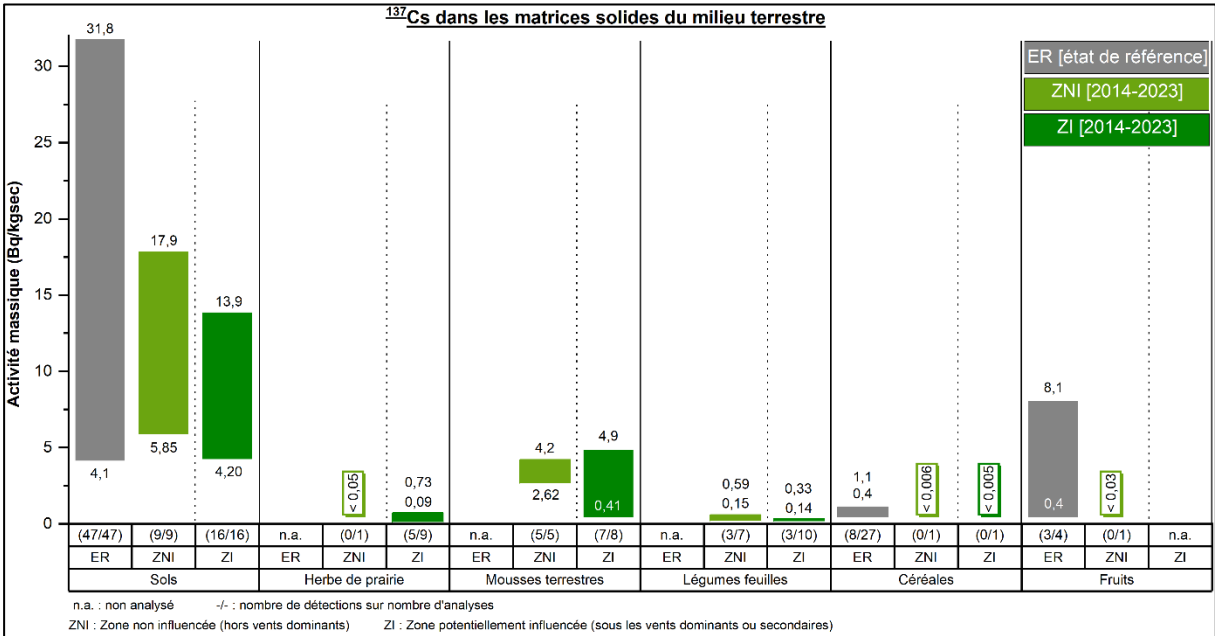


Figure 6.g : Activités massiques en césium 137 dans les matrices solides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)

³⁰ Salades analysées sur la période de référence

Dans le lait de vache, le césium 137 est détecté en zones hors vents (pas d'analyse réalisée en zone sous les vents) à des activités inférieures à 0,05 Bq/L (cf. [Figure 6.h](#)).

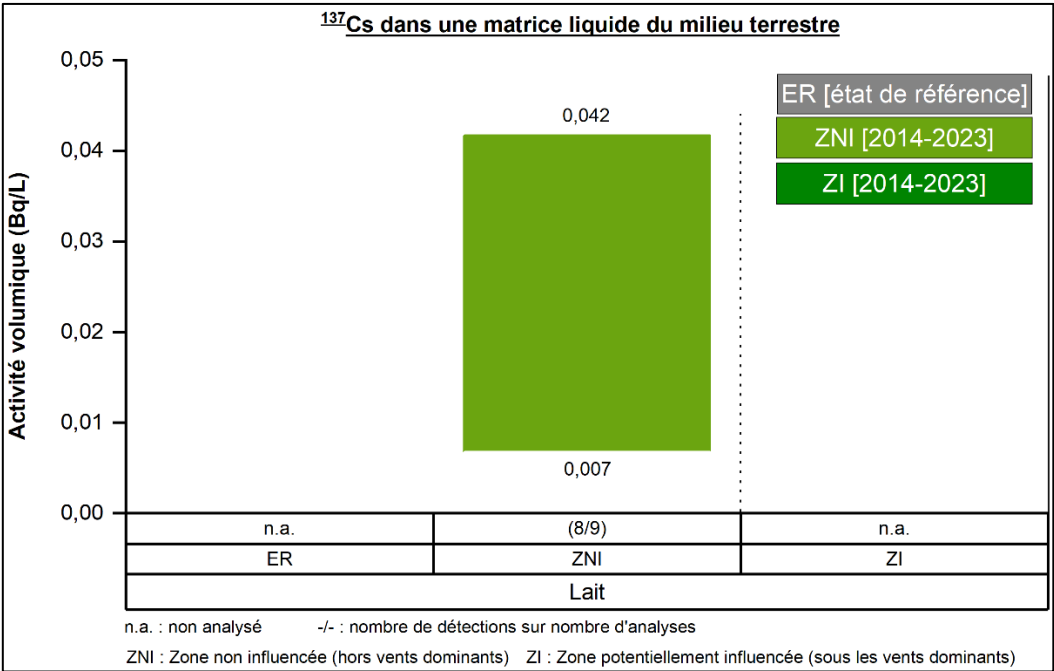


Figure 6.h : Activités volumiques en césium 137 dans le lait prélevé en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)

Les [Figure 6.g](#) et [Figure 6.h](#) montrent que les niveaux d'activité mesurés en césium 137 dans les matrices terrestres, sur la période 2014-2023, sont en baisse par rapport à l'état de référence initial, et globalement du même ordre de grandeur entre les zones hors et sous les vents.

Les activités des autres radionucléides artificiels du spectre de rejets sont inférieures aux seuils de décision analytiques.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine artificielle dans le milieu terrestre sont uniquement dus à la présence de césium 137, qui trouve son origine dans les retombées atmosphériques globales (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl). Aucune contribution des rejets atmosphériques autorisés de l'INB n°75 à l'apport de radionucléides émetteurs gamma artificiels dans l'environnement n'est mise en évidence sur la période 2014-2023.

6.1.5.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Les principaux radionucléides émetteurs bêta (tritium libre et organiquement lié, carbone 14 et strontium 90) sont recherchés dans la majorité des matrices prélevées dans l'environnement terrestre.

6.1.5.2.2.1. Tritium

Les résultats de mesures du **tritium libre (HTO)** et du **tritium organiquement lié (TOL)** sont présentés sur les [Figure 6.i](#) et [Figure 6.j](#) respectivement.

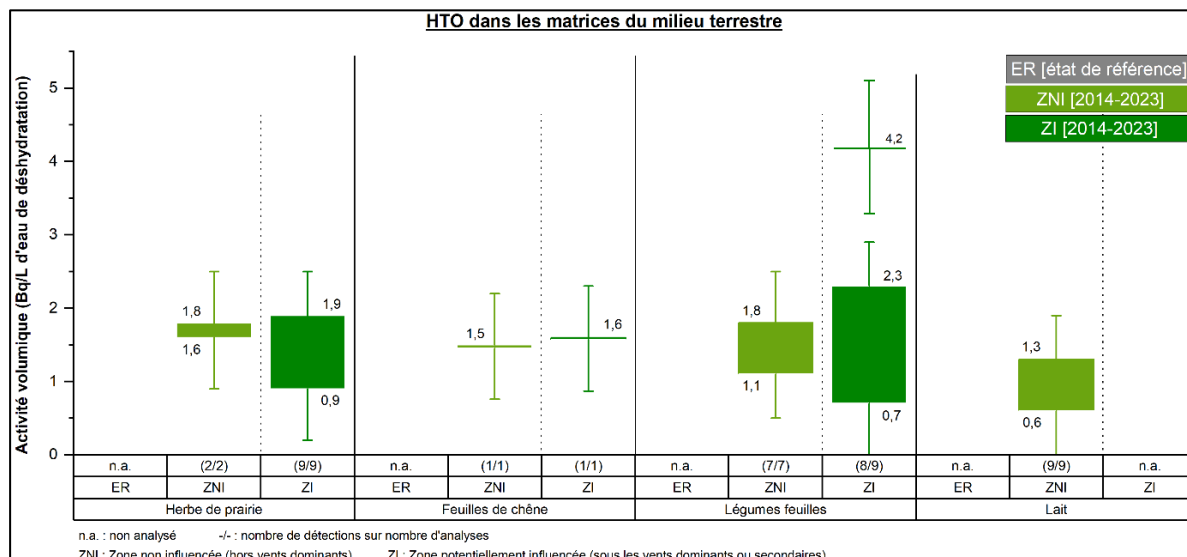


Figure 6.i : Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)

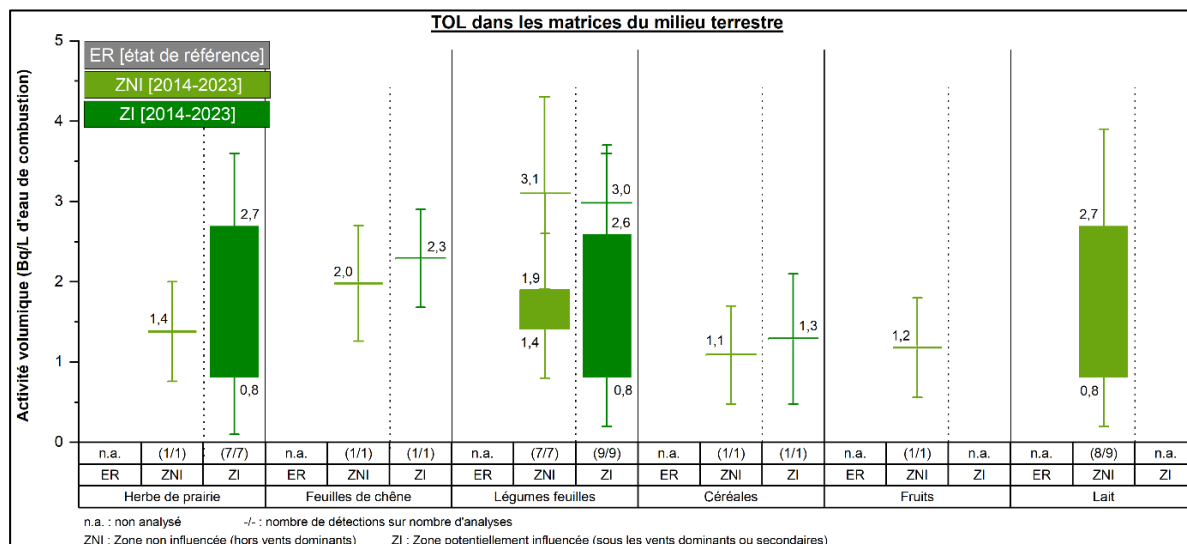


Figure 6.j : Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)

Les activités mesurées en tritium libre sont comparées avec les niveaux de référence mesurés hors influence industrielle, qui se situent aujourd’hui aux alentours de 0,8 Bq/L (dans une gamme allant de 0,3 à 2 Bq/L³¹).

Les activités mesurées en tritium organiquement lié sont comparées avec les niveaux de référence mesurés en France métropolitaine hors influence de tout rejet d’industrie nucléaire (valeur moyenne dans les végétaux et les denrées alimentaires d’origine végétale et animale située entre 0,7 Bq/L d’eau de combustion en 2023 (gamme allant de 0,3 à 1,6 Bq/L) et 1,3 Bq/L d’eau de combustion en 2014 (gamme allant de 0,6 à 2,8 Bq/L³¹).

Il ressort de cette analyse que certaines activités en tritium (HTO et TOL) sont supérieures de quelques Bq/L par rapport au bruit de fond hors influence dans les légumes feuilles (HTO en 2023 sous les vents et TOL en 2021 et 2022 en zones hors et sous les vents, respectivement) en lien avec les rejets de l’INB n°75.

6.1.5.2.2.2. Carbone 14

La [Figure 6.k](#) présente les activités spécifiques en carbone 14 mesurées dans les matrices de l’environnement terrestre de 2014 à 2023.

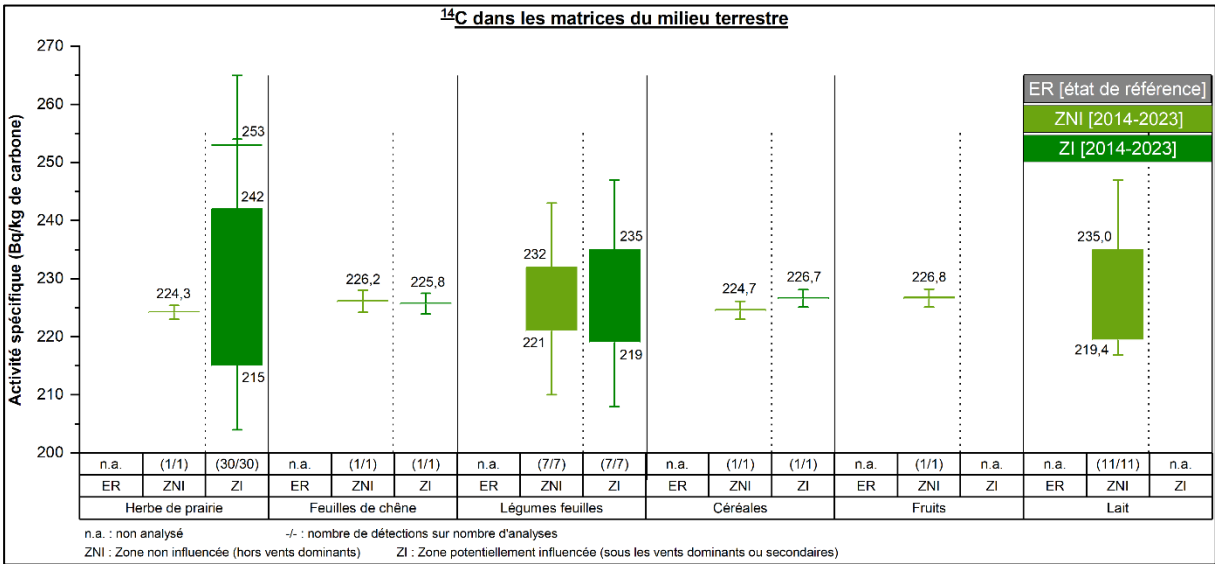


Figure 6.k : Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l’environnement terrestre prélevées en zones hors vents (ZNI) et sous les vents (ZI)

Les activités mesurées en carbone 14 sont comparées avec le bruit de fond atmosphérique situé entre 221 ± 7 Bq/kg de carbone en 2023 et 231 ± 7 Bq/kg de carbone en 2014³¹.

Il ressort de cette analyse que les niveaux d’activités en carbone 14 mesurés dans l’environnement terrestre au voisinage du projet du Technocentre et de l’INB n°75 dans l’ensemble des matrices terrestres (herbes, feuilles de chêne, légumes feuilles, céréales, fruits et lait), prélevées sous et hors vents, sont globalement compris dans la gamme de bruit de fond atmosphérique attendu hors influence. Ils ne présentent également pas de différence significative entre les zones sous et hors vents. L’INB n°75 est à l’origine de la détection ponctuelle d’une activité supérieure d’une vingtaine de Bq/kg de carbone au bruit de fond dans un échantillon d’herbe de prairie prélevé en 2018 sous les vents à proximité du site (3,5 km), en lien avec les rejets atmosphériques.

³¹ IRSN, Décembre 2024. Bilan de l’état radiologique de l’environnement français de 2021 à 2023. Rapport 2024-00600, 340 p.

6.1.5.2.2.3. Strontium 90

Le **strontium 90**, non présent dans le spectre de référence des rejets de l'INB n°75, est recherché pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche du site.

Lors du bilan décennal de 2019, le **strontium 90** est recherché dans le lait de vache prélevé en zone hors vents. Le niveau d'activité mesuré ($0,0093 \pm 0,0021$ Bq/L) est comparable au niveau attendu pour une zone soumise uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens³².

Il ressort de cette analyse que le niveau de radioactivité du strontium 90, mesuré dans l'environnement terrestre au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre, est cohérent avec les valeurs attendues pour une zone soumise uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

6.1.5.2.2.4. Fer 55

La recherche de **fer 55**, non présent dans le spectre de référence des rejets de l'INB n°75, est réalisée dans un échantillon de sol cultivé prélevé en zone sous les vents lors du bilan décennal de 2019, pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche du site.

Le niveau d'activité mesuré est inférieur au seuil de décision analytique (≤ 7 Bq/kg sec).

Il ressort de cette analyse que le niveau d'activité en fer 55 est inférieur au seuil de décision analytique.

6.1.5.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

La recherche de radionucléides émetteurs alpha, non présents dans le spectre de référence des rejets de l'INB n°75³³, est réalisée à une fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche, ces radionucléides étant susceptibles d'être présents dans l'environnement du fait des essais nucléaires aériens.

Lors du bilan décennal de 2019, les **radionucléides émetteurs alpha** (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) sont recherchés dans les sols non cultivés et les herbes de prairie prélevés sous et hors vents.

Lorsqu'ils sont exploitables, les rapports d'activité ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) et ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$), permettent de préciser l'origine de ces radionucléides. Compris dans les sols et les herbes entre $0,0249 \pm 0,0038$ et $0,037 \pm 0,015$ pour le rapport ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) et entre $0,415 \pm 0,033$ et $0,443 \pm 0,041$ pour le rapport ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$)³⁴, ces rapports correspondent aux rapports isotopiques caractéristiques des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens réalisés entre 1945 et 1980, dont les valeurs de référence sont respectivement 0,03 et 0,4 (cf. [Paragraphe 6.1.2.2.1](#)).

Absents des rejets des effluents atmosphériques de l'INB n°75, il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs alpha mesurés dans l'environnement terrestre de l'INB n°75 et du projet du Technocentre trouvent leur origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

³² IRSN, Mars 2022. Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain. Bilan des constats radiologiques régionaux. Rapport IRSN/DG 2022-00131, 152 p.

³³ L'absence de radionucléides émetteurs alpha dans les effluents de l'INB n°75 est contrôlée par la réalisation d'une analyse avant rejet.

³⁴ La valeur du rapport isotopique ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$) dans l'échantillon d'herbe de prairie prélevé hors vents, n'est pas exploitable du fait de sa grande incertitude de mesure ($0,63 \pm 0,43$).

6.1.6. ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

Afin de pouvoir apprécier l'influence potentielle des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'INB n°75, les stations de prélèvements de l'environnement aquatique (sédiments, faune et flore aquatiques) sont choisies à l'amont et à l'aval des points de rejets liquides du site³⁵ (cf. [Figure 6.I](#) pour les prélèvements effectués sur la période 2014-2023).

Concernant la matrice « eau », les prélèvements sont considérés sous influence potentielle lorsqu'ils ont été réalisés en aval du site dans une zone pouvant être influencée par les rejets d'effluents liquides des installations de l'INB n°75.

Sur la période 2014-2023, des prélèvements d'eau de surface (dans le Rhin) ont été effectués en deux points : la station « Kembs » localisée en amont (hors influence) et la station « Vogelgrün » située en aval (sous influence potentielle) des rejets liquides de l'INB n°75.

Des prélèvements d'eau de boisson ont été effectués à la station « Geiswasser ». Ces échantillons d'eau potable proviennent du réseau de distribution localisé en aval hydraulique du site. La nappe phréatique (nappe d'accompagnement du Rhin), qui alimente ce réseau, est située dans une zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents liquides de l'INB n°75.

Des prélèvements d'eau d'irrigation ont également été réalisés à la station « Balgau » en aval du site en zone sous influence potentielle des rejets liquides.

³⁵ Les « rejets d'effluents radioactifs liquides du site » désignent uniquement les rejets réalisés par l'INB n°75 en fonctionnement, puis en démantèlement ; aucun rejet d'effluent radioactif liquide ne sera réalisé par le projet du Technocentre.

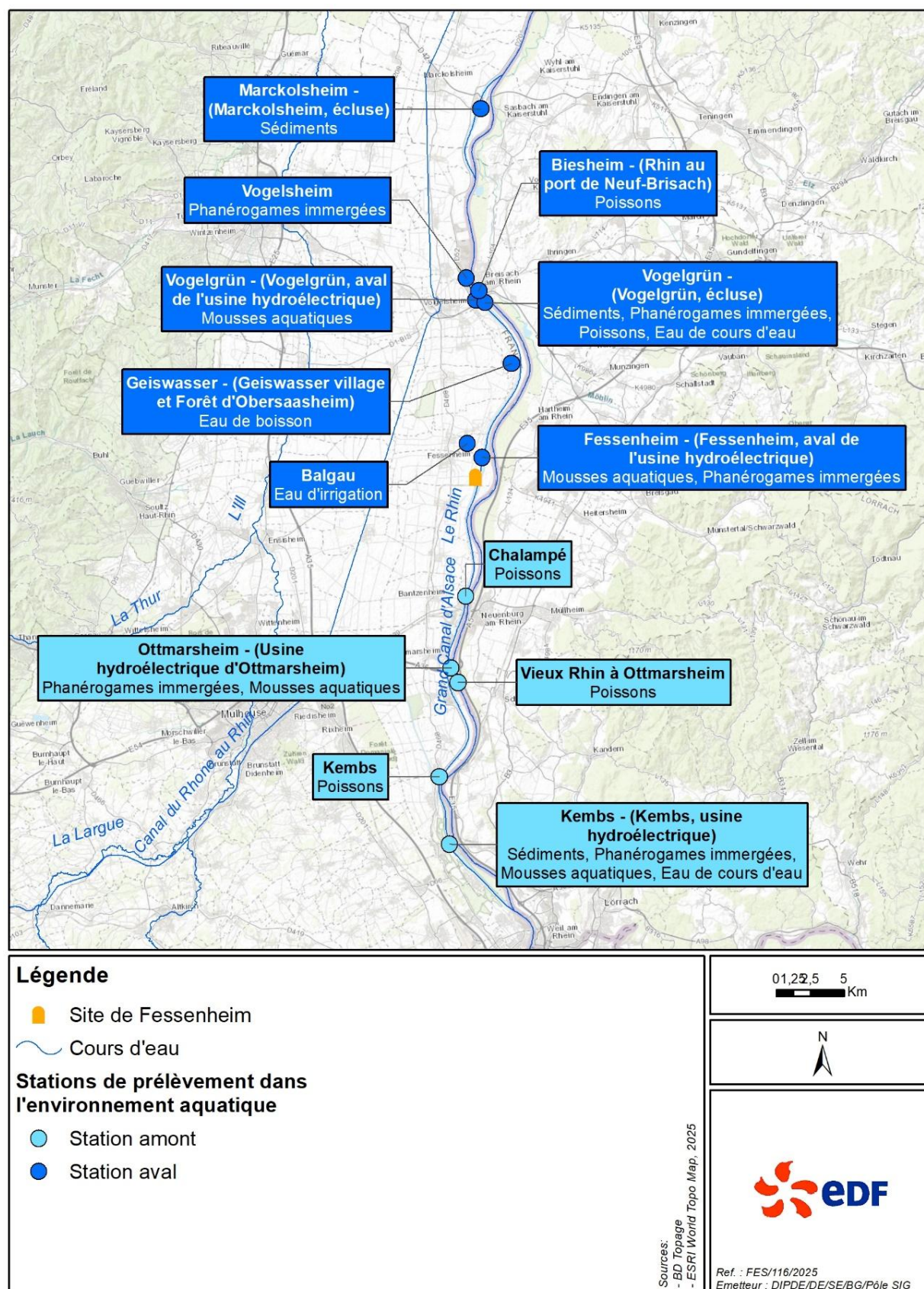


Figure 6.1 : Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement aquatique de l'INB n°75 et du projet du Technocentre (2014-2023)

6.1.6.1. ÉTAT DE RÉFÉRENCE INITIAL (OU POINT « ZÉRO ») RADIOÉCOLOGIQUE (1976)

L'état radiologique de référence de l'environnement aquatique au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre est caractérisé avant la mise en service de l'INB n°75 entre avril et novembre 1976. L'évaluation des niveaux d'activité est réalisée sur la base d'un échantillonnage de poissons et d'eau (eau de boisson, de nappe phréatique et de surface).

La **radioactivité gamma (γ)** est majoritairement **d'origine naturelle**. Elle est représentée essentiellement par le **potassium 40** dans les poissons³⁶ (de 32,4 à 186 Bq/kg frais).

La **radioactivité gamma (γ) d'origine artificielle** est principalement due au **césium 137**, détecté dans les poissons³⁶ (de 0,6 à 5,5 Bq/kg frais ; cf. [Figure 6.n](#)). Dans cette matrice, ce radionucléide est sporadiquement accompagné de **cobalt 60** (1 Bq/kg frais), de **manganèse 54** (2,8 Bq/kg frais), de **cérium 141** (1,8 Bq/kg frais) et de **cérium 144** (4,4 Bq/kg frais). L'origine de ces radionucléides, à l'exception du cobalt 60, est imputable aux retombées des essais nucléaires aériens. La présence de cobalt 60 est liée aux rejets d'effluents liquides des installations nucléaires suisses situées en amont du site sur le Rhin et ayant divergé dans les années 70.

Le **tritium libre (HTO)** est uniquement recherché dans l'eau (de boisson, de nappe phréatique et de surface). Il est systématiquement détecté dans cette matrice, à des niveaux d'activité compris entre 0,9 et 35,6 Bq/L (cf. [Figure 6.q](#)). Ces niveaux d'activité sont conformes aux valeurs habituellement mesurées à cette époque dans les eaux de surface continentales soumises à la seule influence des essais nucléaires aériens ; le tritium étant également en partie d'origine naturelle.

Aucune mesure d'activité en **tritium organiquement lié (TOL)**, **carbone 14** et **radionucléides émetteurs alpha (α)** n'est réalisée lors de l'état de référence initial.

En conclusion, lors de l'état de référence initial réalisé en 1976, la radioactivité mesurée dans l'environnement aquatique au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre est principalement d'origine naturelle. Les radionucléides d'origine artificielle détectés (césium 137, manganèse 54, cérium 141, cérium 144 et tritium libre) ont pour origine principale les retombées des essais nucléaires aériens. La présence de cobalt 60 est liée aux rejets liquides des installations nucléaires suisses ayant divergé dans les années 70.

6.1.6.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE AU VOISINAGE DU SITE (2014-2023)

6.1.6.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

6.1.6.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

La radioactivité d'origine naturelle des matrices échantillonnées sur la période considérée (2014-2023) est essentiellement liée au **potassium 40**, mesuré par activité massique décroissante dans les phanérogames immergées (de 279 à 1 940 Bq/kg sec), les sédiments (de 326 à 489 Bq/kg sec), les mousses aquatiques (de 168 à 316 Bq/kg sec) et les poissons (de 91,0 à 112 Bq/kg frais).

Le **béryllium 7** est présent de manière systématique dans les sédiments (de 3,4 à 104,0 Bq/kg sec) et les végétaux aquatiques (de 48,3 à 1 240 Bq/kg sec).

³⁶ Poissons entiers

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité d'origine naturelle sont stables dans l'environnement aquatique au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75 par rapport à l'état de référence initial.

6.1.6.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Parmi les radionucléides émetteurs (γ) d'origine artificielle recherchés sur la période 2014-2023, le **césium 137** est le principal radionucléide détecté dans l'environnement aquatique au voisinage du site. Les activités mesurées sont comparables en amont et en aval de l'INB n°75 et du projet du Technocentre dans les mousses aquatiques et les poissons (cf. [Figure 6.m](#) et [Figure 6.n](#)). Dans les sédiments, et dans une moindre mesure dans les phanérogames immergées, les niveaux d'activité mesurés sont régulièrement supérieurs à l'aval par rapport à l'amont. Ce radionucléide trouve son origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl, et dans une moindre mesure dans les rejets liquides des centrales nucléaires suisses et de l'INB n°75.

Du **cobalt 58** est mis en évidence ponctuellement dans un échantillon de phanérogames immergées prélevées à l'amont en 2016 ($0,51 \pm 0,22$ Bq/kg sec) et deux échantillons de mousses aquatiques prélevées à l'aval en 2015 (de $0,70$ à $1,10$ Bq/kg sec). Ces valeurs, proches des seuils de décision analytiques, sont liées aux rejets des installations nucléaires situées à l'amont, ainsi qu'aux rejets de l'INB n°75 pour les valeurs mesurées à l'aval.

Du **cobalt 60** est mesuré de manière sporadique dans les sédiments prélevés à l'aval en 2014 et 2017, ainsi que de manière régulière dans les phanérogames immergées et les mousses aquatiques, aussi bien à l'amont qu'à l'aval du site (cf. [Figure 6.o](#)). Les valeurs de mesure, tantôt supérieures à l'amont ou à l'aval selon les années, sont liées aux rejets des installations nucléaires situées à l'amont, auxquels se superposent les rejets de l'INB n°75 pour les valeurs mesurées à l'aval.

De l'**argent 110 métastable** est détecté ponctuellement à l'aval dans un échantillon de mousses aquatiques prélevées en 2014 ($0,38 \pm 0,19$ Bq/kg sec) et un échantillon de phanérogames immergées prélevées en 2019 ($0,23 \pm 0,13$ Bq/kg sec), en lien avec les rejets de l'INB n°75. Les activités mesurées en aval sont inférieures aux seuils de décision analytiques à l'amont ; cependant, une contribution des rejets liquides des installations nucléaires situées à l'amont ne peut être totalement exclue.

Enfin, l'**iode 131** est recherché annuellement dans les phanérogames immergées sur la période considérée (à l'exception de 2020), ainsi qu'en 2019 dans les mousses aquatiques. Les niveaux d'activité mesurés (cf. [Figure 6.p](#)), tantôt supérieurs à l'amont ou à l'aval dans les phanérogames selon les années, témoignent d'une origine exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche) de ce radionucléide, sans qu'une contribution de l'INB n°75 ne puisse être exclue.

Les niveaux d'activités des autres radionucléides du spectre de rejets sont inférieurs aux seuils de décision analytiques.

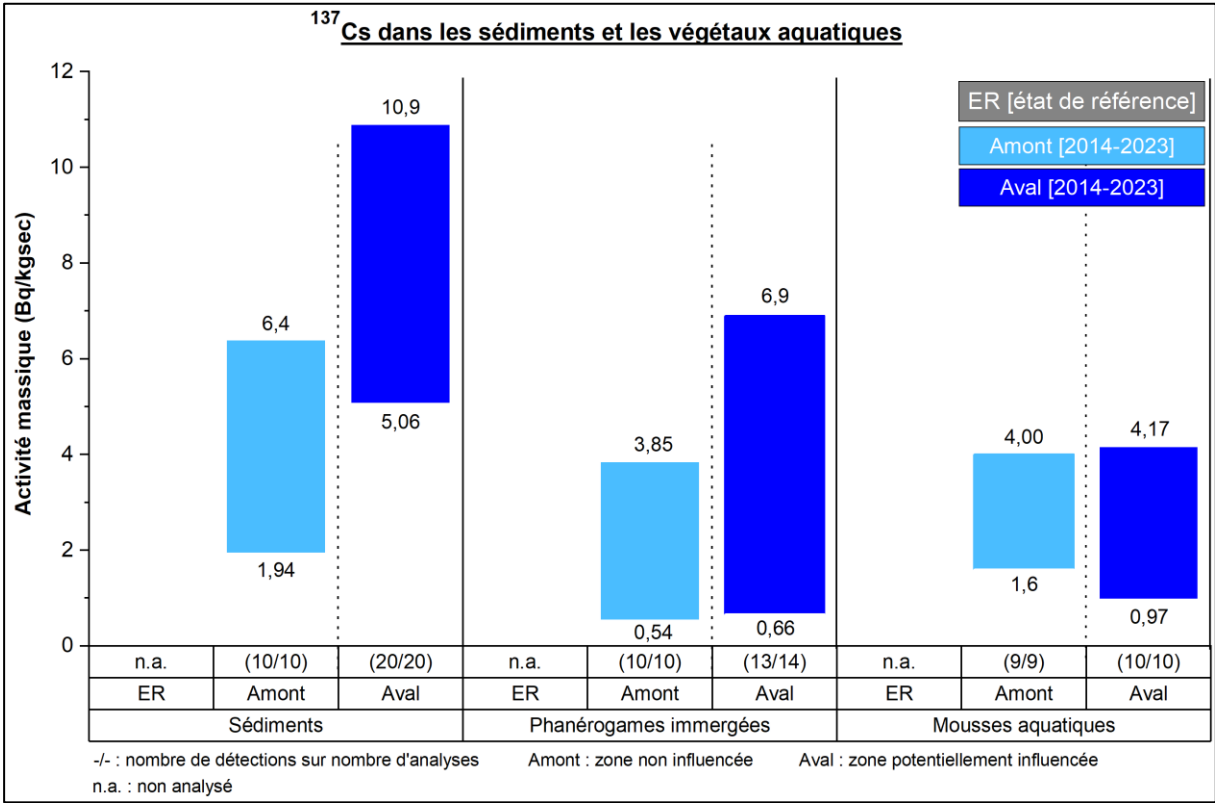


Figure 6.m : Activités massiques du césium 137 dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site

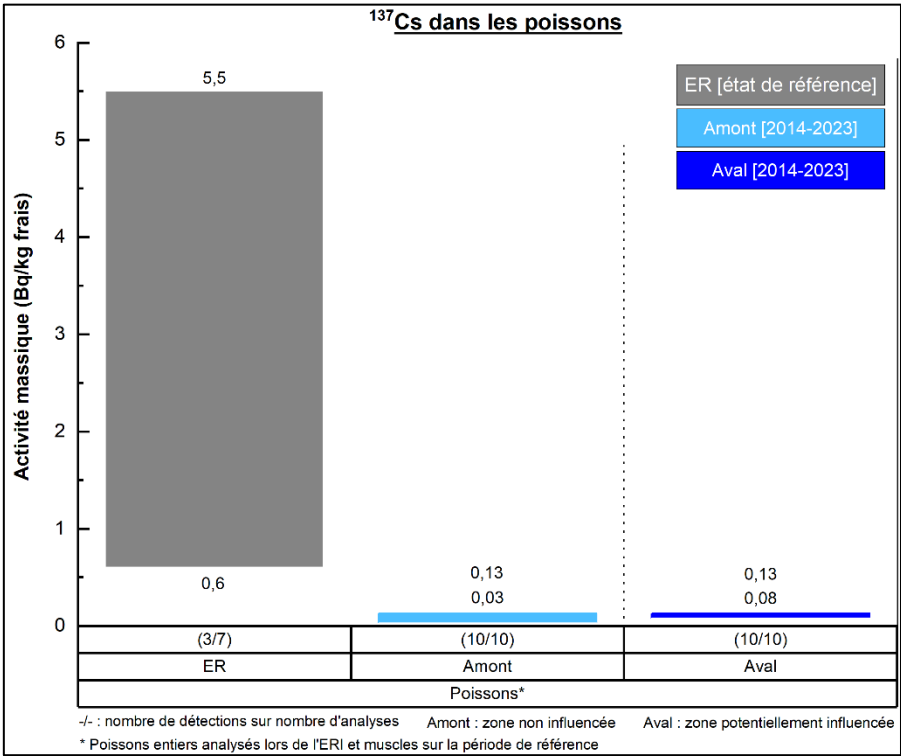


Figure 6.n : Activités massiques du césium 137 dans les poissons prélevés en amont et en aval du site

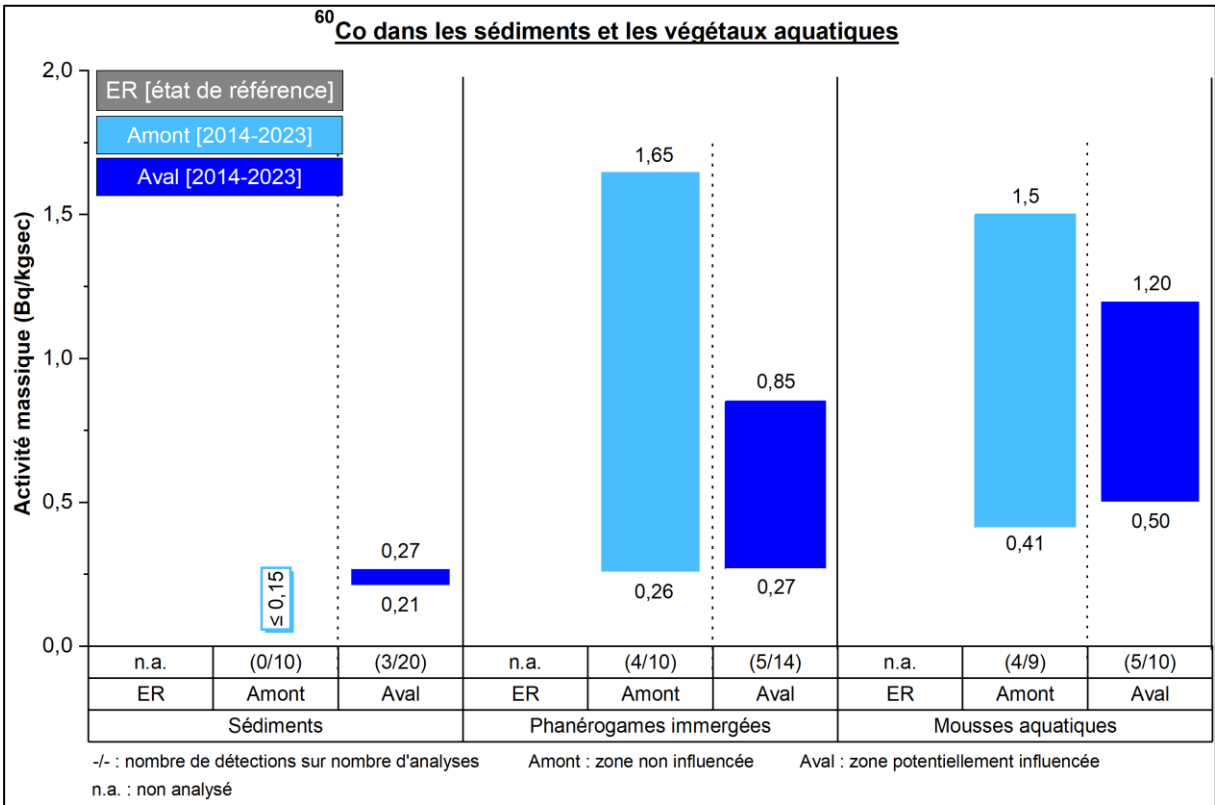


Figure 6.o : Activités massiques du cobalt 60 dans les sédiments et les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site

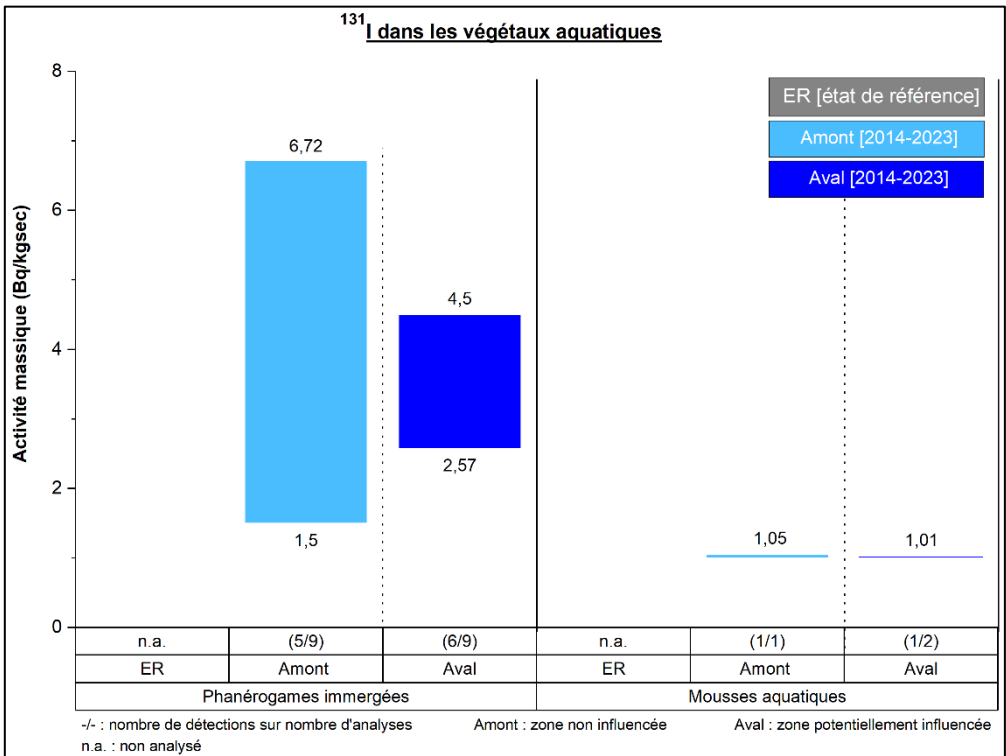


Figure 6.p : Activités massiques de l'iode 131 dans les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du site

Il ressort de cette analyse que les radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine artificielle présents dans l'environnement au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75 sont principalement dus au césium 137. Ce radionucléide trouve son origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl, et dans une moindre mesure dans les rejets liquides de l'INB n°75.

La présence dans l'environnement aquatique de cobalt 60, et plus ponctuellement de cobalt 58 et d'argent 110 métastable est attribuable aux rejets d'effluents liquides de l'INB n°75 et des installations suisses localisées en amont. Enfin, la présence d'iode 131, à des niveaux d'activité supérieurs à l'amont ou à l'aval du projet du Technocentre et de l'INB n°75 selon les années, a principalement une origine exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche), sans qu'une contribution de l'INB n°75 ne puisse être exclue.

6.1.6.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Les principaux radionucléides émetteurs bêta (tritium libre et organiquement lié, carbone 14 et strontium 90) sont recherchés dans la majorité des matrices. Le nickel 63 et le fer 55 sont recherchés dans certaines matrices de l'environnement aquatique.

6.1.6.2.2.1. Tritium

Les [Figure 6.g](#) et [Figure 6.r](#) présentent respectivement les activités volumiques en **tritium libre (HTO)** et en **tritium organiquement lié (TOL)** mesurées dans les matrices de l'environnement aquatique de 2014 à 2023.

Les activités en **tritium libre (HTO)**, mesurées sur la période 2014-2023, sont comparées avec le bruit de fond ambiant mesuré hors influence industrielle (eau de pluie en milieu continental et eau de cours d'eau entre 2014 et 2023 : de 0,3 à 2 Bq/L³⁷).

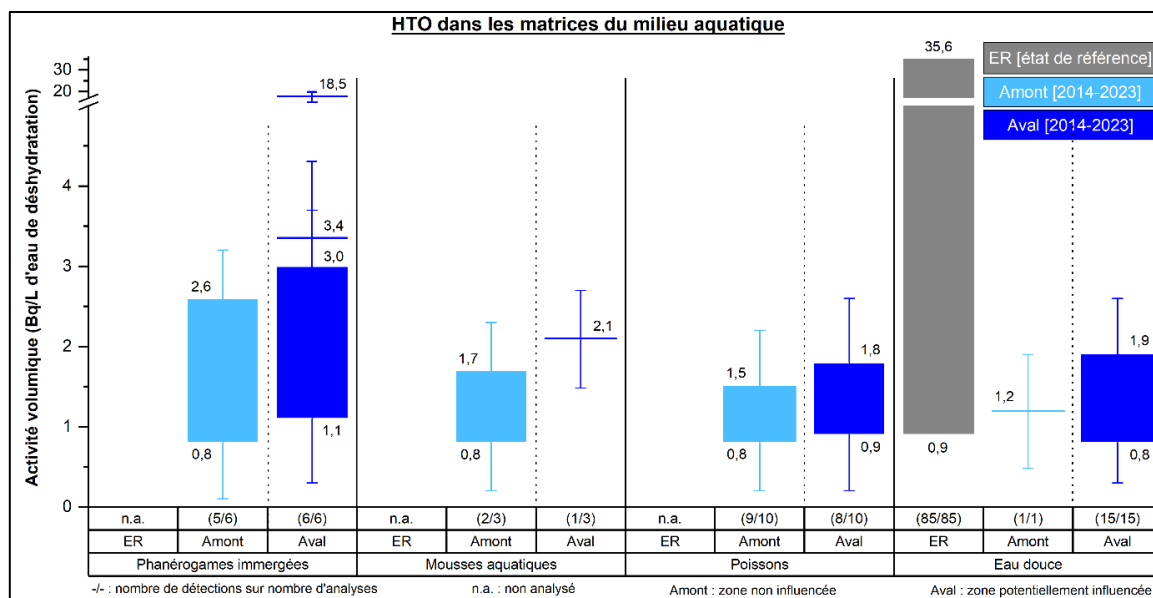


Figure 6.q : Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site

La [Figure 6.g](#) montre qu'à l'exception de valeurs ponctuelles plus élevées mesurées dans les phanérogames prélevées à l'aval du site, tous les niveaux d'activités en **tritium libre (HTO)** mesurés sur la période 2014-2023 sont comparables entre l'amont et l'aval du projet du Technocentre et de l'INB

³⁷ IRSN, Décembre 2024. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2021 à 2023. Rapport 2024-00600, 340 p.

n°75, et conformes au bruit de fond ambiant mesuré hors influence industrielle pour l'ensemble des matrices prélevées. La détection de HTO dans les matrices aquatiques dépend fortement de la concomitance des rejets et des prélèvements en raison de la dilution et du transfert rapide du tritium libre au sein du milieu récepteur.

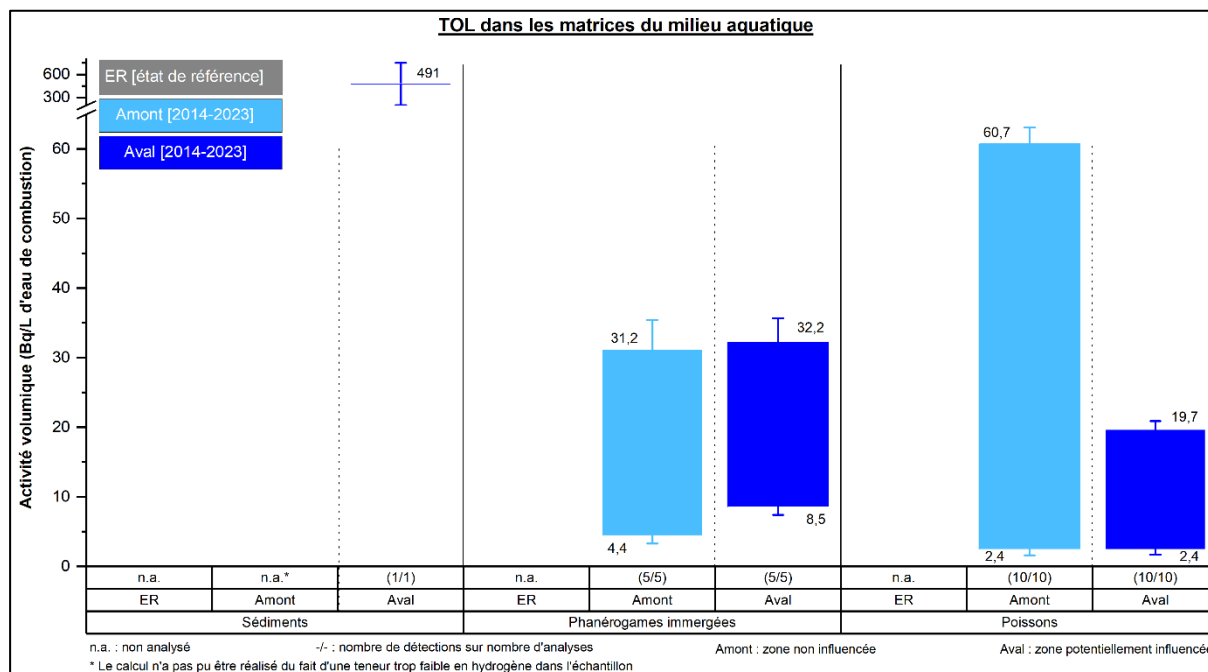


Figure 6.r : Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site

La Figure 6.r montre que les activités mesurées en tritium organiquement lié (TOL) dans les sédiments, les phanérogames immergées et les poissons, à l'amont comme à l'aval, sont quasi-systématiquement supérieures au bruit de fond ambiant mesuré hors influence industrielle. Dans les sédiments, la valeur élevée à l'aval (valeur non exploitable à l'amont), est cohérente avec les valeurs mesurées dans le passé au voisinage du site (de 149 à 12 500 Bq/L d'eau de combustion en 2009) ; ces résultats soulignent l'existence d'un bruit de fond élevé lié aux rejets tritiés effectués par les industries chimiques utilisant le tritium dans la composition des peintures luminescentes. Ce bruit de fond est donc lié à la possible remobilisation de sédiments anciennement marqués par les résidus des industries horlogères implantées dans le bassin versant du Rhin³⁸. Dans les phanérogames et les poissons, ces niveaux d'activités ponctuellement plus élevés, à l'amont comme à l'aval du site, traduisent également, mais de manière moins significative, l'influence des rémanences des rejets de l'industrie horlogère. Néanmoins, on ne peut exclure une influence des rejets liquides de l'INB n°75 pour certaines valeurs supérieures à l'aval.

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'activité mesurés dans l'environnement aquatique en tritium libre (HTO) sont globalement conformes au bruit de fond hors influence industrielle. Les valeurs mesurées en tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices aquatiques prélevées, et plus particulièrement dans les sédiments, trouvent leur origine dans les rejets liés à l'industrie horlogère implantée par le passé dans le bassin versant du Rhin. L'influence des rejets liquides de l'INB n°75 ne peut cependant être exclue pour certaines valeurs ponctuellement plus élevées à l'aval dans les phanérogames (HTO et TOL) et les poissons (TOL).

³⁸ Gontier G. et Siclet F. 2011. Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce : évolution à long terme dans l'environnement des Centres Nucléaires de Production d'Électricité français. Radioprotection, Vol. 46, n°4 : 457-491.

6.1.6.2.2.2. Carbone 14

La [Figure 6.s](#) présente les activités spécifiques en **carbone 14** mesurées dans les matrices de l'environnement aquatique de 2014 à 2023.

Les activités spécifiques en **carbone 14** mesurées sont comparées avec les niveaux hors influence observés en milieu fluvial, aux alentours de 200-220 Bq/kg de carbone³⁹.

Les niveaux d'activités en carbone 14 mesurés, à l'amont comme à l'aval, dans les différentes matrices de l'environnement aquatique sont conformes au bruit de fond hors influence industrielle, et comparables entre l'amont et l'aval, à l'exception d'une valeur ponctuelle plus élevée mesurée dans les phanérogames prélevées à l'aval en 2019 et de mesures régulièrement supérieures mesurées dans les poissons prélevés à l'aval. Ces valeurs plus élevées à l'aval dans les poissons, et dans une moindre mesure les phanérogames, témoignent d'une influence des rejets d'effluents liquides de l'INB n°75.

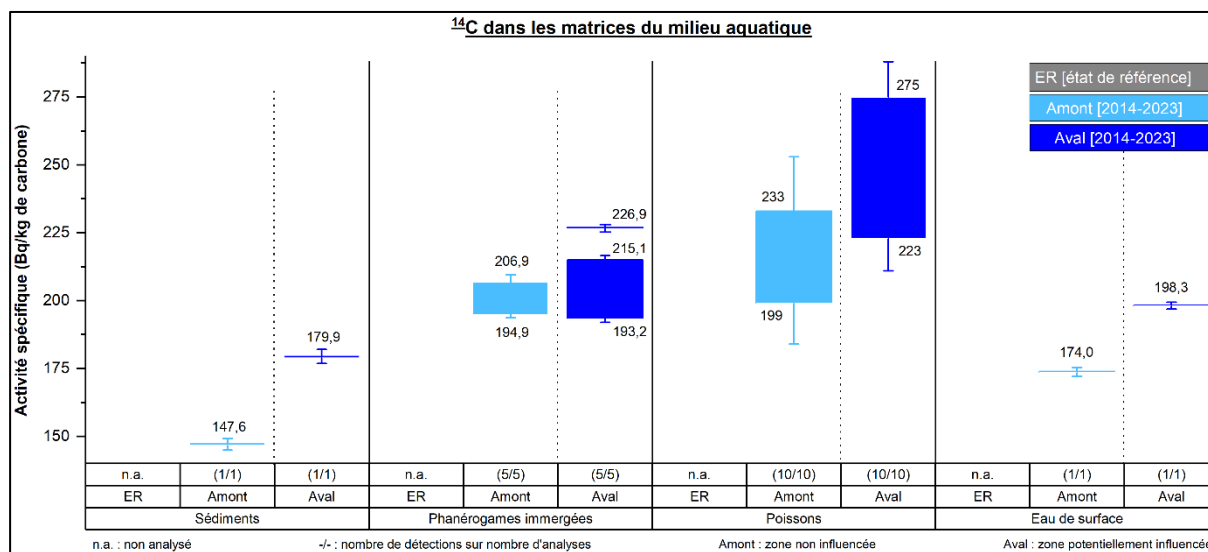


Figure 6.s : Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées en amont et en aval du site

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'activité mesurés en carbone 14 dans l'environnement aquatique au voisinage de l'INB n°75 et du projet du Technocentre, dans les phanérogames en 2019 et de manière régulière sur la période 2014-2023 dans les poissons, sont liés aux rejets d'effluents liquides de l'INB n°75.

6.1.6.2.2.3. Strontium 90

Le **strontium 90**, non présent dans le spectre de référence des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'INB n°75, est recherché pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche du site.

Lors du bilan décennal de 2019, le **strontium 90** est recherché dans les sédiments, prélevés à l'amont et à l'aval du site. Il est détecté dans cette matrice, à des niveaux d'activité comparables entre l'amont ($0,52 \pm 0,18$ Bq/kg sec) et l'aval du site ($0,74 \pm 0,18$ Bq/kg sec).

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité du strontium 90, mesurés dans l'environnement aquatique au voisinage du projet du Technocentre de de l'INB n°75, sont cohérents avec les valeurs attendues pour une zone soumise uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens⁴⁰.

³⁹ IRSN, Novembre 2021. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Rapport 2021-00765, 403 p.

⁴⁰ IRSN, Mars 2022. Le bruit de fond des radionucléides artificiels dans l'environnement français métropolitain. Bilan des constats radiologiques régionaux. Rapport IRSN/DG 2022-00131, 152 p.

6.1.6.2.2.4. Nickel 63

La recherche de **nickel 63**, présent dans le spectre de référence des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'INB n°75, est réalisée dans les sédiments, les phanérogames immergées et les poissons. Dans les phanérogames immergées, le **nickel 63** est détecté en 2018 et 2023, à des niveaux d'activité comparables entre l'amont (de 0,11 à 0,18 Bq/kg sec) et l'aval (de 0,12 à 0,21 Bq/kg sec). Dans les sédiments et les poissons, les niveaux d'activité sont inférieurs aux seuils de décision analytiques ($\leq 0,13$ Bq/kg sec et $\leq 0,0060$ Bq/kg frais, respectivement).

Il ressort de cette analyse que la présence du nickel 63, mesuré à des niveaux d'activité comparables entre l'amont et l'aval du site dans les phanérogames immergées, est liée aux rejets d'effluents liquides des installations suisses localisées en amont. Une contribution des rejets de l'INB n°75 ne peut néanmoins être exclue.

6.1.6.2.2.5. Fer 55

La recherche de **fer 55**, non présent dans le spectre de référence des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'INB n°75, est réalisée dans les sédiments, les phanérogames immergées et les poissons, à l'amont comme à l'aval, pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche du site. Toutes les activités mesurées sont inférieures aux seuils de décision analytiques (≤ 14 Bq/kg sec dans les sédiments et les phanérogames et $\leq 1,5$ Bq/kg frais dans les poissons).

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'activité en fer 55 sont inférieurs aux seuils de décision analytiques.

6.1.6.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

La recherche de radionucléides émetteurs alpha, non présents dans le spectre de référence des rejets de l'INB n°75, est réalisée à une fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche, ces radionucléides étant susceptibles d'être présents dans l'environnement du fait des essais nucléaires aériens.

Lors du bilan décennal de 2019, les **radionucléides émetteurs alpha** (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) sont recherchés dans les sédiments en amont et en aval du site.

Lorsqu'ils sont exploitables, les rapports d'activité ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) et ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$), permettent de préciser l'origine de ces radionucléides. Compris dans les sédiments entre $0,0247 \pm 0,0087$ et $0,0287 \pm 0,0061$ pour le rapport ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) et entre $0,409 \pm 0,047$ et $0,431 \pm 0,037$ pour le rapport ($^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$), ces rapports correspondent aux rapports isotopiques caractéristiques des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens réalisés entre 1945 et 1980, dont les valeurs de référence sont respectivement 0,03 et 0,4 (cf. [Paragraphe 6.1.2.2.1](#)).

Absents des rejets des effluents liquides de l'INB n°75, il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs alpha mesurés dans l'environnement aquatique du projet du Technocentre et de l'INB n°75 trouvent leur origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

6.1.7. SYNTHÈSE DES ENJEUX SUR L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

Les principales conclusions de cette analyse pour la période 2014-2023 sont les suivantes :

- La radioactivité présente dans l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75 est majoritairement d'origine naturelle et est essentiellement due au potassium 40 et au béryllium 7. Les niveaux de radioactivité d'origine naturelle sont stables dans l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du site par rapport à l'état de référence initial (ou « point zéro »).
- Dans l'environnement terrestre au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75, la radioactivité d'origine artificielle provient majoritairement des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl. Ces événements sont à l'origine de la détection au cours de la période 2014-2023 du césium 137 et, uniquement pour les essais nucléaires aériens, de strontium 90 et de radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238, plutonium 239 et 240 et américium 241). Le tritium et le carbone 14 sont produits par voie naturelle et font également partie des radionucléides présents dans les rejets d'effluents de l'INB n°75. À l'exception d'un marquage en tritium libre, tritium organiquement lié et en carbone 14 dans certains végétaux prélevés à proximité du site, aucune autre contribution des rejets d'effluents de l'INB n°75 aux activités mesurées dans l'environnement terrestre au voisinage du site n'est mise en évidence.
- Dans l'environnement aquatique au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75, la radioactivité gamma d'origine artificielle est principalement due au césium 137 qui trouve son origine dans les retombées globales anciennes (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl), auxquelles se superpose dans une moindre mesure, l'influence des rejets liquides réalisés par l'INB n°75. Le strontium 90, le tritium libre, le carbone 14 et les radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238, plutonium 239 et 240 et américium 241), détectés dans l'environnement aquatique, proviennent également des retombées anciennes des essais nucléaires aériens. Une influence des rejets d'effluents liquides de l'INB n°75 est néanmoins mise en évidence par des valeurs plus élevées à l'aval en tritium libre (dans les phanérogames), ainsi qu'en tritium organiquement lié et carbone 14 (dans les phanérogames et les poissons). Les niveaux d'activités mesurés en tritium organiquement lié dans toutes les matrices aquatiques peuvent avoir une double origine : les rejets passés des industries horlogères situées en amont, associés aux rejets d'effluents liquides de l'INB n°75. La présence dans l'environnement aquatique de cobalt 60, et plus ponctuellement de cobalt 58 et d'argent 110 métastable est attribuable aux rejets d'effluents liquides des installations suisses localisées en amont, auxquels se superposent les rejets liquides de l'INB n°75. L'iode 131, mesuré à des niveaux d'activité supérieurs à l'amont ou à l'aval du projet du Technocentre et de l'INB n°75 selon les années, a une origine exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche), sans exclure une contribution de l'INB n°75.

L'analyse des résultats de la surveillance radioécologique réalisée au voisinage du projet du Technocentre et de l'INB n°75, sur la période 2014-2023, permet ainsi de mettre en évidence la composante naturelle majoritaire de la radioactivité, à laquelle s'ajoute une composante artificielle liée aux contributions respectives des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl, ainsi que celle liée aux rejets d'effluents atmosphériques et liquides de l'INB n°75 et des sites situés en amont sur le Rhin (installations nucléaires suisses, ainsi que les rejets passés des industries horlogères).