

PIÈCE 7

ÉTUDE D'IMPACT

- Chapitre 6 - Radioécologie

PLACE DU CHAPITRE DANS L'ÉTUDE D'IMPACT

Résumé non technique

Sommaire général

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

Chapitre 2 – Description du projet

Chapitre 3 – Air et facteurs climatiques

Chapitre 4 – Eaux de surface

Chapitre 5 – Sol 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 – Conclusion de l'étude d'impact

Chapitre 14 – Auteurs de l'étude d'impact

>> ANNEXES : voir le classeur spécifique.

SOMMAIRE

PRESENTATION DU CHAPITRE 6	9
6.1. SCENARIO DE REFERENCE	11
6.1.1. ORIGINES DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT	15
6.1.1.1. Origine naturelle.....	15
6.1.1.2. Origine artificielle	15
6.1.1.2.1. <i>Retombées des essais nucléaires aériens</i>	15
6.1.1.2.2. <i>Retombées de l'accident de Tchernobyl</i>	16
6.1.1.2.3. <i>Retombées de l'accident de Fukushima</i>	16
6.1.1.2.4. <i>Autres sources</i>	17
6.1.1.3. Radionucléides ayant une double origine.....	17
6.1.1.3.1. <i>Tritium</i>	18
6.1.1.3.2. <i>Carbone 14</i>	19
6.1.2. ETAT RADIOLOGIQUE AU SEIN DU PERIMETRE DE L'INB N°75 ET SON PROCHE VOISINAGE	20
6.1.3. HISTORIQUE DES ETUDES RADIOECOLOGIQUES	21
6.1.4. ETAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE	24
6.1.4.1. Synthèse des principales études radiologiques réalisées dans l'environnement terrestre du CNPE avant 2008.....	26
6.1.4.1.1. <i>Etat de référence initial (ou point zéro) radioécologique (1973 -1976)</i>	26
6.1.4.1.2. <i>Première période (1986-1997)</i>	26
6.1.4.1.3. <i>Deuxième période (1998-2007)</i>	27
6.1.4.2. Analyse de l'état radiologique actuel de l'environnement terrestre du CNPE (2008-2017)	28
6.1.4.2.1. <i>Radionucléides émetteurs gamma</i>	28
6.1.4.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle	28
6.1.4.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle	29
6.1.4.2.2. <i>Radionucléides émetteurs bêta</i>	31
6.1.4.2.2.1. Tritium.....	31
6.1.4.2.2.2. Carbone 14	33
6.1.4.2.2.3. Strontium 90	34
6.1.4.2.2.4. Nickel 63.....	35
6.1.4.2.3. <i>Radionucléides émetteurs alpha</i>	35
6.1.4.3. Bilan de l'état radiologique de l'environnement terrestre.....	35
6.1.5. ETAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE	36
6.1.5.1. Synthèse des principales études radiologiques réalisées dans l'environnement aquatique du CNPE avant 2008	38
6.1.5.1.1. <i>Etat de référence initial (ou point zéro) radioécologique (1973-1976)</i>	38
6.1.5.1.2. <i>Première période (1987-1997)</i>	38
6.1.5.1.3. <i>Deuxième période (1998-2007)</i>	39
6.1.5.2. Analyse de l'état radiologique actuel de l'environnement aquatique du CNPE (2008-2017)	40

6.1.5.2.1. Radionucléides émetteurs gamma.....	40
6.1.5.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle	40
6.1.5.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle	40
6.1.5.2.2. Radionucléides émetteurs bêta.....	44
6.1.5.2.2.1. Tritium.....	44
6.1.5.2.2.2. Carbone 14.....	46
6.1.5.2.2.3. Strontium 90	47
6.1.5.2.2.4. Nickel 63.....	48
6.1.5.2.2.1. Fer 55	48
6.1.5.2.3. Radionucléides émetteurs alpha.....	48
6.1.5.3. Bilan de l'état radiologique de l'environnement aquatique	49
6.1.6. SYNTHÈSE DES ENJEUX SUR L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT	50
6.2. ANALYSE DES INCIDENCES	51
6.2.1. ÉVALUATION RETROSPECTIVE SUR LA BASE DES MESURES EFFECTUÉES DANS L'ENVIRONNEMENT	51
6.2.2. ÉVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL	52
6.2.2.1. Evaluation prospective du risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère.....	52
6.2.2.1.1. Définition des voies d'exposition et des organismes de référence pour l'écosystème terrestre	52
6.2.2.1.2. Détermination des points d'intérêt retenus.....	53
6.2.2.1.3. Évaluation des activités dans l'air et dans les sols	56
6.2.2.1.5. Évaluation des débits de dose et du risque environnemental sur l'environnement terrestre.....	57
6.2.2.2. Evaluation prospective du risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs liquides	58
6.2.2.2.1. Définition des voies d'exposition et des organismes de référence pour l'écosystème aquatique continental	58
6.2.2.2.2. Détermination des points d'intérêt retenus.....	59
6.2.2.2.3. Évaluation des activités dans l'eau et les sédiments	60
6.2.2.2.4. Évaluation des débits de dose et du risque environnemental sur l'environnement aquatique continental.....	61
6.3. SURVEILLANCE	63
6.3.1. SURVEILLANCE DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS A L'ATMOSPHÈRE	63
6.3.1.1. Surveillance des rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère par la cheminée du BAN puis par les cheminées des unités de ventilation modulaire.....	63
6.3.1.1.1. Description des dispositifs de prélèvements	63
6.3.1.1.2. Nature des contrôles	64
6.3.1.1.3. Conditions de rejet.....	64
6.3.1.1.4. Évaluation des activités rejetées	64
6.3.1.1.4.1. Détermination du volume rejeté.....	64

6.3.1.1.4.2. Détermination de l'activité volumique.....	65
6.3.1.1.4.3. Mode de comptabilisation	65
6.3.1.1.5. Débits d'activité	67
6.3.1.1.6. Seuils de décision administratifs	67
6.3.1.3. Surveillance des autres rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère	68
6.3.1.3.1. Contrôles des locaux susceptibles d'être contaminés	68
6.3.1.3.2. Contrôles des rejets diffus.....	69
6.3.2. SURVEILLANCE DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES	69
6.3.2.1. Description des dispositifs de prélèvements	69
6.3.2.2. Nature des contrôles.....	69
6.3.2.3. Conditions de rejet.....	70
6.3.2.4. Evaluation des activités rejetées	71
6.3.2.4.1. Détermination de l'activité rejetée	71
6.3.2.4.2. Détermination de l'activité volumique.....	71
6.3.2.4.3. Mode de comptabilisation.....	71
6.3.2.5. Débits d'activité.....	72
6.3.2.6. Seuils de décision administratifs.....	72
6.3.3. SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT	73
6.3.3.1. Plan de surveillance radiologique	77
6.3.3.1.1. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment atmosphérique.....	77
6.3.3.1.1.1. Surveillance du rayonnement gamma ambiant.....	77
6.3.3.1.1.2. Surveillance de l'activité des poussières atmosphériques	79
6.3.3.1.1.3. Surveillance de l'activité du tritium dans l'air.....	80
6.3.3.1.1.4. Surveillance de l'activité des eaux de pluie.....	80
6.3.3.1.2. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment terrestre.....	81
6.3.3.1.2.1. Surveillance des eaux souterraines	81
6.3.3.1.2.2. Surveillance des végétaux terrestres et du lait	81
6.3.3.1.2.3. Surveillance des couches superficielles des terres et des productions agricoles.....	82
6.3.3.1.3. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment aquatique	82
6.3.3.1.3.1. Surveillance des eaux de surface	82
6.3.3.1.3.2. Surveillance des sédiments, des végétaux aquatiques et des poissons.....	83
6.3.3.1.4. Synthèse de la surveillance radiologique de l'environnement	84
6.3.3.2. Etudes radioécologiques	86
6.3.3.3. Surveillance effectuée par les autorités.....	86
6.4. MESURES D'EVITEMENT ET DE REDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES	88
6.5. DESCRIPTION DES METHODES UTILISEES	91
6.5.1. EVALUATION RETROSPECTIVE SUR LA BASE DES MESURES EFFECTUEES DANS L'ENVIRONNEMENT	91
6.5.1.1. Présentation de la méthodologie	91

6.5.1.2. Limites des moyens d'évaluation retrospective	91
6.5.2. EVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL	92
6.5.2.1. Présentation de la méthodologie	92
6.5.2.2. Hypothèses de calcul – Conservatismes	93
6.5.2.3. Limites des moyens d'évaluation prospective	95
6.6. CONCLUSION	96

TABLEAUX

Tableau 6.a	Symbole chimique, nom, type de transformation et période radioactive des principaux radionucléides cités dans le chapitre.....	14
Tableau 6.b	Organismes de référence de l'outil ERICA pour l'écosystème terrestre.....	53
Tableau 6.c	Coordonnées et Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) des points étudiés.....	55
Tableau 6.d	Activités volumiques des radionucléides dans l'air au point d'étude du site de Fessenheim.....	56
Tableau 6.e	Activités massiques des radionucléides dans le sol au point d'étude du site de Fessenheim.....	56
Tableau 6.f	Débits de dose et indices de risque calculés au point d'étude.....	57
Tableau 6.g	Organismes de référence de l'outil ERICA pour l'écosystème aquatique continental.....	59
Tableau 6.h	Activités volumiques et massiques des radionucléides dans l'eau et dans les sédiments à la distance de dilution complète du site de Fessenheim.....	60
Tableau 6.i	Débits de dose et indices de risque calculés à la distance de dilution complète.....	61
Tableau 6.j	Mode de comptabilisation des effluents radioactifs atmosphériques rejetés pendant le fonctionnement de la ventilation raccordée à la cheminée du BAN (ventilation DVN), pour chaque cheminée.....	66
Tableau 6.k	Mode de comptabilisation des effluents radioactifs atmosphériques rejetés après le basculement sur ventilations modulaires, pour chaque cheminée.....	66
Tableau 6.l	Performances analytiques (Seuils de Décision) minimales à atteindre pour la caractérisation des effluents radioactifs atmosphériques de l'INB n°75.....	67
Tableau 6.m	Mode de comptabilisation des effluents radioactifs liquides rejetés au rejet principal.....	71
Tableau 6.n	Performances analytiques (Seuils de Décision) minimales à atteindre pour la caractérisation des effluents radioactifs liquides de l'INB n°75.....	72
Tableau 6.o	Implantation des balises du « réseau clôture ».....	77
Tableau 6.p	Implantation des balises du « réseau 1 km ».....	78
Tableau 6.q	Implantation des balises du « réseau 5 km ».....	78
Tableau 6.r	Implantation des balises du « réseau 10 km ».....	79
Tableau 6.s	Implantation des stations d'aspiration des poussières atmosphériques.....	79
Tableau 6.t	Seuils de décision réglementaires des analyses radiologiques des aérosols sur filtre.....	80
Tableau 6.u	Seuils de décision réglementaires des mesures radiologiques des eaux de pluie.....	80
Tableau 6.v	Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les végétaux terrestres et le lait.....	81
Tableau 6.w	Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les couches superficielles des terres et productions agricoles.....	82
Tableau 6.x	Limites réglementaires pour les activités volumiques mesurées dans l'environnement aquatique (Bq/L).....	83
Tableau 6.y	Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les végétaux terrestres et le lait.....	84
Tableau 6.z	Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans l'atmosphère.....	84

Tableau 6.aa	Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans le compartiment terrestre	85
Tableau 6.bb	Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans le compartiment aquatique.....	85
Tableau 6.cc	Mesures d'évitements et/ou réduction des impacts pour les rejets radioactifs.....	89

FIGURES

Figure 6.a	Chronologie des principaux événements et études radiologiques réalisées dans l'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim	23
Figure 6.b	Rose des vents du CNPE de Fessenheim (période 2008-2017).....	24
Figure 6.c	Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement terrestre du CNPE de Fessenheim.....	25
Figure 6.d	Activités massiques en césium 137 dans les matrices solides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants.....	29
Figure 6.e	Activités volumiques en césium 137 dans les matrices liquides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants.....	30
Figure 6.f	Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants.....	31
Figure 6.g	Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants.....	32
Figure 6.h	Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement terrestre de 2008 à 2017.....	33
Figure 6.i	Activités spécifiques du carbone 14 (données annuelles et trimestrielles) dans les prairies et le lait de 2015 à 2017	34
Figure 6.j	Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement aquatique du CNPE de Fessenheim.....	37
Figure 6.k	Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	42
Figure 6.l	Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les phanérogames immergées prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	42
Figure 6.m	Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les mousses aquatiques prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	43
Figure 6.n	Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les poissons prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	43
Figure 6.o	Activités massiques de l'iode 131 dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	44
Figure 6.p	Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	45
Figure 6.q	Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	46
Figure 6.r	Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet.....	47

Figure 6.s	Localisation des points étudiés pour évaluer le risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du site sur l'environnement terrestre	54
Figure 6.t	Indices de risque calculés au point d'étude pour les organismes de référence de l'écosystème terrestre	58
Figure 6.u	Indices de risque calculés à la distance de dilution complète pour les organismes de référence de l'écosystème aquatique continental	62
Figure 6.v	Surveillance radiologique de l'environnement – compartiment atmosphérique : localisation des stations de prélèvement et de mesure à l'intérieur du périmètre de l'INB n°75 et son proche voisinage	75
Figure 6.w	Surveillance radiologique de l'environnement – compartiment atmosphérique : localisation des stations de prélèvement et de mesure dans l'environnement de l'INB n°75	76

P RESENTATION DU CHAPITRE 6

Ce chapitre a pour objectif d'étudier les interactions du projet de démantèlement de l'INB n°75 avec l'état radiologique de l'environnement du site de Fessenheim.

Le chapitre est organisé comme suit :

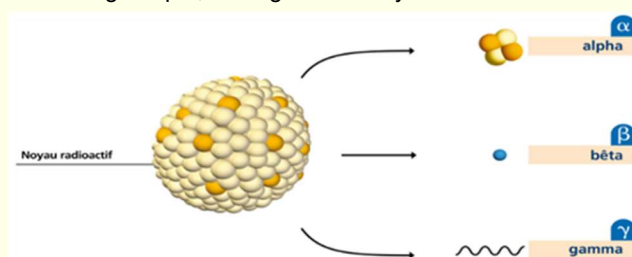
- [Paragraphe 6.1](#) : le scénario de référence de l'environnement ;
- [Paragraphe 6.2](#) : l'analyse des incidences du projet ;
- [Paragraphe 6.3](#) : les différents programmes de surveillance des rejets d'effluents radioactifs et de l'environnement terrestre et aquatique du site de Fessenheim ;
- [Paragraphe 6.4](#) : les mesures d'évitement et de réduction d'impact et les mesures compensatoires du démantèlement ;
- [Paragraphe 6.5](#) : une description des méthodes d'analyses des incidences utilisées.

↳ RADIOACTIVITE

Le phénomène de la radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau d'atome instable en un noyau plus stable avec libération d'énergie. Ce phénomène s'observe aussi bien sur des noyaux d'atomes présents naturellement (radioactivité d'origine naturelle) que sur des noyaux d'atomes issus de réactions nucléaires comme celles siégeant dans les réacteurs nucléaires (exemples : produits de fission ou d'activation (radioactivité artificielle)).

Cette transformation peut se traduire par différents types de rayonnement :

- rayonnement alpha = émission d'une particule composée de 2 protons et de 2 neutrons ;
- rayonnement bêta = émission d'un électron ;
- rayonnement gamma = électromagnétique, analogues aux rayons X.



↳ UNITES DE MESURE

Dans ce chapitre, deux unités de mesure sont utilisées :

- le becquerel (Bq) : unité qui sert à mesurer le nombre de transformations par seconde d'une source radioactive. Cette unité sert à définir le niveau d'activité d'un échantillon de matière radioactive. Un Becquerel équivaut à une désintégration par seconde.

L'activité des sources s'exprime le plus souvent en multiples du Becquerel : kilo (mille fois plus), méga (un million de fois plus), giga (un milliard de fois plus).

Par exemple, la radioactivité naturelle moyenne du corps humain (chez l'adulte) est égale à 8 000 becquerels (8 kBq), dont 4 500 sont dus au potassium 40 et 3 500 au carbone 14. L'activité d'une source radioactive est souvent rapportée à une masse (Bq/kg), un volume (Bq/L ou Bq/m³) ou encore une surface (Bq/m²).

- le gray (Gy) : la dose absorbée est une grandeur physique et correspond à l'énergie des rayonnements cédée à la matière exposée. Elle se mesure en Gray (Gy), et correspond à la quantité d'énergie transférée par unité de masse de la matière exposée.

1 Gray (Gy) = 1 Joule par kilogramme

6.1.

SCÉNARIO DE REFERENCE

Ce chapitre présente l'état radiologique de l'environnement au sein du périmètre de l'INB n°75 et son proche voisinage (Cf. [Paragraphe 6.1.2](#)), et l'état radiologique de l'environnement terrestre et aquatique de l'INB n°75 (Cf. [Paragraphe 6.1.4](#) et [Paragraphe 6.1.5](#)).

L'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim a fait l'objet d'études radioécologiques destinées d'une part à connaître la composition de la radioactivité des compartiments terrestre et aquatique, avant le démarrage de l'exploitation du CNPE (état de référence initial ou point zéro), et d'autre part à élaborer un plan de surveillance adapté aux caractéristiques environnementales et socio-économiques locales pendant la période d'exploitation.

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

- d'un plan de surveillance réglementaire effectué par le CNPE depuis sa mise en exploitation et actuellement conforme à la décision n°2016-DC-0551 de l'ASN¹ du 29 mars 2016 et la décision n°2013-DC-0360 du 16 juillet 2013 modifiée par la décision n°2016-DC-0569 du 29 septembre 2016 ;
- d'études radioécologiques ponctuelles, de suivis radioécologiques annuels et de bilans radioécologiques décennaux, confiés à l'IRSN² (anciennement IPSN³).

L'état radiologique à l'intérieur du périmètre de l'INB n°75 et son proche voisinage s'appuie sur les mesures réglementaires de surveillance de l'environnement destinées :

- à s'assurer du respect des valeurs limites fixées dans l'arrêté d'autorisation de rejets (fonction de contrôle). C'est notamment le cas pour l'activité bêta globale des aérosols atmosphériques et du tritium dans l'eau de surface, et dans l'air au niveau du sol (station 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 dans l'exposition de la population. Les analyses portent notamment sur le débit de dose gamma ambiant, l'eau de pluie, les eaux souterraines, l'herbe, le lait de vache, la couche superficielle des terres, les principales productions agricoles, les eaux de surface, les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons.

¹ Autorité de Sûreté Nucléaire.

² Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.

³ Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire.

Ces mesures réglementaires, réalisées en cohérence avec l'ensemble du parc nucléaire, et en accord avec l'ASN, sont réalisées à des fréquences relativement courtes et ont des seuils de décision analytiques cohérents avec l'objectif de surveillance court-terme.

↘ SEUIL DE DECISION (SD)

Le Réseau National de Mesures 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 tous les 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'ASN, 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 ASN n°2013-DC-0360, modifiée par la décision ASN n°2016-DC-0569. Ces valeurs seront nommées « seuils de décision réglementaires » par la suite.

L'état radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique de l'INB n°75 s'appuie sur des études radioécologiques annuelles et décennales avec des analyses dites « bas bruit de fond » permettant d'identifier des radionucléides présents à l'état de traces dans l'environnement. Réalisées dans un cadre d'expertise, des seuils de décision analytiques plus faibles que pour les analyses réglementaires sont atteints. Cela permet de caractériser finement les niveaux de radioactivité dans l'environnement et par la suite d'évaluer dans quelle mesure les rejets du site contribuent à l'apport de radionucléides dans l'environnement au regard des autres sources potentielles en présence.

L'exploitation des données radioécologiques pour établir l'état radiologique de l'environnement du site de Fessenheim 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 (essais nucléaires aériens, accidents nucléaires, rejets d'effluents radioactifs industriels, hospitaliers ou de laboratoires de recherche).

Les radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle (potassium 40, béryllium 7, etc.) et d'origine artificielle (césium 134 et 137, cobalt 58 et 60, argent 110 métastable, etc.), les radionucléides émetteurs bêta (tritium, carbone 14, strontium 90, nickel 63, etc.) ainsi que les radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) sont ainsi recherchés, bien qu'un certain nombre de ces radionucléides ne soient pas présents dans les rejets d'effluents radioactifs des CNPE en fonctionnement normal. Issus des retombées globales des essais nucléaires aériens, sans lien avec l'exploitation du CNPE, ils sont encore détectables dans l'environnement. Ces prélèvements et analyses sont réalisés selon une chronologie établie dans le cadre des états de référence initiaux, des suivis annuels et des bilans radioécologiques décennaux pour interpréter l'évolution des niveaux de radioactivité de l'environnement au regard des rejets de l'installation et des autres sources potentielles de radioactivité.

Le choix de la nature et des stations de prélèvements lors de ces études est effectué dans l'objectif 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 dans le temps, de façon à pouvoir comparer les résultats avec ceux obtenus lors des études précédentes.

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

- des bioindicateurs connus pour leurs aptitudes à retenir les éléments traces et pour 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 (eau, air) ;
- des matrices environnementales consommées par les animaux et/ou l'homme constituant des voies de transfert, directes ou indirectes (productions agricoles, lait, poissons).

Le choix de la nature des prélèvements vise à obtenir, dans la mesure du possible, une cohérence à l'échelle nationale, sans écarter les spécificités locales.

La localisation des stations de prélèvement a été choisie notamment en fonction de la rose des vents locale ou des conditions hydrologiques, de la répartition de la population et de la disponibilité des échantillons dans l'environnement proche. Ainsi :

- 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 rejets d'effluents à l'atmosphère) des zones hors vents dominants (zones non influencées par les rejets d'effluents à l'atmosphère) notées par la suite ZI ou ZNI ;
- dans l'environnement aquatique, les prélèvements sont réalisés en distinguant la partie amont (non influencée par les rejets d'effluents liquides) et la partie aval (potentiellement influencée par les rejets d'effluents liquides).

Il est à noter que pour l'ensemble des données utilisées, les laboratoires et toutes les étapes du prélèvement à l'analyse de l'échantillon se doivent d'être conformes à la norme NF EN ISO/CEI 17025 (relative aux exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais) ou à des dispositions équivalentes. Ces pratiques sont réalisées sous couvert des agréments au RNM⁴.

Pour mettre en évidence une éventuelle contribution des rejets autorisés du CNPE à l'apport de radioactivité dans l'environnement, les résultats acquis dans l'environnement terrestre ou aquatique sous influence potentielle des rejets du CNPE sont comparés à ceux acquis hors influence des rejets du CNPE et aux données obtenues lors de la réalisation du point zéro radioécologique du CNPE. Les différentes origines de la radioactivité mesurées dans l'environnement sont détaillées dans le [Paragraphe 6.1.1](#).

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

Afin de faciliter la compréhension de ce chapitre, le [Tableau 6.a](#) présente les caractéristiques des radionucléides cités (symbole de l'élément, nom, type de transformation radioactive, période radioactive⁵).

⁴ RNM : Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement, le RNM 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 portée par l'ASN avec l'appui de l'IRSN (réalisation des Essais Inter Laboratoires (EIL)).

⁵ « Nucléide 2000 », 2004, table informatique des radionucléides, Bureau National des Mesures et Laboratoire National Henri Becquerel, CEA.

		Radionucléide						Radionucléide			
		Symbole	Nom	Type de transformation	Période radioactive			Symbole	Nom	Type de transformation	Période radioactive
Période inférieure à 1 an		¹⁰⁶ Rh	Rhodium	β, γ, X	30,0 s	Période inférieure à 1 an		^{131m} Xe	Xénon	β, γ	12 j
		^{135m} Xe	Xénon	β, γ, X	15,3 min			²³⁴ Th	Thorium	β, γ, X	24 j
		⁴¹ Ar	Argon	β, γ, X	110 min			⁵¹ Cr	Chrome	γ	27,7 j
		¹³² I	Iode	β, γ, X	2,3 h			¹⁴¹ Ce	Cérium	β, γ, X	32,5 j
		⁸⁸ Kr	Krypton	β, γ, X	2,84 h			⁹⁵ Nb	Niobium	β, γ, X	35,0 j
		^{85m} Kr	Krypton	β, γ, X	4,48 h			¹⁰³ Ru	Ruthénium	β, γ, X	40 j
		²²⁸ Ac	Actinium	β, γ, X	6,15 h			¹²⁴ Sb	Antimoine	β, γ, X	60,2 j
		¹³⁵ I	Iode	β, γ, X	6,57 h			⁷ Be	Béryllium	β, γ	53,2 j
		²³⁴ Pa	Protactinium	β, γ, X	6,7 h			⁹⁵ Zr	Zirconium	β, γ, X	64 j
		¹³⁵ Xe	Xénon	β, γ, X	9,2 h			⁵⁸ Co	Cobalt	β, γ, X	71 j
		¹³³ I	Iode	β, γ, X	20,87 h			⁶⁵ Zn	Zinc	β, γ, X	244 j
		^{133m} Xe	Xénon	γ, X	2,2 j			^{110m} Ag	Argent	β, γ, X	250 j
		¹³³ Xe	Xénon	β, γ, X	5,27 j			¹⁴⁴ Ce	Cérium	β, γ, X	285 j
		¹³¹ I	Iode	β, γ, X	8 j			⁵⁴ Mn	Manganèse	β, γ, X	312 j
Période comprise entre 1 an et 100 ans		¹⁰⁶ Ru	Ruthénium	β	371,5 j	Période supérieure à 100 ans		²⁴¹ Am	Américium	α, γ	433 a
		¹³⁴ Cs	Césium	β, γ, X	2,1 a			^{108m} Ag	Argent	γ, X	438 a
		⁵⁵ Fe	Fer	γ, X	2,75 a			¹⁴ C	Carbone	β	5 700 a
		¹²⁵ Sb	Antimoine	β, γ, X	2,8 a			²⁴⁰ Pu	Plutonium	α, γ, X	6 600 a
		⁶⁰ Co	Cobalt	β, γ, X	5,3 a			²³⁹ Pu	Plutonium	α, γ, X	24 100 a
		⁸⁵ Kr	Krypton	β, γ, X	10,4 a			⁹⁹ Tc	Technétium	β, γ, X	2,11.10 ⁵ a
		³ H	Tritium	β	12,3 a			¹²⁹ I	Iode	β, γ, X	1,61.10 ⁷ a
		²¹⁰ Pb	Plomb	α, β, γ, X	22,3 a			⁴⁰ K	Potassium	β, γ, X	1,3.10 ⁹ a
		⁹⁰ Sr	Strontium	β	28,8 a			²³⁸ U	Uranium	α, γ, X	4,5.10 ⁹ a
		¹³⁷ Cs	Césium	β, γ, X	30,0 a			²³² Th	Thorium	α, γ, X	1,4.10 ¹⁰ a
		²³⁸ Pu	Plutonium	α, γ	88,0 a						
		⁶³ Ni	Nickel	β	98,7 a						

Tableau 6.a Symbole chimique, nom, type de transformation et période radioactive des principaux radionucléides cités dans le chapitre

6.1.1. ORIGINES DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT

6.1.1.1. ORIGINE NATURELLE

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

- une origine cosmique : représentée par les radionucléides issus de l'interaction de la matière avec les rayonnements (neutrons) cosmiques (^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{32}Si , ^{36}Cl , ^{22}Na , ^{32}P , etc.). La réaction la plus importante conduit à la formation de ^{14}C à partir de l'azote atmosphérique ;
- une origine tellurique : représentée par les radionucléides présents dans l'écorce terrestre depuis l'origine de la Terre. Un isotope radioactif du potassium (^{40}K) et les familles radioactives de ^{238}U , de ^{235}U et du ^{232}Th constituent la majeure partie de ce groupe.

6.1.1.2. ORIGINE ARTIFICIELLE

Un certain nombre de radionucléides « artificiels » sont détectés de manière plus ou moins homogène sur l'ensemble du territoire français. Ils proviennent des retombées atmosphériques des essais aériens nucléaires (de 1945 à 1980), des retombées des accidents nucléaires (Tchernobyl en 1986 et, dans une moindre mesure, Fukushima en 2011) ou bien des rejets réalisés dans le strict respect des limites autorisées d'INB⁶ comme les CNPE, les installations en déconstruction, les sites de fabrication et de retraitement du combustible, 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 recherche.

6.1.1.2.1. Retombées des essais nucléaires aériens

Les essais nucléaires aériens auxquels ont procédé les grandes puissances militaires (Etats-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 nucléaires aériens ont été effectués. L'essentiel de la puissance a été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962. A partir de 1961, les essais nucléaires aériens ont progressivement laissé place aux essais nucléaires souterrains, constituant une source de contamination moindre pour la biosphère. Le dernier essai aérien a eu lieu en Chine le 16 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 (strontium 90, césium 137, iode 131, etc.) et des produits d'activation (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, le carbone 14, le tritium et les transuraniens persistent toujours dans les matrices environnementales prélevées actuellement en France en raison de périodes radioactives beaucoup plus longues.

⁶ Installation Nucléaire de Base.

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 ($^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$) égal à 0,03 et ($^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$) égal à 0,4⁷. La comparaison des rapports établis à partir des activités mesurées dans l'environnement à ces valeurs caractéristiques permet de mettre en évidence un apport anthropique autre que les retombées des essais aériens.

6.1.1.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl est survenu le 26 avril 1986 en Ukraine sur un réacteur de type RBMK⁸. En raison des conditions météorologiques, le panache radioactif émis dans la troposphère s'est déplacé vers les pays nordiques, l'Europe Centrale et la Méditerranée. Il a survolé 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. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans l'environnement sur le territoire français parmi lesquels on trouve : le tellure 132, l'iode 131, le ruthénium 103, le ruthénium et rhodium 106, les césiums 134 et 137 et l'argent 110 métastable. A l'exception du césium 137, ces radionucléides présentent des périodes de décroissance courtes (de quelques secondes pour le rhodium 106 à 2 ans pour le césium 134). De ce fait, seul le césium 137 dont la période radioactive est de 30 ans, demeure actuellement détectable dans les matrices environnementales prélevées en France métropolitaine et contribue ainsi au bruit de fond radiologique anthropique.

Du fait de sa position géographique et des précipitations lors du passage du panache radioactif issu de l'accident de Tchernobyl, l'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim et plus généralement l'est de la France a été plus fortement impacté par les retombées radioactives comparativement à l'ouest de la France.

6.1.1.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima

L'accident de Fukushima est survenu le 11 mars 2011 au Japon sur des réacteurs de type REB (Réacteurs à Eau Bouillante). 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. 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 (iode 131, césium 134 et 137, tellure 132) mesurées en France ont été très faibles. Ces activités se situent à des niveaux 500 à plus de 1000 fois inférieurs à ceux mesurés en mai 1986 en France suite à l'accident de Tchernobyl⁹.

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.

⁸ Réacteur de grande puissance à tubes de force.

⁹ IRSN/DEI/2011-01, février 2012. 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.

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. Actuellement, seul le césium 137 peut être mesuré, néanmoins les activités sont trop faibles pour être discriminées par rapport aux activités préexistantes dans l'environnement du fait des retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl¹⁰.

6.1.1.2.4. Autres sources

En dehors des rejets du CNPE de Fessenheim et des sources précédemment citées (retombées des essais nucléaires aériens et des accidents nucléaires), les principales sources de radioactivité artificielle sont présentées ci-après. A l'échelle du bassin versant du Rhin, plusieurs établissements utilisent des produits radioactifs (établissements médicaux, industries de l'amont du cycle du combustible, sites de la Défense Nationale, établissements de recherche, etc.). L'environnement aquatique alsacien est aussi soumis à l'influence des rejets d'installations suisses sur le bassin versant amont du Rhin. Des usines de production électrique suisses sont implantées en amont sur le Rhin à Leibstadt (un REB¹¹) et sur son affluent, l'Aar, à Beznau (deux REP¹²) ainsi qu'à Mühleberg (un REB) et à Gosgen (un REP). Les rejets de tritium par l'industrie horlogère suisse contribuent aussi au marquage de l'environnement en amont du CNPE de Fessenheim.

6.1.1.3. RADIONUCLEIDES AYANT UNE DOUBLE ORIGINE

Le carbone 14 et le tritium 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 de même nature récoltés au même stade de développement, sous et hors vents dominants (sous et hors influence potentielle des rejets de l'installation nucléaire étudiée).

¹⁰ Masson O. et al., 2011. Tracking of airborne radionuclides from the damaged Fukushima Dai-Ichi nuclear reactors by european networks. Environ. Sci. Technol., 45 : 7670 - 7677.

¹¹ REB : Réacteur à Eau Bouillante.

¹² REP : Réacteur à Eau Pressurisée.

6.1.1.3.1. Tritium

Le tritium est produit naturellement par action des rayons (neutrons) cosmiques sur certains composants de l'air (azote, oxygène ou argon). L'inventaire permanent du tritium naturel est d'environ $1,3 \cdot 10^6$ TBq à l'échelle planétaire, avec une production annuelle de l'ordre de $7,2 \cdot 10^4$ TBq. Le bruit de fond qui en résulte, mesuré par l'activité volumique du tritium dans l'eau de pluie, est de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq/L.

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, et apporte ainsi une information rétrospective « intégrée » des activités en tritium assimilées sur plusieurs semaines à plusieurs années.

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 des activités en tritium dans les précipitations s'est faite de manière exponentielle. Du fait de la période radioactive relativement courte (12,3 ans) de ce radionucléide, il ne reste actuellement qu'environ $1,3 \cdot 10^7$ TBq de tritium répartis dans les océans (90 %) et les eaux continentales (10%). Sur la période de 2014 à 2016, les niveaux de tritium libre (HTO) dans les eaux de pluie en milieu continental ont varié entre $0,71 \pm 0,05$ et $1,4 \pm 0,1$ Bq/L en France.

Dans les autres matrices du milieu terrestre, les activités en tritium diminuent également depuis une quinzaine d'années. Les mesures de HTO et de TOL acquises de 2007 à 2012¹³, en France métropolitaine hors influence potentielle d'un rejet, pour des végétaux et des denrées (feuilles annuelles d'arbres, légumes, vins, viandes, laits) témoignent d'un bruit de fond moyen de $1,4 \pm 1,2$ Bq/L.

Dans le milieu aquatique continental, dans les eaux des cours d'eau, la gamme de valeurs entre 2014 et 2016¹⁴ en HTO est comprise entre $0,12 \pm 0,11$ et $0,86 \pm 0,15$ Bq/L en France. Néanmoins, des niveaux d'activité supérieurs à ce bruit de fond peuvent être rencontrés localement, à proximité d'installations autorisées à rejeter du tritium.

¹³ IRSN, juillet 2017. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 76 p.

¹⁴ IRSN, Novembre 2018. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport DG/2018-00006 351p.

6.1.1.3.2. 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. 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 (CO_2) dans l'atmosphère et carbonates dans l'eau) et sous forme organique suite à son assimilation dans 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 humaine, essentiellement dus aux essais nucléaires aériens pratiqués entre 1945 et 1980 ($\approx 2 \cdot 10^5$ TBq), ont augmenté l'activité atmosphérique. Ainsi, l'activité en carbone 14 dans l'atmosphère est passée de 226 Bq/kg de carbone au milieu du 19^{ème} siècle à un maximum de 400 Bq/kg de carbone dans les années 1960 suite aux essais nucléaires aériens. L'activité en carbone 14 dans l'atmosphère est en diminution depuis l'arrêt des essais nucléaires aériens.

En 2016, le niveau atmosphérique, de l'ordre de 230 Bq/kg de carbone¹⁵, continue à décroître en raison des phénomènes d'absorption par les eaux océaniques et de dilution par les émissions de carbone issues notamment de la combustion des combustibles fossiles. Dans l'environnement terrestre, l'activité spécifique en carbone 14 diminue au cours du temps¹⁶. Néanmoins, les mesures d'activité en carbone 14 effectuées sur de longues séries d'observation à proximité des CNPE français montrent une contribution locale et ponctuelle des rejets d'effluents atmosphériques.

En milieu aquatique, le carbone se répartit entre carbone organique (dissous et particulaire) et carbone minéral (CO_2 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 180 et 220 Bq.kg⁻¹ de carbone pour ce qui concerne l'eau (carbone minéral), les végétaux immergés et les poissons, ce qui représente une activité de l'ordre de 0,02 Bq.L⁻¹ d'eau douce et de 10 à 50 Bq.kg⁻¹ frais pour les végétaux immergés et les poissons.

¹⁵ IRSN, Novembre 2018. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport DG/2018-00006 351p.

¹⁶ Roussel-Debet S., 2014. Données utiles à l'interprétation des mesures de carbone 14 en milieu terrestre. Radioprotection, 49(1): 49 - 54.

6.1.2. ETAT RADIOLOGIQUE AU SEIN DU PERIMETRE DE L'INB N°75 ET SON PROCHE VOISINAGE

L'état radiologique au sein du périmètre de l'INB n°75 et son proche voisinage a été réalisé en s'appuyant sur les résultats des mesures réglementaires exportées sur le RNM et effectuées dans le cadre du contrôle et de la surveillance réglementaire du CNPE de Fessenheim. Ces mesures sont réalisées à des fréquences fixes relativement courtes et ont des seuils de décision cohérents avec l'objectif de surveillance, qui vise à détecter de manière précoce tout accroissement atypique de la radioactivité lié à l'exploitation des installations du CNPE. En conséquence, étant donné la fréquence des mesures et les performances analytiques associées, la période de référence retenue correspond à la période 2013 - 2017.

A noter que la prise en compte des données de surveillance de 2018 et de 2019 ne modifie pas l'ordre de grandeur des données présentées sur la période d'étude (2013-2017).

Les mesures portent sur :

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

Les stations et balises considérées sont situées au sein du périmètre de l'INB n°75 et de son proche voisinage. Leur localisation, ainsi que le détail des mesures réalisées et leur périodicité, sont présentés dans le [Paragraphe 6.3](#).

Concernant la mesure du débit de dose gamma ambiant, le débit de dose moyen mesuré à la station AS1¹⁷ sur la période 2013-2017 est de 88 nSv/h. Ces valeurs sont à mettre en regard du bruit de fond gamma ambiant moyen du département du Haut Rhin, évalué à 83 nSv/h (0,73 mSv/an) pour la même période.

L'activité bêta globale des poussières atmosphériques analysée à la station AS1 est inférieure en moyenne à 0,50 mBq/m³.

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 0,14 Bq/L et l'activité volumique du tritium à 4,9 Bq/L.

L'activité volumique bêta globale des eaux souterraines filtrées prélevées dans les piézomètres du CNPE est inférieure en moyenne annuelle à 0,38 Bq/L. La surveillance de ces eaux indique que les activités volumiques en tritium sont inférieures en moyenne à 5,4 Bq/L. Il est à noter que les recommandations de l'OMS sur les critères de potabilité de l'eau de boisson correspondent à une dose reçue du fait de la présence de tritium dans l'eau de boisson ne dépassant pas 0,1 mSv/an, dose pouvant être atteinte chez l'homme par la consommation quotidienne de 2 L d'eau où l'activité en tritium serait de 7 800 Bq/L (arrondi à 10 000 Bq/L par OMS). En France, la valeur de 100 Bq/L pour ce radionucléide dans les eaux de consommation humaine constitue la valeur du seuil d'investigation pour la recherche d'autres radionucléides artificiels.

¹⁷ La station AS1 est la station qui de par sa localisation (dans le secteur nord-est du CNPE) permet de rendre compte de l'influence des rejets d'effluents à l'atmosphère lors des conditions de dispersion correspondant à la direction principale de vent par temps sec et pluvieux.

6.1.3. HISTORIQUE DES ETUDES RADIOECOLOGIQUES

La chronologie des études réalisées autour du CNPE de Fessenheim est présentée sur la [Figure 6.a](#). Dans celle-ci apparaissent également les événements extérieurs (essais nucléaires aériens, accident de Tchernobyl et Fukushima) dont les retombées sont responsables d'un marquage de l'environnement proche du CNPE.

Un état de référence initial (ou point zéro) commandité par EDF a été réalisé dans l'environnement proche du CNPE entre 1973 et 1976 par l'IPSN 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 été réalisées sur des prélèvements de poissons dans le Grand Canal d'Alsace (GCA) à Fessenheim et dans le Rhin, par EDF et le Laboratoire Vétérinaire Départemental de Colmar.

Le CNPE de Fessenheim se compose de deux unités de production de 900 MWe de la filière des REP successivement couplées au réseau en 1977.

En octobre 1986, après l'accident de Tchernobyl et dans le cadre du programme RESSAC (REhabilitation des Sols et Surfaces après un ACcident), l'IPSN a effectué une étude sur les sols dans la région alsacienne¹⁸.

En 1989, soit 12 ans après le couplage au réseau des deux unités de production, un premier bilan radiologique décennal a été mené par l'exploitant. Ce bilan visait à évaluer de façon plus fine l'activité des radionucléides dans l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du CNPE. A l'occasion de la visite décennale, le Conseil Général du Haut-Rhin a chargé la Commission de Recherche et d'Informations Indépendantes sur la RADioactivité (CRII-RAD) en 1989 de réaliser une étude radiologique de l'environnement du CNPE de Fessenheim afin d'évaluer l'impact des effluents radioactifs liquides et atmosphériques rejetés par la centrale depuis son démarrage. Un deuxième bilan décennal a été réalisé en 1998 afin de rendre compte de l'évolution radiologique de l'environnement du CNPE de Fessenheim depuis le précédent bilan. Un troisième bilan décennal a été réalisé en 2009 afin de rendre compte de l'évolution radiologique de l'environnement du CNPE de Fessenheim depuis les deux précédents bilans.

A partir de 1992, des suivis radioécologiques annuels ont été réalisés par l'IPSN, devenu depuis 2002 IRSN, dans l'environnement proche du CNPE.

Les études utilisées pour établir l'état radiologique de l'environnement terrestre et aquatique au voisinage du CNPE ont été réalisées entre 1973 (état de référence initial) et 2017. Afin de décrire l'évolution de cet état radiologique, quatre périodes sont considérées :

- l'état de référence initial [1973-1976] ;
- la première période [1986-1997] prenant en compte les suivis radioécologiques annuels et le bilan décennal de 1989;
- la deuxième période [1998-2007] prenant en compte les suivis radioécologiques annuels et le bilan décennal de 1998 ;
- la troisième période [2008-2017] prenant en compte les suivis radioécologiques annuels et le bilan décennal de 2009.

Pour mettre en évidence une éventuelle contribution des rejets du CNPE à l'apport de radioactivité dans l'environnement, les résultats acquis sur la période 2008-2017 dans l'environnement terrestre et aquatique sous influence potentielle des rejets du CNPE sont comparés à ceux acquis hors influence.

¹⁸ Jouve A., 1990. Compte-rendu de la campagne de prélèvements de sols marqués par l'accident de Tchernobyl dans la région alsacienne. IPSN/SERE note RESSAC 13/90, Cadarache, 14 p.

Enfin, pour caractériser l'évolution spatio-temporelle de l'état radiologique de l'environnement au voisinage du CNPE, les résultats acquis sur la période 2008-2017 sont comparés à ceux acquis lors de l'état de référence du CNPE.

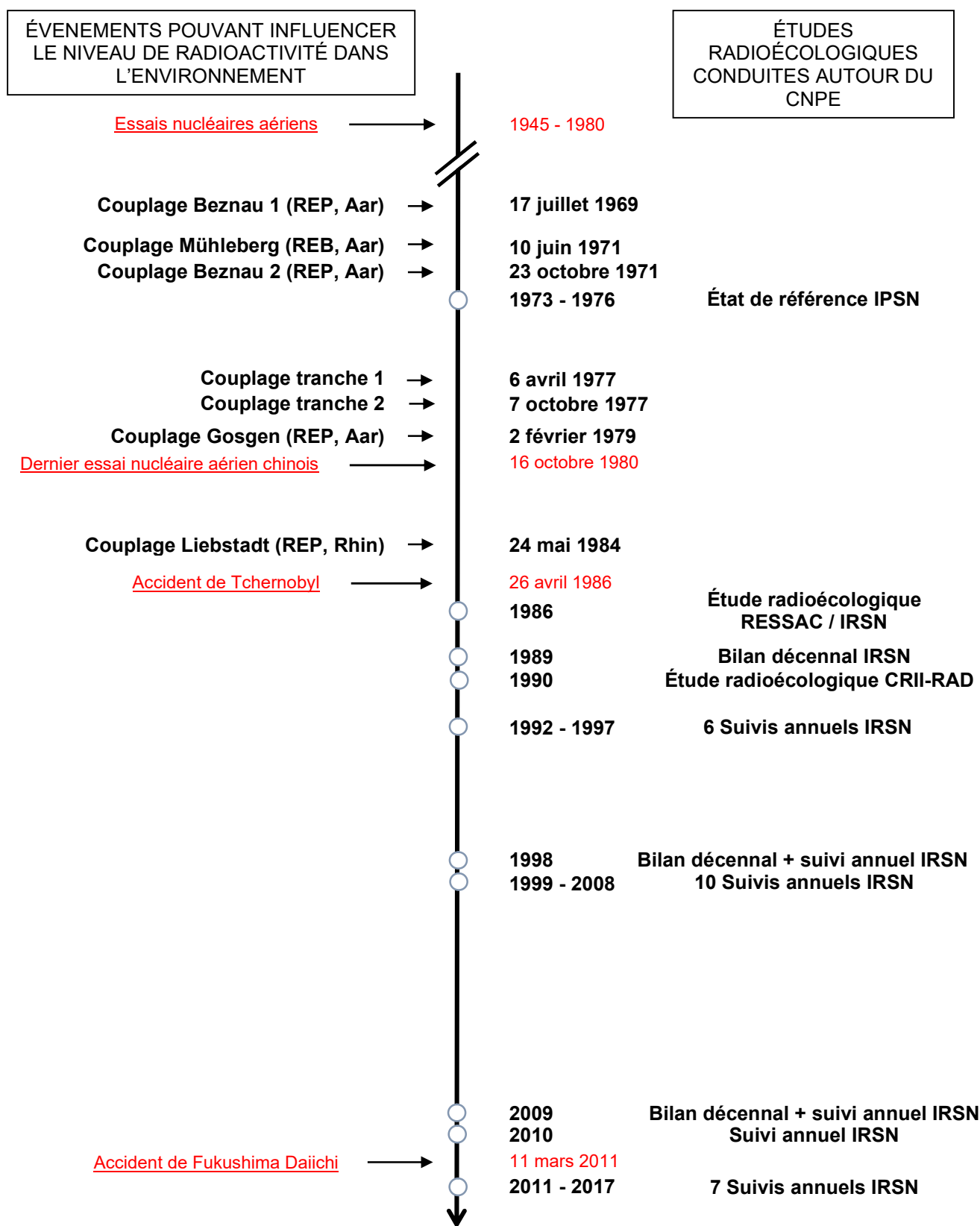


Figure 6.a Chronologie des principaux événements et études radiologiques réalisées dans l'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim

6.1.4. ETAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

Les études utilisées pour établir l'état radiologique actuel de l'environnement terrestre ont été réalisées entre 2008 et 2017. Elles portent sur une diversité d'échantillons et d'analyses radiologiques qui permettent une vision précise de l'état radiologique de l'environnement terrestre grâce à des mesures « bas bruit de fond » permettant la caractérisation des radionucléides à l'état de traces.

A noter que la prise en compte des données de surveillance de 2018 et de 2019 ne modifie pas les principales conclusions obtenues sur la période d'étude (2008-2017).

Afin de pouvoir apprécier l'influence potentielle des rejets atmosphériques d'effluents radioactifs émis par le CNPE de Fessenheim, les stations de prélèvements de l'environnement terrestre (Cf. [Figure 6.c](#)) sont choisies selon la rose des vents (Cf. [Figure 6.b](#)) jusque dans un rayon d'environ 25 km qui comprend :

- des communes situées dans les secteurs nord à nord-nord-est et dans les secteurs sud-sud-ouest sous les vents dominants de secteur sud-sud-ouest et proches du CNPE, en zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE de Fessenheim ;
- des communes situées dans les secteurs sud-ouest à nord-nord-ouest hors vents dominants, en zone non influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère.

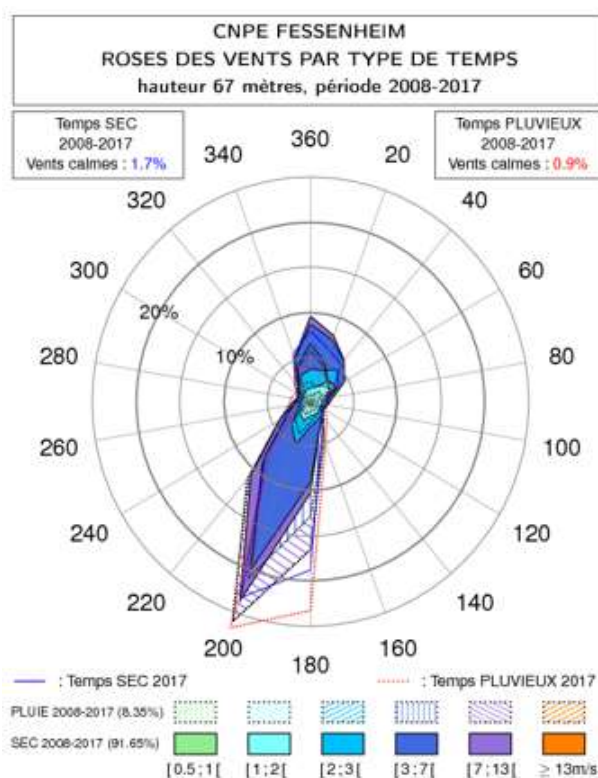


Figure 6.b Rose des vents du CNPE de Fessenheim (période 2008-2017)

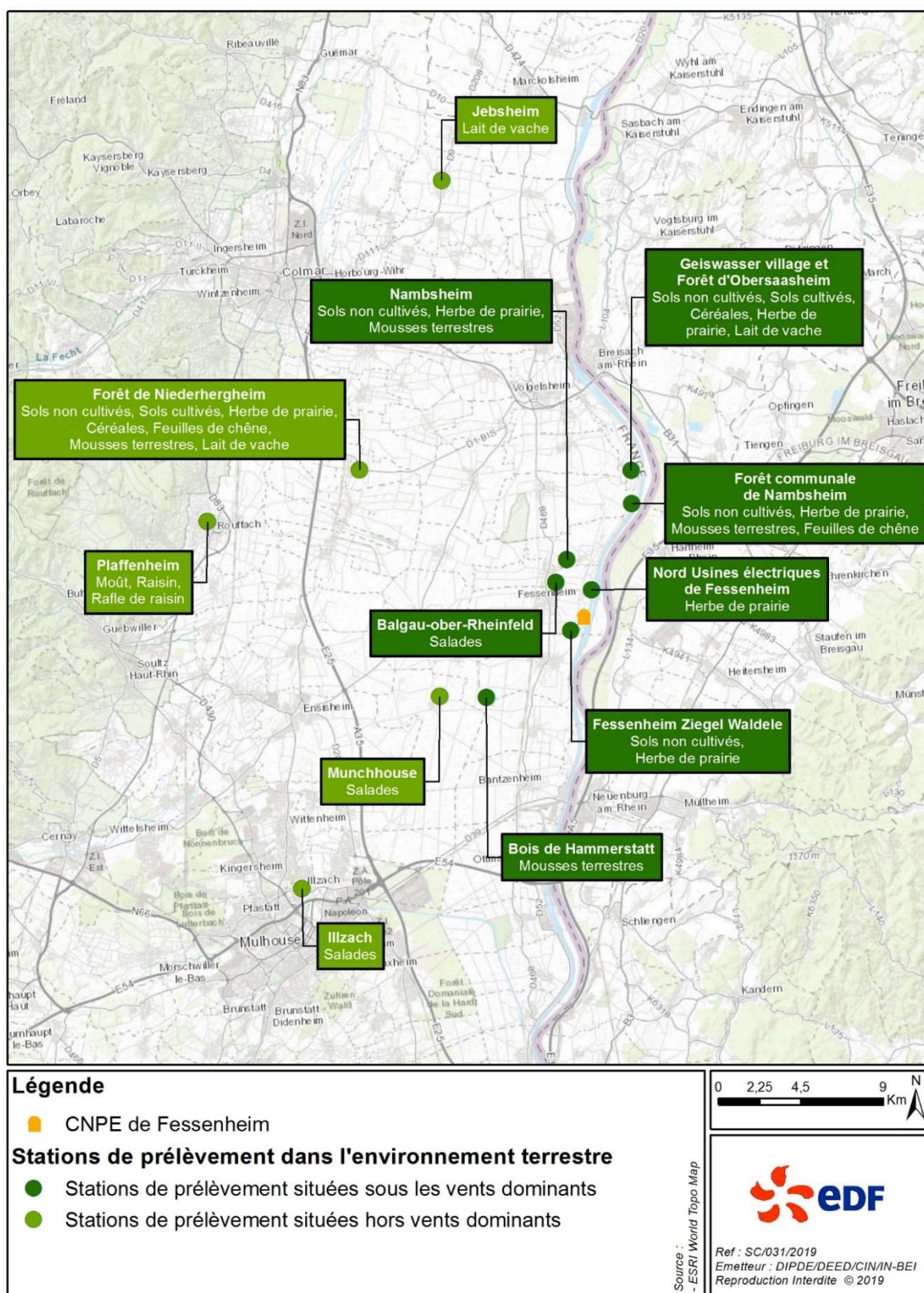


Figure 6.c Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement terrestre du CNPE de Fessenheim

6.1.4.1. SYNTHÈSE DES PRINCIPALES ÉTUDES RADIOLOGIQUES RÉALISÉES DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU CNPE AVANT 2008

Afin de mettre en perspective par la suite le résultat de l'analyse de l'état radiologique actuel de l'environnement terrestre au voisinage du CNPE, cette partie présente succinctement les conclusions des principales études menées avant 2008.

L'exploitation des mesures de radioactivité nécessite de distinguer les radionucléides produits naturellement dans l'environnement de ceux produits artificiellement lors de réactions nucléaires de fission ou d'activation notamment (essais atmosphériques, accidents nucléaires, effluents radioactifs industriels). Dans un souci de simplification, les résultats concernant les radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle ne sont pas détaillés pour les périodes antérieures à 2008, bien que la radioactivité présente dans l'environnement soit majoritairement d'origine naturelle.

6.1.4.1.1. Etat de référence initial (ou point zéro) radioécologique (1973 -1976)

Lors de l'état de référence initial (ou point zéro), du césium 137 a été détecté dans les sols, les fruits, les céréales, les miels et le moût de raisin. La présence de ce radionucléide est due aux retombées des essais nucléaires aériens.

Des traces de cobalt 60 ont également été détectées dans les miels en 1973 mais ce marquage n'a plus été observé au cours des années suivantes (à l'exception d'une faible activité en 1976). Les traces de ce radionucléide témoignent probablement de l'influence des rejets de centrales nucléaires ayant divergé dans les années 70 en Suisse.

Des mesures de tritium ont été réalisées dans du moût de raisin et des miels lors de l'état de référence initial. Cependant, ces mesures ne sont pas exploitables (exprimées en pico-Curie/g).

6.1.4.1.2. Première période (1986-1997)

Lors de l'**étude d'octobre 1986** réalisée sur des sols, l'impact de Tchernobyl se traduit par la détection des radiocésiums 134 et 137, à des activités 60 à 100 fois supérieures à celles mesurées lors de l'état de référence pour le césium 137, et plus épisodiquement des ruthéniums 103 et 106.

A l'occasion du **bilan décennal de 1989**, la nature des radionucléides détectés témoigne encore de l'influence des retombées de l'accident de Tchernobyl : les radiocésiums 134 et 137 sont présents dans l'ensemble des compartiments prospectés (sols, mousses, blé et vin), excepté dans le maïs, la luzerne et le lait où seul le césium 137 est décelé.

Dans les mousses terrestres, le ruthénium-rhodium 106, l'antimoine 125 et l'argent 110 métastable sont également présents. Les traces de cobalt 60 observées dans une mousse prélevée à proximité du CNPE (2 km) pourraient témoigner de l'influence des rejets d'effluents atmosphériques de Fessenheim sans qu'il soit possible de le certifier. La présence des radiocésiums 134 et 137, du ruthénium-rhodium 106, de l'antimoine 125 et de l'argent 110 métastable, a pour origine les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Le strontium 90, détecté dans les sols et les mousses terrestres, à des niveaux d'activités cohérents avec les valeurs généralement observées en France, a pour origine les retombées des essais nucléaires aériens.

Les niveaux d'activité du tritium organiquement lié (dans les mousses et le maïs) et du tritium libre (dans le vin et le lait de vache) sont conformes aux niveaux observés en France métropolitaine en dehors de toute influence industrielle.

Lors des **suisvis radioécologiques annuels effectués entre 1992 et 1997**, le césium 137 reste le seul radionucléide d'origine artificielle présent dans l'ensemble des compartiments prospectés (sols, mousses, fruits, légumes et céréales), à des niveaux d'activité stables sur cette période.

Dans les sols et les mousses terrestres, la présence également de césium 134 témoigne encore de l'influence des retombées de l'accident de Tchernobyl.

La présence sporadique de cobalt 60 en 1993 et 1996, respectivement dans une mousse et un sol, pourrait provenir d'aérosols provenant de l'irrigation par aspersion, avec l'eau du Rhin ou du canal, marquée par les rejets d'effluents liquides des centrales suisses et/ou du CNPE de Fessenheim ou d'aérosols résultant de la remise en suspension de sols marqués par l'eau d'irrigation ou des rejets d'effluents atmosphériques du CNPE de Fessenheim.

Des traces d'américium 241 ont également été observées sporadiquement (en 1996 et 1997) dans une mousse. Absent des rejets du CNPE, ce radionucléide a pour origine les retombées des essais nucléaires aériens.

6.1.4.1.3. Deuxième période (1998-2007)

La radioactivité gamma d'origine artificielle mesurée dans les sols, les mousses, les fruits, les légumes, les céréales et le lait sur la période 1998-2007 est essentiellement due à la présence de césium 137, qui a pour origine les retombées de l'accident de Tchernobyl auxquelles se superposent celles des essais nucléaires atmosphériques. Les activités mesurées dans l'environnement diminuent régulièrement.

Le césium 134, lié aux retombées de l'accident de Tchernobyl n'est plus mesurable après 1998 (détection unique dans un sol de prairie en 1998).

Les activités en tritium libre¹⁹, mesurées dans les céréales, les fruits, le vin et le lait de vache lors du bilan décennal de 1998, puis annuellement dans le lait de vache entre 1999 et 2007, diminuent également progressivement ; elles sont inférieures à 4 Bq/L d'eau de déshydratation sur cette période dans toutes les matrices échantillonnées.

Le tritium organiquement lié²⁰ a été recherché lors du bilan décennal de 1998 dans les prairies, les sols, les céréales, les fruits, le vin et le lait de vache : les activités mesurées sont comprises entre 2,4 et 6,1 Bq/L d'eau de combustion, à l'exception d'un sol de prairie et d'une mousse présentant des valeurs plus élevées (~ 11 Bq/L d'eau de combustion). Ces deux échantillons correspondent à des matrices dont l'âge moyen est de plusieurs années, ils ont été exposés par le passé à des activités plus élevées que les activités généralement mesurées en 1998.

Le carbone 14 a également été mesuré lors du bilan décennal de 1998 dans plusieurs matrices de l'environnement terrestre (céréales, prairies, lait de vache). Les valeurs mesurées sont cohérentes avec le bruit de fond atmosphérique à cette période (~ 250 Bq/kg de carbone).

A l'occasion du bilan décennal de 1998, le strontium 90 a également été détecté dans les sols, les prairies, les mousses, les fruits et le lait de vache, à des activités cohérentes avec les valeurs attendues pour une zone non soumise aux rejets d'installation nucléaire.

Les radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) ont également été recherchés lors du bilan décennal de 1998 dans les prairies, les mousses, les sols et le lait de vache. Les rapports d'activités mesurés sont caractéristiques des retombées globales.

Le tritium libre, tritium organiquement lié, le carbone 14, le strontium 90 et les transuraniens ont pour origine les retombées des essais nucléaires aériens. Aucune différence significative n'a été observée entre les résultats des mesures de radionucléides effectuées sous et hors vents dominants sur cette période. Dans l'environnement terrestre du CNPE de Fessenheim, aucun marquage lié au fonctionnement du CNPE n'est mis en évidence durant cette période.

¹⁹ L'analyse du tritium libre des matrices biologiques nécessite d'extraire par lyophilisation l'eau de l'échantillon, dont la mesure par scintillation fournit un résultat exprimé en Bq/L d'eau de déshydratation.

²⁰ 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 (en pratique, la matière sèche), dont la mesure s'exprime en Bq/L d'eau de combustion.

6.1.4.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU CNPE (2008-2017)

Cette partie décrit l'état radiologique actuel de l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim. Les résultats acquis dans l'environnement terrestre sur la période (2008-2017) sont comparés à ceux acquis lors de l'état de référence initial établi avant la mise en service du CNPE.

Pour les radionucléides d'origine naturelle, compte tenu de l'absence d'évolution de la radioactivité naturelle au cours des études antérieures, les résultats des échantillons prélevés sous et hors vents dominants sont regroupés.

De même, pour l'état de référence initial (ou point zéro), établi avant la construction du CNPE, cette distinction (sous et hors vents dominants) n'est pas non plus nécessaire et les valeurs présentées correspondent à l'étendue des activités alors mesurées dans l'environnement.

En revanche, pour les radionucléides artificiels, les résultats collectés sous et hors vents dominants sur la période 2008-2017 sont présentés distinctement de façon à mettre en évidence une éventuelle influence des rejets d'effluents atmosphériques du CNPE sur l'environnement proche.

6.1.4.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

6.1.4.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les radionucléides d'origine naturelle, présents dans les différentes matrices de l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim, sont d'origine cosmique (^7Be) et tellurique (^{40}K , famille du ^{232}Th et famille de ^{238}U).

La radioactivité d'origine naturelle des matrices échantillonnées sur la période considérée (2008-2017) est du même ordre de grandeur depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Elle est essentiellement liée au **potassium 40**, détecté par activité massique décroissante dans les légumes, les prairies, les sols, les mousses, le rafle de raisin, les céréales (de 106 ± 15 à 2620 ± 280 Bq/kg sec) et le moût de raisin ($7,2 \pm 0,8$ Bq/L), principalement en raison de l'apport d'engrais potassiques sur les productions agricoles. Les activités mesurées sont conformes aux valeurs observées en France métropolitaine. Dans le lait de vache, le potassium 40 est toujours proche de 40 - 50 Bq/L, quels que soient l'année ou le lieu du prélèvement.

Le **béryllium 7**, créé lors de l'interaction des rayonnements cosmiques (neutrons) avec les noyaux d'oxygène ou d'azote atmosphériques, est présent principalement dans les végétaux (de $6,0 \pm 0,8$ à 1410 ± 120 Bq/kg sec) dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité gamma d'origine naturelle sont stables dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE depuis l'état de référence initial (ou point zéro).

6.1.4.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Durant la période 2008-2017, et hormis en 2011 (présence ponctuelle de césium 134 dans les mousses), le **césium 137** est le seul radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle qui soit détectable dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE. Les activités des autres radionucléides artificiels recherchés (radiocobalts 58 et 60, argent 110 métastable, manganèse 54 et iode 131) sont inférieures aux seuils de décision analytiques.

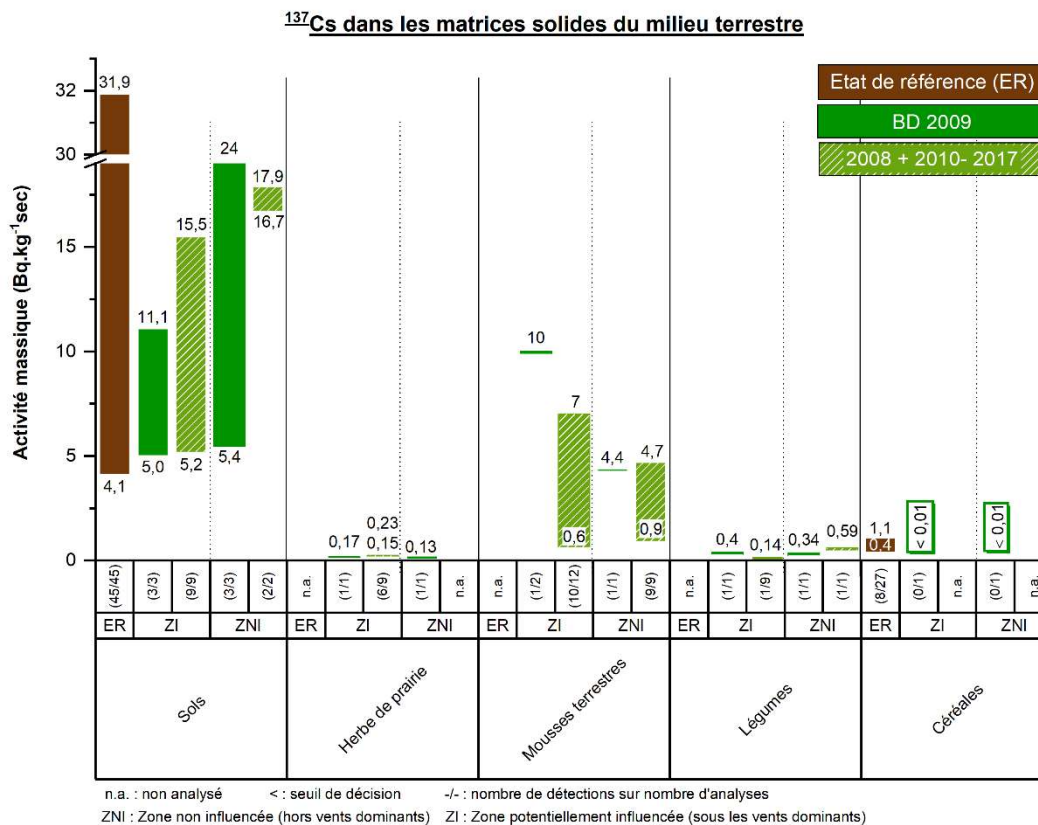


Figure 6.d Activités massiques en césium 137 dans les matrices solides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants

Ainsi, comme le montre la [Figure 6.d](#), le **césium 137** est systématiquement détecté dans les sols (matrice d'accumulation) à des activités massiques supérieures aux autres matrices (prairies, mousses terrestres, légumes) pour lesquelles la fréquence de détection est également moins élevée. Dans les céréales et le raflé de raisin, le césium 137 n'a pas été détecté (valeurs mesurées inférieures aux seuils de décision).

Dans le lait et le moût de raisin, il est détecté de manière quasi-systématique à des activités inférieures à 1 Bq/L (Cf. [Figure 6.e](#)).

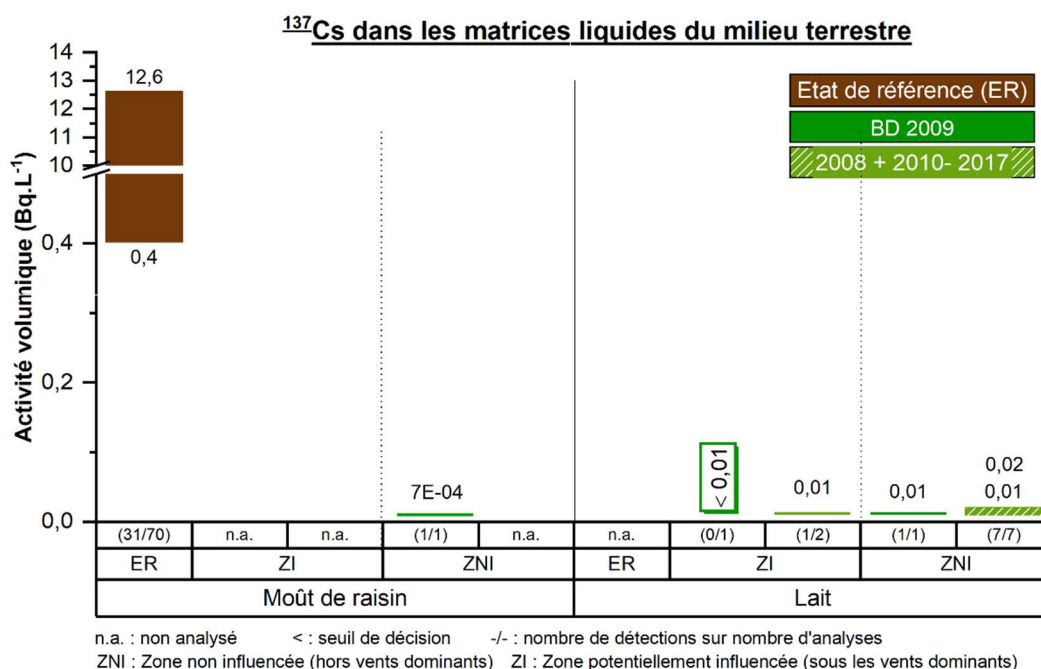


Figure 6.e Activités volumiques en césium 137 dans les matrices liquides de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants

Les [Figure 6.d](#) et [Figure 6.e](#) montrent également que les activités mesurées sur la période 2008-2017 sont du même ordre de grandeur que les prélèvements soient situés en zone hors ou sous les vents dominants. Par ailleurs, la [Figure 6.d](#) montre que les niveaux d'activité du césium 137 sont en baisse dans les sols et les céréales depuis l'état de référence. Ces éléments permettent de conclure quant à l'origine du césium 137 : les essais nucléaires aériens et l'accident de Tchernobyl sont à l'origine de la détection de ce radionucléide dans les matrices de l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim.

Le **césium 134** a été détecté en 2011 dans les mousses terrestres prélevées en zone sous les vents dominants (de $1,1 \pm 0,6$ à $1,4 \pm 0,5$ Bq/kg sec) et en zone hors vents dominants ($0,6 \pm 0,3$ Bq/kg sec). Ce radionucléide n'avait plus été détecté depuis 1998. Les niveaux d'activités du césium 134 décelé dans l'environnement terrestre du CNPE de Fessenheim sont équivalents aux valeurs mesurées sur l'ensemble du territoire métropolitain en 2011 et sont attribuables aux retombées de l'accident de Fukushima.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des émetteurs gamma d'origine artificielle sont stables ou en décroissance dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim depuis l'état de référence initial (ou point zéro) du fait de l'éloignement dans le temps des retombées atmosphériques passées (essais nucléaires aériens et accidents de Tchernobyl et de Fukushima). Aucune contribution du CNPE de Fessenheim à l'apport de radionucléides émetteurs gamma n'a pu être mise en évidence dans l'environnement terrestre au cours de la période (2008-2017).

6.1.4.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

A l'occasion du bilan décennal de 2009, les principaux radionucléides émetteurs bêta (tritium libre et organiquement lié, carbone 14 et strontium 90) ont fait l'objet d'une recherche spécifique dans la majorité des matrices de l'environnement terrestre (sols, feuilles de chêne, prairies, raisin et lait de vache). A cette occasion, le nickel 63 a également été recherché dans les sols. Lors des suivis annuels, le tritium et le carbone 14, présents dans les rejets du CNPE ont été suivis dans les matrices les plus adaptées.

6.1.4.2.2.1. Tritium

Lors du bilan décennal de 2009, il a été recherché dans les sols, les feuilles de chêne, les prairies, le raisin (fruit entier) et le lait. Il a fait l'objet d'un suivi annuel à partir de 2008 dans le lait et depuis 2015 dans les prairies et les légumes.

Sur la période 2008-2017, la [Figure 6.f](#) montre que le **tritium libre (HTO)** est détecté de manière quasi-systématique dans toutes les matrices échantillonnées, à des activités volumiques inférieures à 4 Bq/L d'eau de déshydratation. Dans le raisin, la valeur mesurée est de $1,0 \pm 0,6$ Bq/L d'eau de déshydratation.

L'ensemble des valeurs acquises sur la période 2008-2017 sont cohérentes avec les niveaux mesurés en France métropolitaine hors influence de tout rejet d'industrie nucléaire ($1,4 \pm 1,2$ Bq/L d'eau de déshydratation pour les feuilles annuelles d'arbres, légumes, vins, viandes, laits) et ne mettent pas en évidence d'influence des rejets d'effluents atmosphériques tritiés sur l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim.

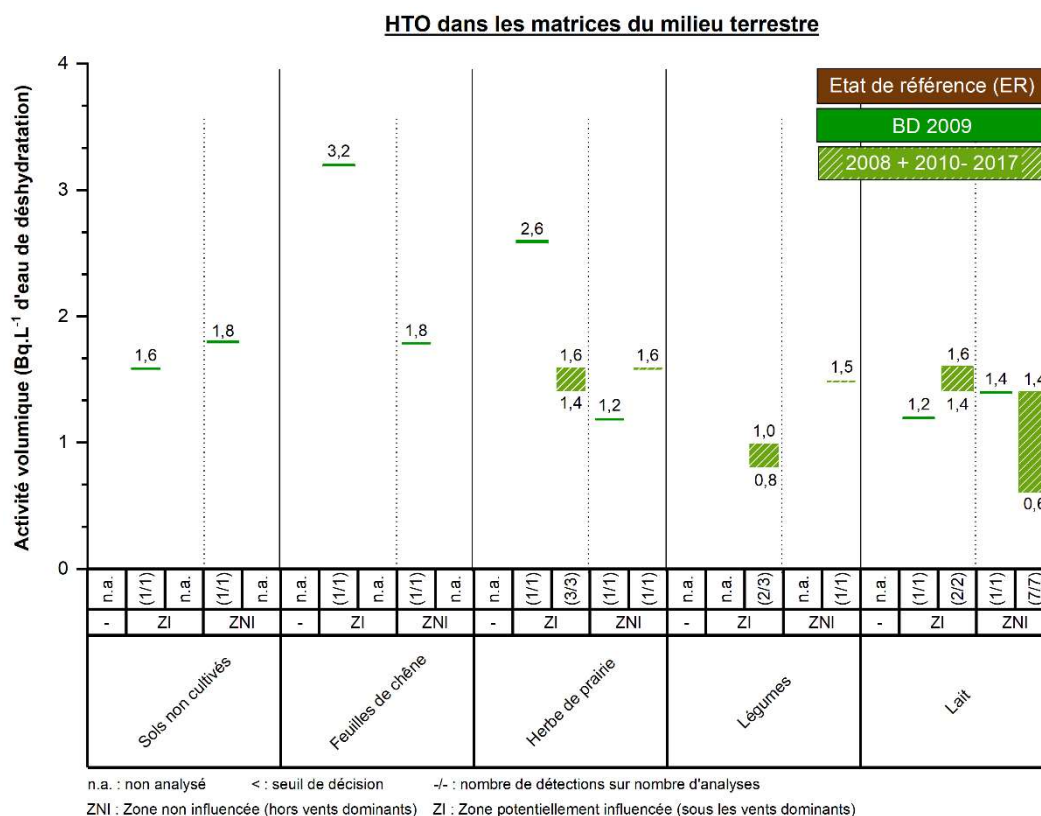


Figure 6.f Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants

L'activité en **tritium organiquement lié (TOL)** n'a pas été recherchée lors de l'état de référence initial. En revanche, elle a été mesurée lors du bilan décennal de 2009 dans les sols, les feuilles de

chêne, les prairies, le raisin (fruit entier) et le lait, puis, elle a fait l'objet d'un suivi annuel depuis 2012 dans le lait et à partir de 2015 dans les légumes. Le tritium organiquement lié a également été recherché dans les prairies en 2017 en zone sous les vents dominants. Il est détecté de manière systématique dans l'ensemble des matrices à des activités comprises entre 0,8 et 3,1 Bq/L d'eau de combustion (Cf. [Figure 6.g](#)).

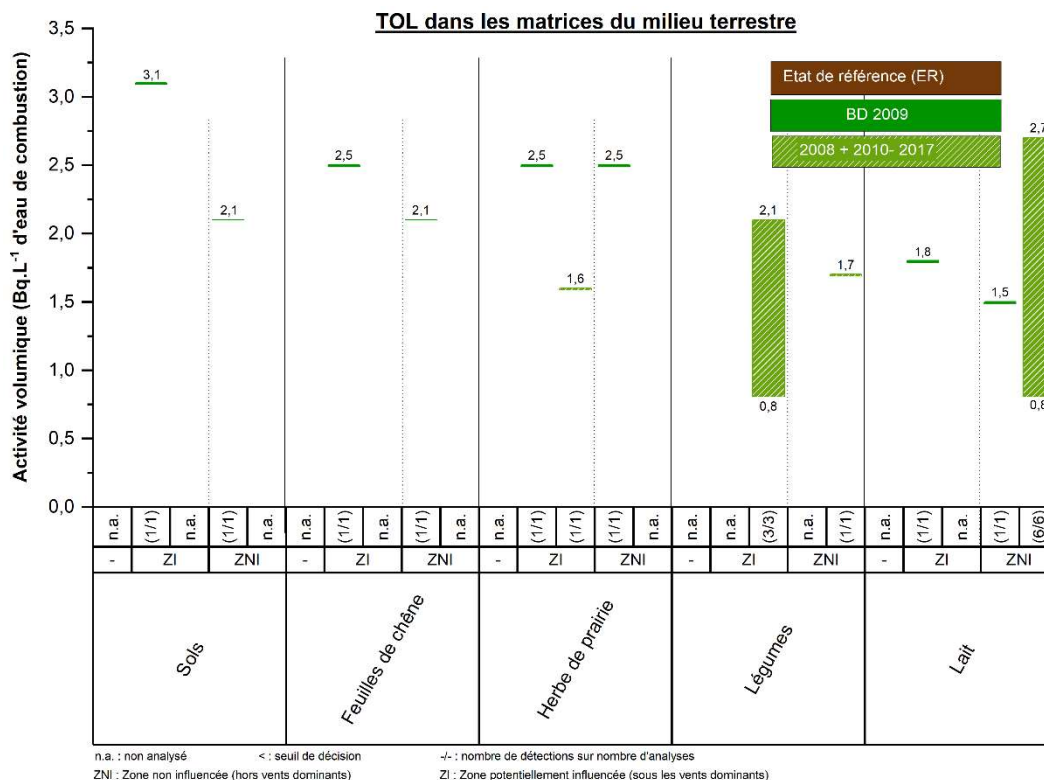


Figure 6.g Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement terrestre prélevées en zones hors (ZNI) et sous (ZI) les vents dominants

Ainsi, l'ensemble des valeurs acquises sur la période 2008-2017 est dans la gamme de valeurs mesurées en France métropolitaine hors influence de tout rejet d'industrie nucléaire ($1,4 \pm 1,2$ Bq/L d'eau de combustion pour les feuilles annuelles d'arbres, légumes, vins, viandes, laits), à l'exception d'un échantillon de sol non cultivé ($3,1 \pm 0,2$ Bq/L d'eau de combustion) prélevé en 2009 en zone sous les vents dominants, qui traduit une influence faible et ponctuelle des rejets d'effluents atmosphériques tritiés sur l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim. Le tritium organiquement lié est représentatif des rejets ayant eu lieu tout au long du cycle de la matière organique. Dans les sols, la matière organique étant relativement ancienne, l'activité mesurée intègre les rejets de tritium sur de longues périodes. Une valeur plus élevée en TOL dans les sols non cultivés avait déjà été observée à la même station lors du bilan décennal de 1998 ($11,8 \pm 0,3$ Bq/l d'eau de combustion). En 2009, l'activité du TOL dans cette matrice est en baisse et proche du bruit de fond environnemental.

Il ressort de cette analyse, qu'à l'exception d'un marquage faible et ponctuel en 2009 dans un échantillon de sol non cultivé (TOL), dont l'impact est négligeable, les rejets d'effluents atmosphériques tritiés du CNPE de Fessenheim n'ont pas d'influence sur l'environnement terrestre.

6.1.4.2.2.2. Carbone 14

L'activité en **carbone 14** a été mesurée lors du bilan décennal de 2009 dans les sols, les feuilles de chêne, les prairies, le raisin (fruit entier) et le lait. Le carbone 14 a fait l'objet d'un suivi annuel à partir de 2012 dans les prairies en zone sous les vents dominants, en 2015 et 2016 dans le lait en zone hors vents dominants, ainsi que dans les salades en 2017 en zones sous et hors vents dominants.

La [Figure 6.h](#) présente les activités spécifiques en carbone 14 mesurées dans les matrices de l'environnement terrestre de 2008 à 2017. Les résultats acquis sur les prélèvements de l'environnement terrestre proche du CNPE de Fessenheim sont compris entre 222 et 246 Bq/kg de carbone.

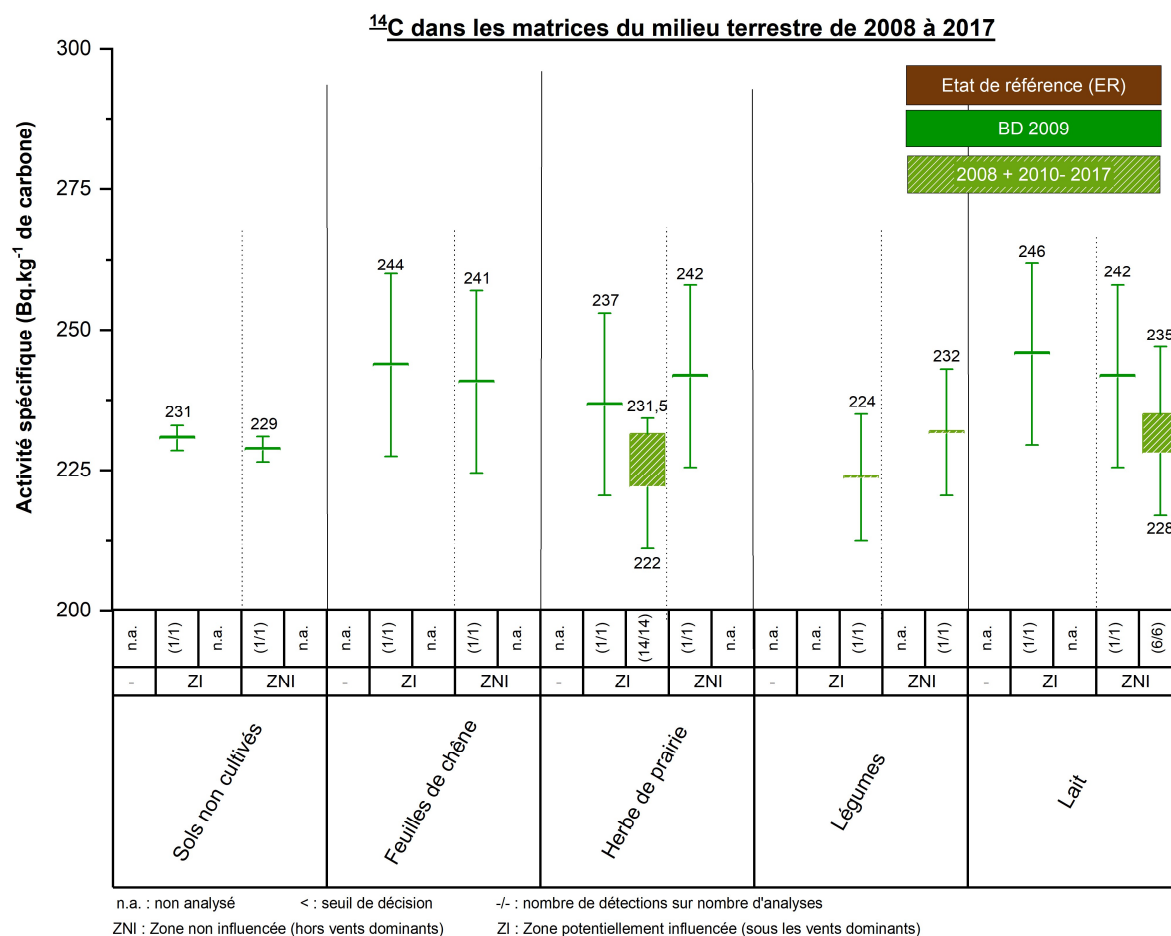


Figure 6.h Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement terrestre de 2008 à 2017

Compte tenu des faibles incertitudes de mesure associées, les résultats de mesure dans les sols, les feuilles de chêne, les prairies, les légumes et le lait ne montrent aucune influence des rejets atmosphériques de carbone 14 du CNPE de Fessenheim. Toutes les valeurs d'activité mesurées sont du même ordre de grandeur que le bruit de fond hors influence de rejets d'industrie nucléaire (236 Bq/kg de carbone en 2009²¹ et 230 Bq/kg de carbone actuellement²²). Ces résultats, associés au

²¹ Roussel-Debet S., Gontier G., Siclet F. et Fournier M., 2006. Distribution of carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants. Journal of Environmental Radioactivity, 87(3) : 246 - 259.

²² IRSN, Novembre 2018. Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport DG/2018-00006 351p.

fait que les valeurs de carbone 14 mesurées dans toutes les matrices en zone sous et hors vents dominants sont comparables, indiquent que les rejets atmosphériques du CNPE de Fessenheim n'ont pas d'influence sur l'environnement terrestre.

La [Figure 6.i](#) présente quant à elle, les résultats obtenus dans les prairies prélevées sous les vents dominants et le lait prélevé en zone hors vents dominants. Les activités spécifiques obtenues dans ces matrices sont du même ordre de grandeur que le bruit de fond atmosphérique du carbone 14 hors influence industrielle (236 Bq/kg de carbone en 2009 et 230 Bq/kg de carbone actuellement) compte tenu des incertitudes de mesure.

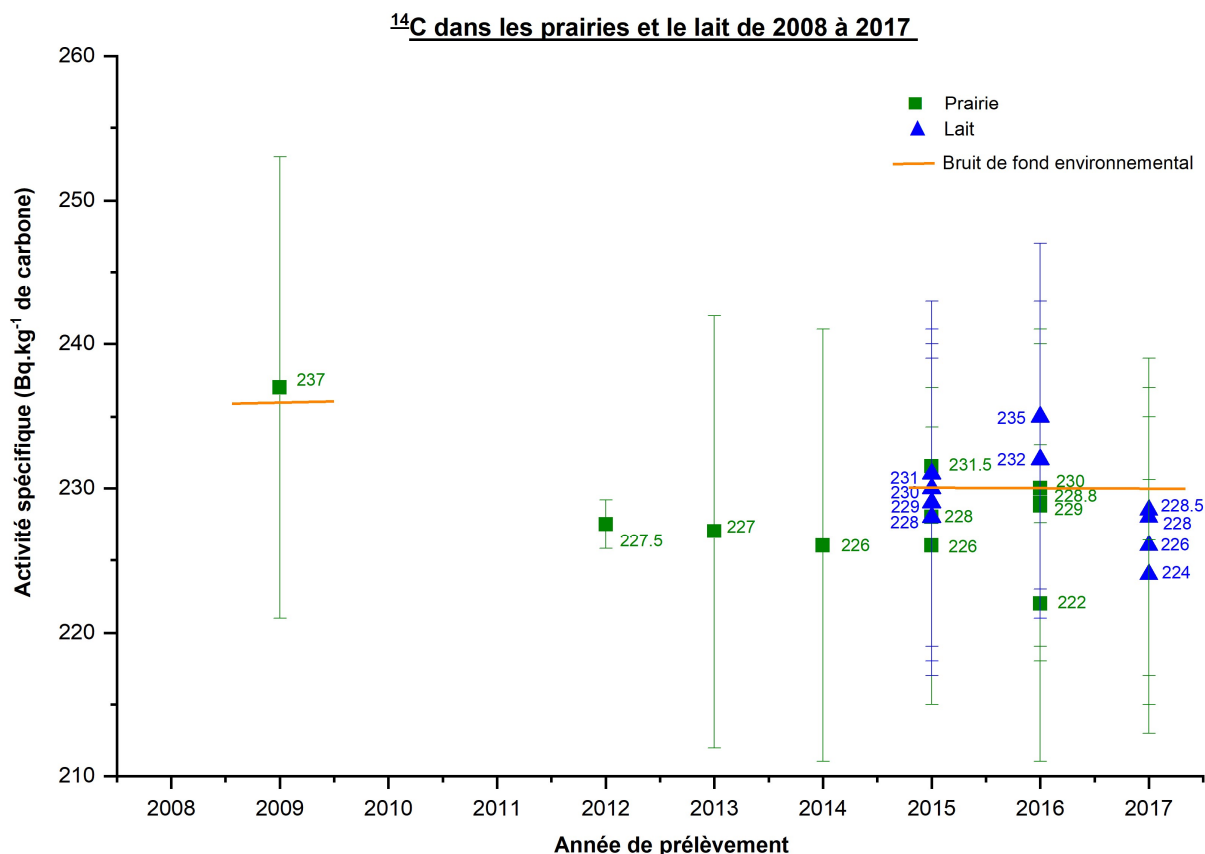


Figure 6.i Activités spécifiques du carbone 14 (données annuelles et trimestrielles) dans les prairies et le lait de 2015 à 2017

Il ressort de cette analyse que les activités en carbone 14 mesurées dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim sont représentatives de l'activité en carbone 14 échangeable de l'atmosphère pour des zones considérées hors influence de tout rejet d'installation nucléaire.

6.1.4.2.2.3. Strontium 90

La recherche de radionucléides non présents dans les rejets du CNPE tel que le strontium 90 est réalisée à fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche.

Le **strontium 90** n'a pas été recherché lors de l'état de référence initial (ou point zéro). Lors du bilan décennal de 2009, des analyses de strontium 90 ont été réalisées dans les sols, les prairies, le moût de raisin et le lait, où ce radionucléide a été détecté systématiquement. Les valeurs mesurées sont du même ordre de grandeur en zone hors et sous les vents dominants, et sont conformes aux valeurs attendues pour une zone soumise uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité du strontium 90 mesurés dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE sont cohérents avec les valeurs attendues pour une zone soumise uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

6.1.4.2.2.4. Nickel 63

Le **nickel 63** a été recherché dans le cadre du bilan décennal de 2009 dans les sols. Les activités mesurées sont inférieures au seuil de décision ($< 0,143$ Bq/kg sec).

6.1.4.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

La recherche de radionucléides non présents dans les rejets du CNPE tel que les radionucléides émetteurs alpha est réalisée à fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche. Ces radionucléides sont présents dans l'environnement du fait des retombées des essais nucléaires aériens.

Lors du bilan décennal de 2009, les **radionucléides émetteurs alpha** (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) ont donc été recherchés dans les sols, les prairies, les mousses terrestres (bryophytes), le moût de raisin et le lait. Tous les échantillons ont été prélevés en zones sous et hors vents dominants, à l'exception du moût de raisin prélevé uniquement en zone hors vents dominants.

L'exploitation des rapports isotopiques d'activité $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ lorsqu'ils sont calculables, permet de préciser l'origine de ces radionucléides. Compris entre $0,024 \pm 0,006$ et $0,027 \pm 0,008$ pour le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et entre $0,4 \pm 0,3$ et $0,5 \pm 0,3$ pour le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, ces rapports témoignent de la présence de transuraniens issus des retombées atmosphériques des essais aériens nucléaires réalisés entre 1960 et 1980 dont les valeurs de référence sont respectivement 0,03 et 0,4 (Cf. [Paragraphe 6.1.1.2.1](#)), excepté pour les échantillons de bryophytes prélevées à Nambsheim. Les valeurs du rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les bryophytes sont effectivement plus élevées que la normale ($0,07 \pm 0,02$) du fait d'un « déficit » en $^{239+240}\text{Pu}$ dont l'origine n'a pu être déterminée.

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors du bilan radioécologique décennal de 1998.

Il ressort de cette étude que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs alpha mesurés dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE trouvent leur origine dans les retombées des essais nucléaires aériens.

6.1.4.3. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

La radioactivité présente dans l'environnement terrestre à proximité du CNPE de Fessenheim est majoritairement d'origine naturelle et est stable depuis l'état de référence initial (ou point zéro). Elle est essentiellement due au potassium 40 dans les sols et les végétaux, et au béryllium 7 dans les végétaux. En comparaison, les radionucléides issus des familles du thorium 232 et de l'uranium 238 sont détectés à des fréquences et des niveaux d'activité moindres.

Les radionucléides produits artificiellement, mis en évidence dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim, proviennent majoritairement d'une rémanence des retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl, et dans une moindre mesure de celui de Fukushima. Ces événements anciens sont à l'origine de la détection au cours de la période 2008-2017 des radiocésiums 134 et 137 et, uniquement pour les essais nucléaires, de strontium 90, d'émetteurs alpha (α) (plutonium 238, plutonium 239 et 240 et américium 241), de carbone 14 et de tritium, ces deux derniers radionucléides étant par ailleurs produits par voie naturelle.

A l'exception d'un faible marquage ponctuel en tritium organiquement lié (TOL) dans un sol non cultivé prélevé en 2009 sous les vents dominants, aucune contribution des rejets d'effluents du CNPE de Fessenheim aux activités mesurées dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE n'a été

mise en évidence. La mesure d'activité en TOL dans les sols, en baisse par rapport à 1998, traduit une influence locale des rejets d'effluents atmosphériques du CNPE sur l'environnement, influence dont l'impact est négligeable.

6.1.5. ETAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

Les études utilisées pour établir l'état radiologique actuel de l'environnement aquatique ont été réalisées entre 2008 et 2017. Elles portent sur une diversité d'échantillons et d'analyses radiologiques qui permettent une vision précise de l'état radiologique de l'environnement aquatique grâce à des mesures « bas bruit de fond » permettant la caractérisation des radionucléides à l'état de traces.

A noter que la prise en compte des données de surveillance de 2018 et de 2019 ne modifie pas les principales conclusions obtenues sur la période d'étude (2008-2017).

Afin de pouvoir apprécier l'influence potentielle des rejets d'effluents radioactifs liquides émis par le CNPE de Fessenheim, les stations de prélèvements de l'environnement aquatique sont choisies à l'amont et à l'aval du point de rejet (Cf. [Figure 6.j](#)).

Concernant la matrice « eau », les prélèvements sont considérés sous influence potentielle lorsqu'ils ont été réalisés en aval du CNPE dans une zone pouvant être influencée par les rejets d'effluents liquides du CNPE. Des prélèvements d'eau de boisson ont été effectués à Fessenheim au nord-nord-ouest, à Geiswasser au nord-nord-est et à Niederhergheim au nord-ouest du CNPE. Ces échantillons d'eau potable proviennent du réseau de distribution localisé en aval hydraulique du CNPE. La nappe d'accompagnement du Rhin qui alimente ce réseau est située dans une zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents liquides du CNPE. Un prélèvement d'eau d'irrigation a également été réalisé à Geiswasser en aval du CNPE en zone sous influence potentielle des rejets liquides. Enfin, de l'eau du Grand Canal d'Alsace (GCA) a été prélevée à l'usine hydroélectrique de Kembs et à l'écluse de Vogelgrün, deux stations situées respectivement à l'amont et à l'aval du CNPE.

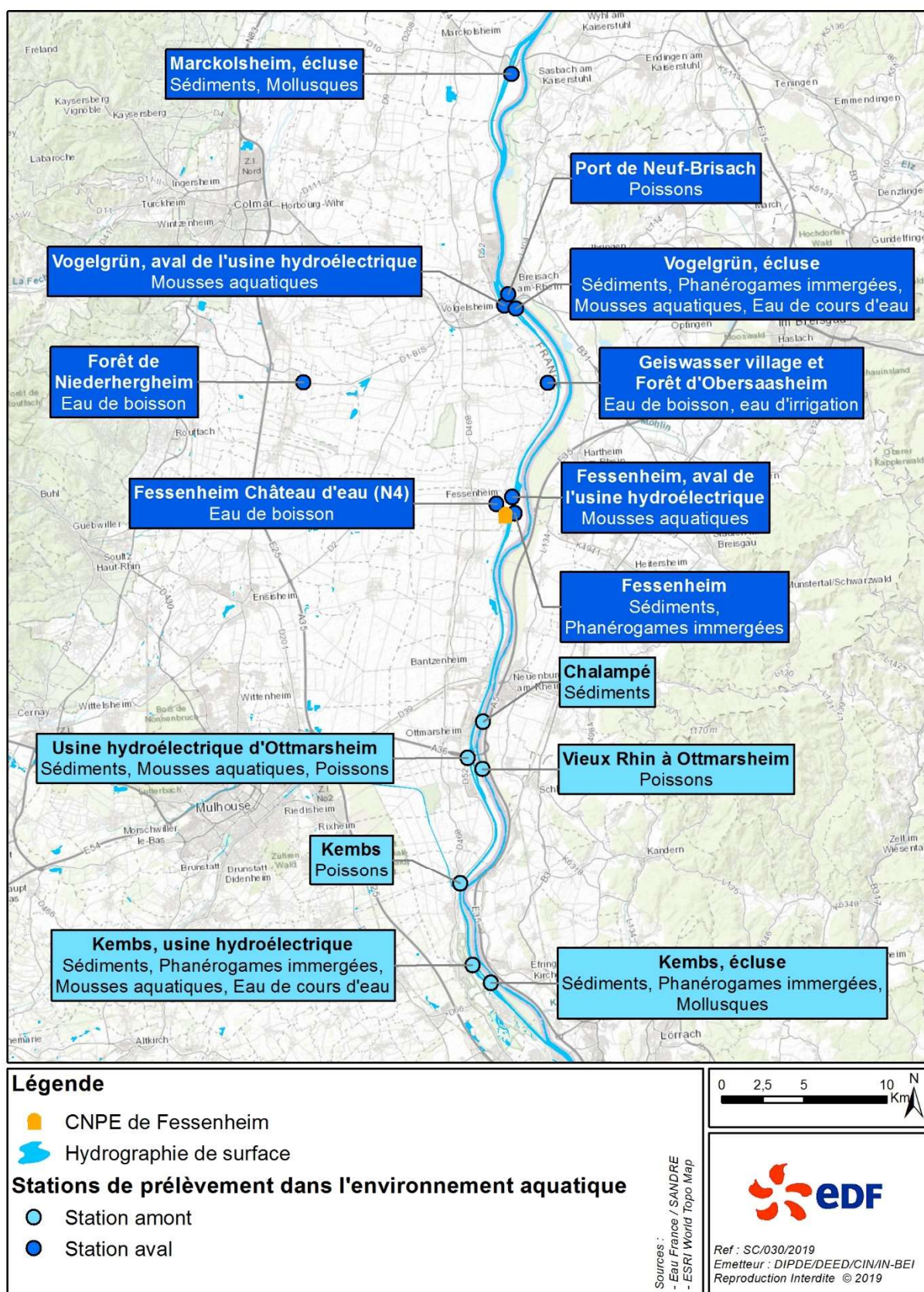


Figure 6.j Localisation des stations de prélèvements dans l'environnement aquatique du CNPE de Fessenheim

6.1.5.1. SYNTHÈSE DES PRINCIPALES ÉTUDES RADIOLOGIQUES RÉALISÉES DANS L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE DU CNPE AVANT 2008

Afin de mettre en perspective par la suite les résultats de l'analyse de l'état radiologique actuel de l'environnement aquatique au voisinage du CNPE, cette partie présente succinctement les conclusions des principales études menées avant 2008.

L'exploitation des mesures de radioactivité nécessite de distinguer les radionucléides produits naturellement dans l'environnement de ceux produits artificiellement lors de réactions nucléaires de fission ou d'activation notamment (essais atmosphériques, accidents nucléaires, effluents radioactifs industriels). Dans un souci de simplification, les résultats sur les radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle ne sont pas détaillés pour les périodes antérieures à 2008, bien que la radioactivité présente dans l'environnement soit majoritairement d'origine naturelle.

6.1.5.1.1. Etat de référence initial (ou point zéro) radioécologique (1973-1976)

L'état radiologique de référence de l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim a été déterminé avant la mise en service de l'installation en 1976. L'évaluation des niveaux d'activité a été réalisée sur la base d'un échantillonnage de poissons et d'eau douce (eau de pluie, eau du Rhin, eau de boisson et eau de nappe). Les résultats de cette étude ont montré la présence de césium 137, de cériums 141 et 144 ainsi que de manganèse 54 dans les poissons et la présence de tritium libre (HTO) dans les eaux douces. Les retombées des essais nucléaires aériens sont à l'origine de ces détections.

6.1.5.1.2. Première période (1987-1997)

L'étude réalisée sur les poissons en 1987 et 1988, après l'accident de Tchernobyl, a montré la présence des radiocésiums 134 et 137 dont les rapports isotopiques étaient caractéristiques de l'accident de Tchernobyl.

Lors du bilan décennal de 1989, les radiocésiums 134 et 137 ont été détectés systématiquement dans l'ensemble des matrices analysées (sédiments, végétaux aquatiques, mollusques, poissons et eau douce), attestant des retombées de l'accident de Tchernobyl dans l'Est de la France.

L'influence des rejets d'effluents radioactifs liquides des installations suisses est mise en évidence par la présence à l'amont de l'installation, des radiocobalts 58 et 60 et du manganèse 54 dans les sédiments et les végétaux aquatiques, du cobalt 60 et de l'argent 110 métastable dans l'eau douce et du cobalt 60 dans les mollusques. A l'aval de l'installation, la présence des radiocobalts 58 et 60 et du manganèse 54 dans les sédiments et les végétaux aquatiques, des radiocobalts 58 et 60 et de l'argent 110 métastable dans l'eau douce et du cobalt 58 dans les mollusques atteste de l'influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE de Fessenheim.

Non présent dans les rejets d'effluents du CNPE de Fessenheim, le strontium 90, détecté à des niveaux d'activités comparables entre l'amont et l'aval, dans les poissons et les végétaux aquatiques, est issu des retombées des essais nucléaires aériens. En revanche, la présence de tritium organiquement lié dans les poissons et les sédiments, à des niveaux d'activités plus élevés à l'aval immédiat par rapport à l'amont et l'aval lointain, pourrait témoigner d'un marquage des rejets d'effluents liquides tritiés du CNPE de Fessenheim. Il est cependant à noter que les activités en tritium organiquement lié sont plus élevées à l'amont dans les végétaux aquatiques. Les transuraniens, détectés dans les végétaux aquatiques et les sédiments (mais pas dans les poissons), ont pour origine les retombées des essais nucléaires aériens.

Les **suis radioécologiques annuels réalisés entre 1992 et 1997** ont montré la présence quasi-systématique de césium 137 dans toutes les matrices aquatiques. Il est accompagné de césium 134 dans les sédiments et jusqu'en 1994, dans les mousses aquatiques. Les rapports isotopiques de ces radiocésiums sont caractéristiques des retombées de l'accident de Tchernobyl.

Sur cette période, les radiocobalts 58 et 60 ont été détectés de manière quasi-systématique, à des activités équivalentes entre l'amont et l'aval du CNPE, dans les sédiments et les végétaux aquatiques et de manière sporadique dans les poissons, témoignant de l'influence des rejets d'effluents liquides des installations suisses situées en amont.

Les détections de manganèse 54 (dans les végétaux aquatiques en amont et en aval) et d'argent 110 métastable (dans les sédiments à l'aval) sont sporadiques. L'argent 110 métastable, issu des rejets liquides du CNPE de Fessenheim, n'est plus détecté depuis 1993 (détection dans les sédiments en aval en 1992 et 1993). Du zinc 65 a été détecté de manière sporadique dans les poissons prélevés en 1992, en amont comme en aval. Enfin, l'iode 131 détecté de manière sporadique dans les mousses aquatiques, à des niveaux d'activité équivalents entre l'amont et l'aval du CNPE, est à raccorder à une origine exogène : les installations nucléaires suisses ou les centres médicaux situés en amont du CNPE de Fessenheim.

6.1.5.1.3. Deuxième période (1998-2007)

Le césium 137 est détecté dans les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons en amont comme en aval. Depuis 1989, son activité décroît progressivement, du fait de l'éloignement dans le temps des événements passés (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl) et de la faible contribution des rejets du CNPE de Fessenheim à l'ajout de ce radionucléide dans le milieu récepteur. Le césium 134, est détecté à une fréquence moindre dans les sédiments et les mousses aquatiques jusqu'en 2001 ; son activité diminue également progressivement. Les rapports isotopiques $^{137}\text{Cs} / ^{134}\text{Cs}$ indiquent une signature dominante des retombées de l'accident de Tchernobyl, sans toutefois exclure l'influence des installations suisses situées plus en amont.

La présence des radiocobalts 58 et 60 dans les sédiments, les végétaux aquatiques et du cobalt 60 de manière plus sporadique dans les poissons, est toujours détectée, en amont comme aval, mais à des niveaux d'activité en nette baisse par rapport à la période précédente. Le manganèse 54, plus détecté depuis 1998, est réapparu régulièrement depuis 2003 dans les végétaux aquatiques, en amont et en aval du CNPE. L'argent 110 métastable a été détecté de manière ponctuelle dans un échantillon de mousses aquatiques en 2004. L'iode 131, recherché annuellement dans les mousses depuis 1997, est détecté à des niveaux d'activités équivalents entre l'amont et l'aval du CNPE. Ce radionucléide témoigne de l'activité des services de médecine nucléaire de grandes villes telles que Mulhouse et Bâle, situées en amont du CNPE de Fessenheim.

Lors du bilan décennal de 1998, les résultats d'analyse des radionucléides émetteurs bêta montrent que les niveaux d'activité du tritium libre dans l'eau douce (entre 1,7 et 4,0 Bq/L d'eau) sont en baisse par rapport au bilan décennal de 1989 (de 6,2 à 8,7 Bq/L d'eau). Les valeurs mesurées en tritium organiquement lié ne mettent plus en évidence d'influence du CNPE de Fessenheim sur les matrices aquatiques (sédiments, végétaux aquatiques et poissons). Les valeurs élevées, aussi bien en amont qu'en aval, en particulier dans les sédiments révèlent la présence d'industries utilisatrices de tritium en amont du CNPE de Fessenheim. Les activités en carbone 14 mesurées dans les poissons et les mousses aquatiques sont plus élevées à l'aval du CNPE, témoignant d'une influence du carbone 14 présent au sein des rejets liquides du CNPE de Fessenheim.

Le strontium 90, détecté dans les poissons et les mousses aquatiques, présente des activités en baisse par rapport à la période précédente : il trouve son origine dans les retombées des essais nucléaires aériens. Les niveaux d'activité des transuraniens et leurs rapports isotopiques sont cohérents avec les résultats obtenus lors du premier bilan décennal et caractéristiques des retombées des essais nucléaires aériens.

L'environnement du CNPE de Fessenheim est marqué par trois sources de radionucléides : l'accident de Tchernobyl (radiocésiums 134 et 137) et dans une moindre mesure, les quatre CNPE suisses

(marquage en amont par les radiocésiums 134 et 137, les radiocobalts 58 et 60, l'iode 131 et le manganèse 54), et l'influence potentielle du CNPE de Fessenheim (marquage en carbone 14 et détection ponctuelle d'argent 110 métastable). La présence d'iode 131, à des niveaux équivalents à l'amont et à l'aval de Fessenheim, traduit l'apport exogène de cet élément (installations nucléaires suisses et/ou centres hospitaliers ou universitaires situées en amont du CNPE de Fessenheim).

6.1.5.2. ANALYSE DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE DU CNPE (2008-2017)

Cette partie décrit l'état radiologique actuel de l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim. Les résultats acquis dans l'environnement aquatique sur la période (2008-2017) sont comparés à ceux acquis lors de l'état de référence initial établi avant la mise en service du CNPE.

Pour les radionucléides d'origine naturelle, compte tenu de l'absence d'évolution de la radioactivité naturelle au cours des études antérieures, les résultats des échantillons prélevés en amont et en aval sont regroupés.

Pour l'état de référence initial (ou point zéro), établi avant la construction du CNPE, cette distinction (amont / aval) n'est pas non plus nécessaire et les valeurs présentées correspondent à l'étendue des activités mesurées dans l'environnement.

En revanche, pour les radionucléides artificiels, les résultats collectés en amont et en aval sur la période 2008-2017 sont présentés distinctement de façon à mettre en évidence une éventuelle influence des rejets d'effluents liquides du CNPE sur l'environnement aquatique.

6.1.5.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

6.1.5.2.1.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les radionucléides d'origine naturelle, présents dans les différentes matrices de l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim, sont d'origine cosmique (^7Be) et d'origine tellurique (^{40}K , famille du ^{232}Th et famille de ^{238}U).

La radioactivité d'origine naturelle des matrices échantillonnées sur la période considérée (2008-2017) est du même ordre de grandeur depuis l'état de référence (ou point zéro). Elle est essentiellement liée au **potassium 40**, présent par activité massique décroissante dans les végétaux aquatiques, les sédiments, les poissons et l'eau douce (de 166 ± 21 à 1940 ± 190 Bq/kg sec dans les sédiments et les végétaux, de 90 ± 9 à 167 ± 18 Bq/kg frais dans les poissons et de $0,052 \pm 0,007$ à $0,091 \pm 0,009$ Bq/L sec dans l'eau d'irrigation et de boisson). Les radionucléides issus des familles du thorium 232 et de l'uranium 238 sont conformes aux valeurs observées en France métropolitaine.

Le **béryllium 7**, créé lors de l'interaction des rayonnements cosmiques (neutrons) avec les noyaux d'oxygène ou d'azote atmosphériques, est présent principalement dans les végétaux aquatiques (de 48 ± 9 à 1240 ± 110 Bq/kg sec) et les sédiments (de $3,4 \pm 1,7$ à 200 ± 20 Bq/kg sec). Il n'a pas été détecté dans les poissons et uniquement à l'état de traces dans un échantillon d'eau de boisson ($0,048 \pm 0,009$ Bq/L).

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité gamma d'origine naturelle sont stables dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE depuis l'état de référence initial (ou point zéro).

6.1.5.2.1.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Parmi les radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine artificielle, sur la période 2008-2017, le **césium 137** est détecté quasi-systématiquement dans l'ensemble des matrices environnementales étudiées (sédiments, phanérogames immergées, mousses aquatiques et poissons), à l'exception de l'eau douce (Cf. [Figure 6.k](#) à [Figure 6.n](#)). Les niveaux d'activité de ce radionucléide sont comparables entre l'amont et l'aval dans les végétaux aquatiques et les poissons. Seuls les sédiments présentent

des niveaux d'activité plus élevés à l'aval par rapport à l'amont du CNPE de Fessenheim. Cependant, l'écart entre l'amont et l'aval est trop faible pour conclure à un marquage de cette matrice aquatique en césium 137 par les rejets du CNPE. Depuis 2008, la diminution progressive des activités en césium 137, en lien avec l'éloignement des événements anciens, se poursuit.

Le **cobalt 60** a été détecté de manière transitoire dans les sédiments et les végétaux aquatiques (phanérogames immergées et mousses aquatiques) aussi bien en amont qu'en aval du CNPE. Le **cobalt 58** a également été détecté mais à une fréquence et un niveau d'activité moindres dans les végétaux aquatiques. Certaines valeurs plus élevées à l'aval en 2013 et 2015 pourraient attester d'une influence des rejets liquides du CNPE de Fessenheim sur l'environnement aquatique ; cependant, les niveaux d'activité mesurés à l'amont en lien avec les rejets des installations nucléaires suisses rendent difficiles la mise en évidence d'un apport par le CNPE de Fessenheim.

L'**argent 110 métastable** a été détecté ponctuellement en 2014 dans un échantillon de mousses aquatiques prélevées à l'aval du CNPE mais le niveau d'activité mesuré est inférieur aux seuils de décision des mesures en amont. Une contribution potentielle des rejets liquides du CNPE de Fessenheim est donc difficilement identifiable mais n'est pas à exclure.

Le **manganèse 54** a également été détecté dans des végétaux aquatiques : des mousses aquatiques prélevées à l'amont en 2008 et 2010 et des phanérogames immergées prélevées à l'aval en 2010 et 2013. Comme pour les radiocobalts, la présence de manganèse 54 aussi bien en amont qu'en aval selon les années dans les végétaux aquatiques rend difficile la mise en évidence d'un apport par le CNPE de Fessenheim.

L'**iode 131**, recherché dans les mousses aquatiques entre 2009 et 2012 et dans les phanérogames immergées en 2008, puis annuellement à partir de 2010, présente des niveaux d'activité plus élevés tantôt à l'amont et à l'aval du CNPE selon les années (Cf. [Figure 6.o](#)) ; ce qui témoigne d'une origine principalement exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche) de ce radionucléide, sans qu'une contribution du CNPE ne puisse être exclue.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine artificielle présents dans l'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim sont principalement dus au césium 137. Ce radionucléide trouve son origine dans les retombées des essais nucléaires aériens et de l'accident de Tchernobyl. La présence dans l'environnement aquatique des cobalts 58 et 60, et plus ponctuellement de manganèse 54 et d'argent 110 métastable est attribuable aux rejets d'effluents liquides des installations suisses localisées en amont. Cependant, une contribution potentielle des rejets liquides du CNPE de Fessenheim n'est pas à exclure, contribution dont l'impact est négligeable. Par ailleurs, de l'iode 131 mesuré à des activités plus élevées à l'amont ou à l'aval du CNPE de Fessenheim selon les années, a principalement une origine exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche), sans qu'une contribution du CNPE ne puisse être exclue.

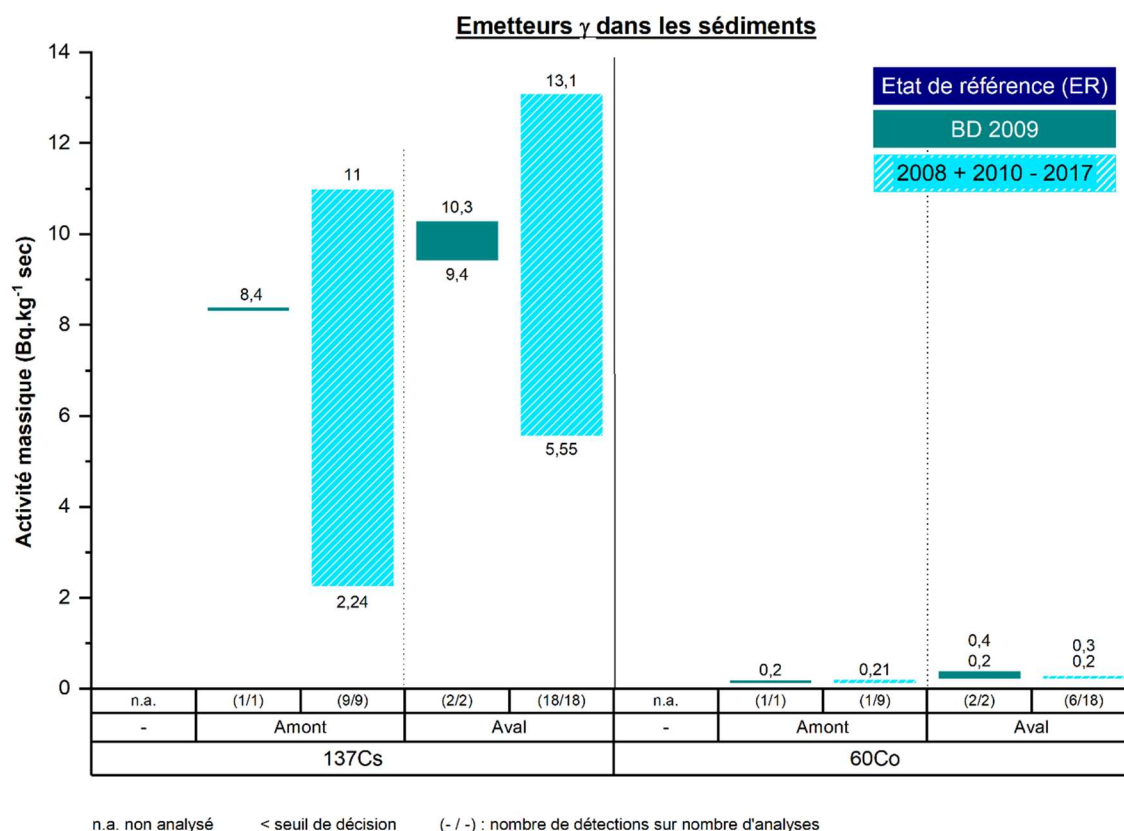


Figure 6.k Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet

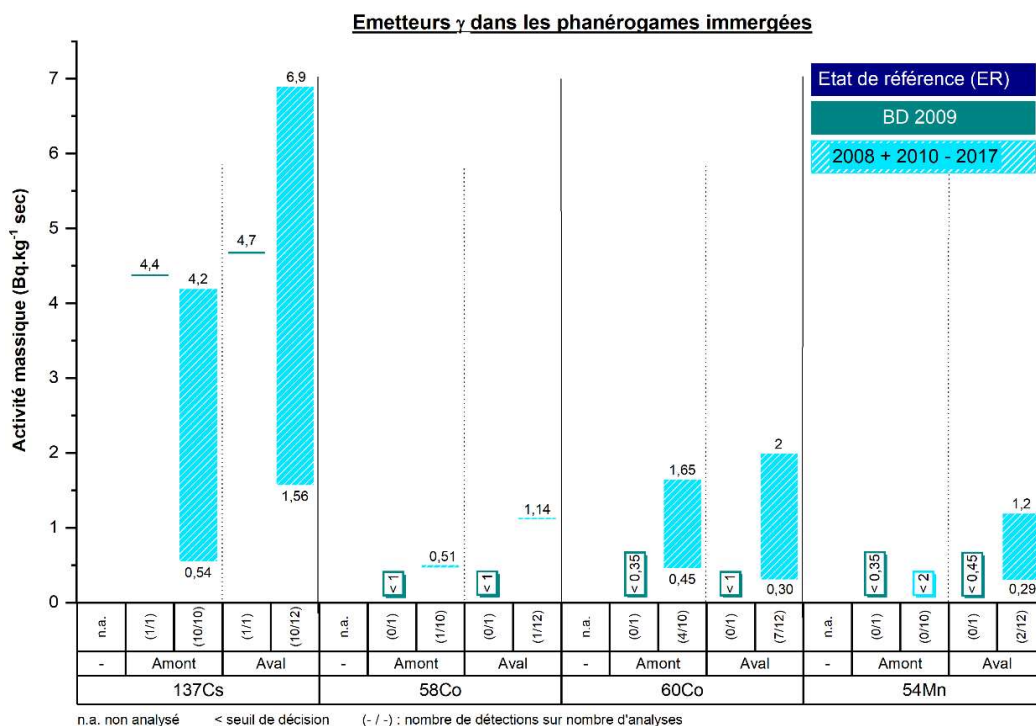


Figure 6.l Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les phanérogames immergées prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet

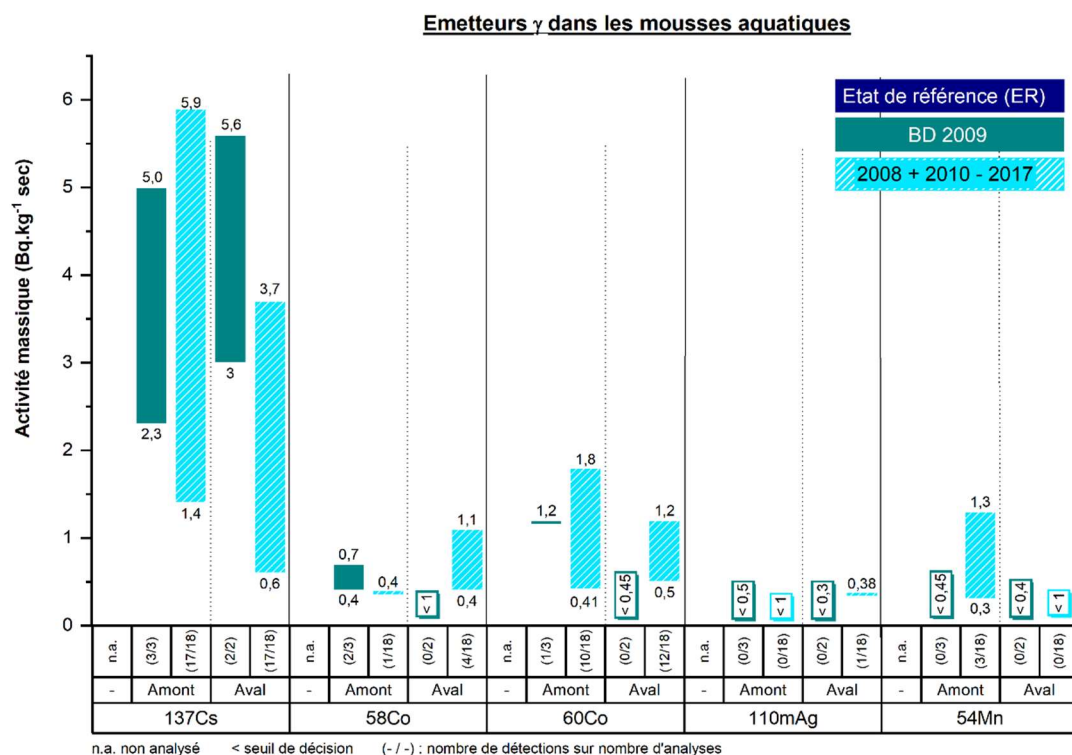


Figure 6.m Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les mousses aquatiques prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet

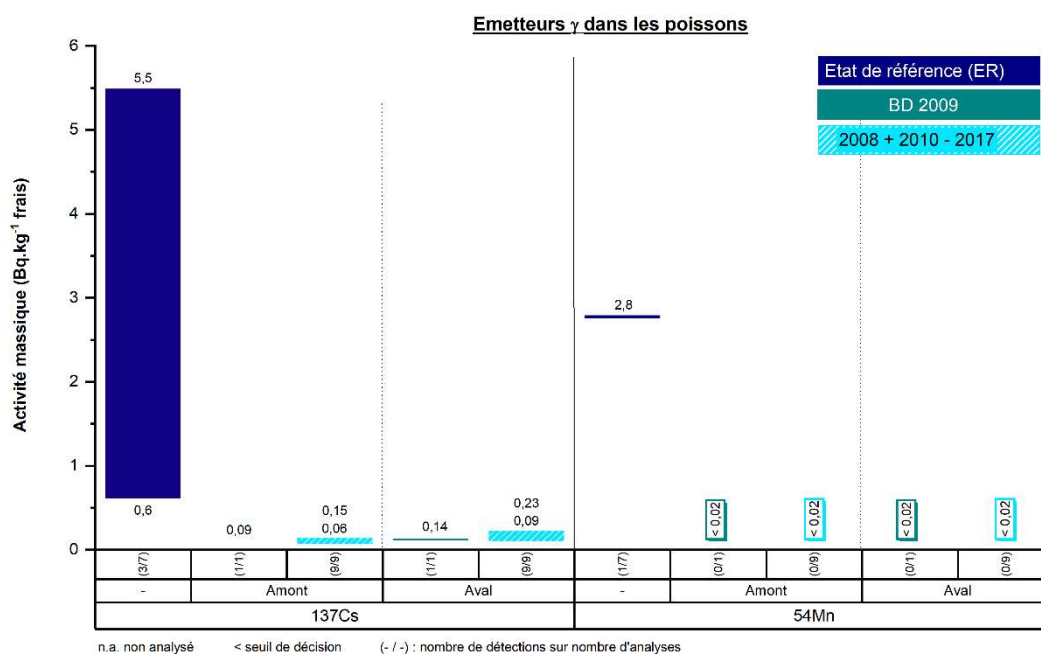


Figure 6.n Activités massiques des radionucléides émetteurs gamma dans les poissons prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet

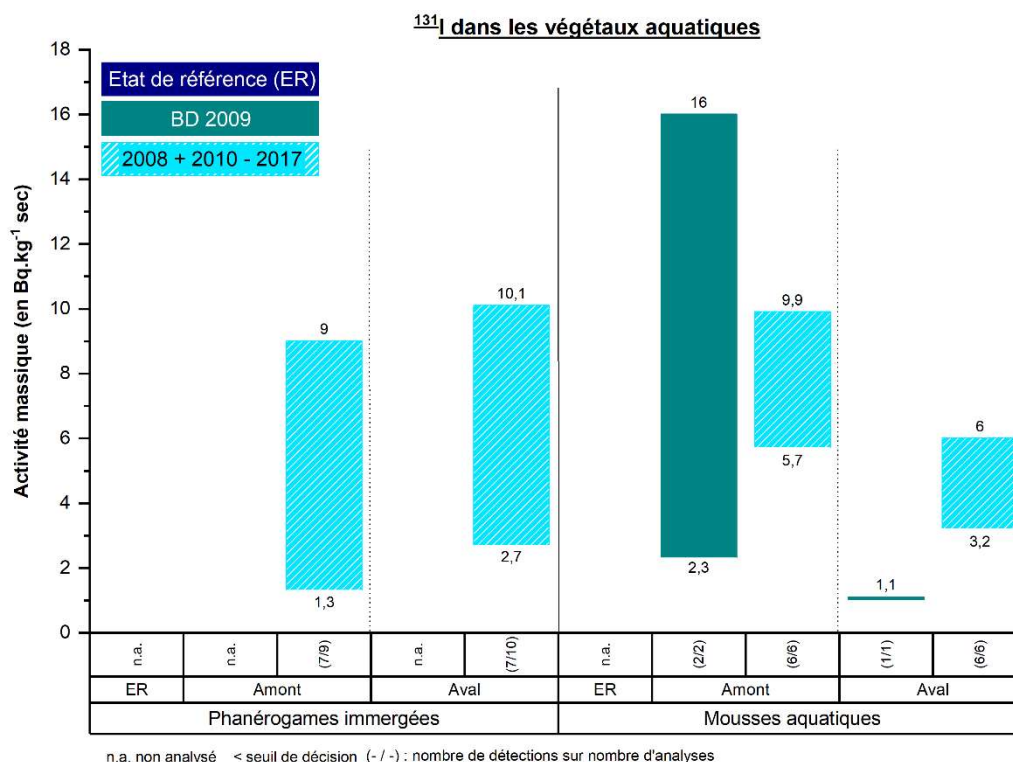


Figure 6.o Activités massiques de l'iode 131 dans les végétaux aquatiques prélevés à l'amont et à l'aval du point de rejet

6.1.5.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

A l'occasion du bilan décennal de 2009, les principaux radionucléides émetteurs bêta (tritium libre et organiquement lié, carbone 14 et strontium 90) ont fait l'objet d'une recherche spécifique dans la majorité des matrices de l'environnement aquatique (sédiments, phanérogames immergées, mousses aquatiques, mollusques, poissons et eau douce). A cette occasion, le nickel 63 a été recherché dans les sédiments et les poissons. Lors des suivis annuels, le tritium et le carbone 14, présents dans les rejets du CNPE ont été suivis dans les matrices les plus adaptées.

6.1.5.2.2.1. Tritium

Lors de l'état de référence initial (ou point zéro), le **tritium libre (HTO)** a été recherché dans l'eau douce. Les activités étaient comprises entre 0,9 et 35,6 Bq/L d'eau. Lors du bilan décennal de 2009, il a été recherché dans les phanérogames immergées, les mousses aquatiques, les mollusques, les poissons et l'eau douce. Il a fait l'objet d'un suivi annuel à partir de 2008 dans les poissons et l'eau douce (eau de boisson), ainsi que dans les mousses aquatiques en 2010, 2011 puis annuellement dans cette matrice depuis 2015.

La [Figure 6.p](#) montre que les activités en **tritium libre (HTO)** mesurées dans les matrices aquatiques sont comparables entre l'amont (de 0,8 ± 0,7 à 2,2 ± 0,6 Bq/L d'eau de déshydratation) et l'aval du CNPE (de 0,8 ± 0,7 à 2,4 ± 0,6 Bq/L d'eau de déshydratation) et dans la gamme des valeurs mesurées dans l'environnement aquatique continental hors influence industrielle²³. Seule une valeur mesurée dans un échantillon de mollusques prélevés à l'aval du CNPE en 2009 (5,2 ± 0,8 Bq/L d'eau de déshydratation) est supérieure à celle attendue hors influence ; ce qui témoigne d'une influence ponctuelle des rejets liquides du CNPE de Fessenheim sur cette matrice.

²³ IRSN, juillet 2017. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 76 p.

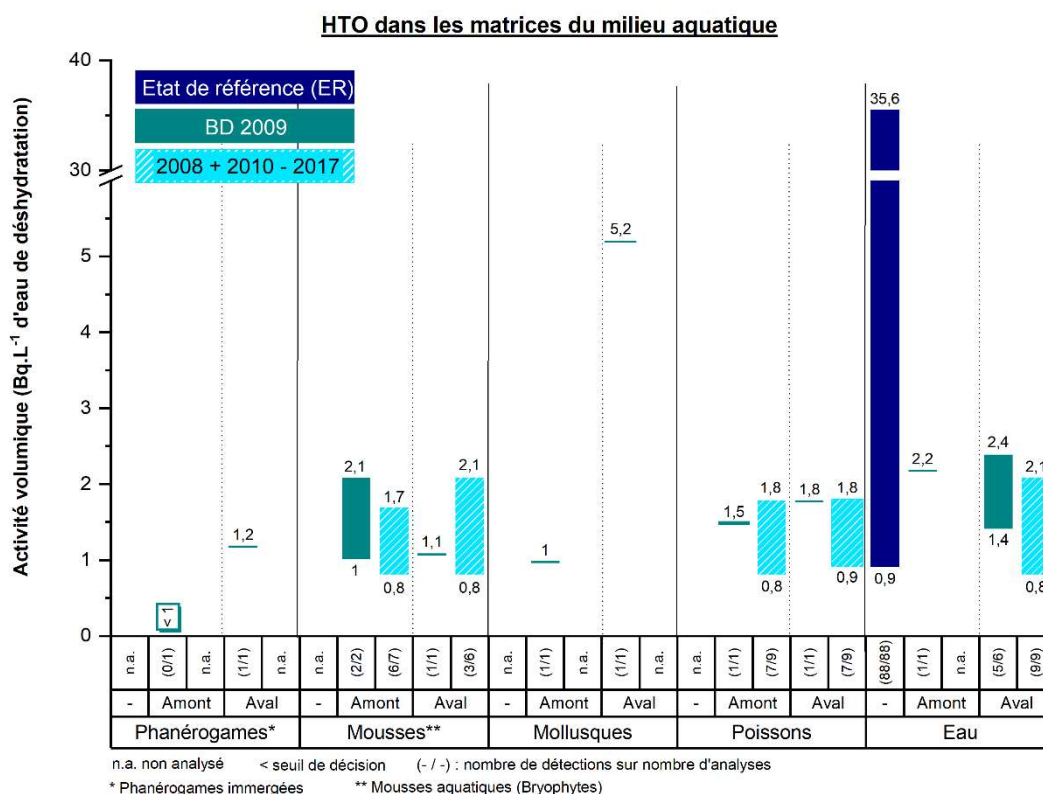


Figure 6.p Activités volumiques du tritium libre (HTO) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet

L'activité en **tritium organiquement lié (TOL)** a été mesurée principalement lors du bilan décennal de 2009 dans les sédiments, les phanérogames immergées, les mousses aquatiques et les poissons. Il a fait l'objet d'un suivi annuel à partir de 2012 dans les poissons. Il est détecté systématiquement dans l'ensemble des matrices à des activités comprises entre 2,6 et 12 500 Bq/L d'eau de combustion.

Les mesures de **tritium organiquement lié (TOL)** présentées à la [Figure 6.q](#) sont de manière générale plus élevées que le bruit de fond hors influence (< 3,4 Bq/L d'eau de combustion dans les végétaux aquatiques et entre 0,7 ± 0,7 et 29 ± 17 Bq/L d'eau de combustion dans les sédiments²⁴) dans toutes les matrices aquatiques en amont, ce qui témoigne de l'influence des installations nucléaires situées en amont (industries horlogères et centrales nucléaires suisses). Dans les phanérogames immergées et les mousses aquatiques, les niveaux d'activité mesurés en 2009 sont comparables entre l'amont et l'aval, à l'exception d'une valeur plus élevée obtenue dans un échantillon de mousses aquatiques prélevé à l'amont qui pourrait correspondre à la présence de sédiment fixé sur les mousses. Les activités élevées observées dans les sédiments, prélevés autour du CNPE, témoignent d'un marquage général du Rhin, déjà observé par le passé²⁵. Il est à relier à l'utilisation du tritium dans l'industrie des peintures luminescentes en horlogerie.

En revanche, dans les sédiments et les poissons (à l'exception de 2013 et 2015), les activités mesurées à l'aval en TOL sont supérieures à celles obtenues à l'amont, ce qui témoigne d'une influence des rejets liquides du CNPE de Fessenheim sur ces matrices.

²⁴ IRSN, juillet 2017. Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement. PRP-ENV/SERIS/2017-00004, 76 p.

²⁵ Gontier G., 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'Electricité français. Radioprotection, Vol.46, n°4, 457-491.

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'activité en tritium libre (HTO) et tritium organiquement lié (TOL) mesurés dans l'environnement aquatique du CNPE de Fessenheim mettent en évidence une influence des rejets d'effluents tritiés du CNPE sur les mollusques (HTO en 2009) et dans une moindre mesure sur les poissons (TOL certaines années), influence dont l'impact est négligeable, à laquelle se superpose celle des rejets liquides des installations nucléaires suisses situées en amont.

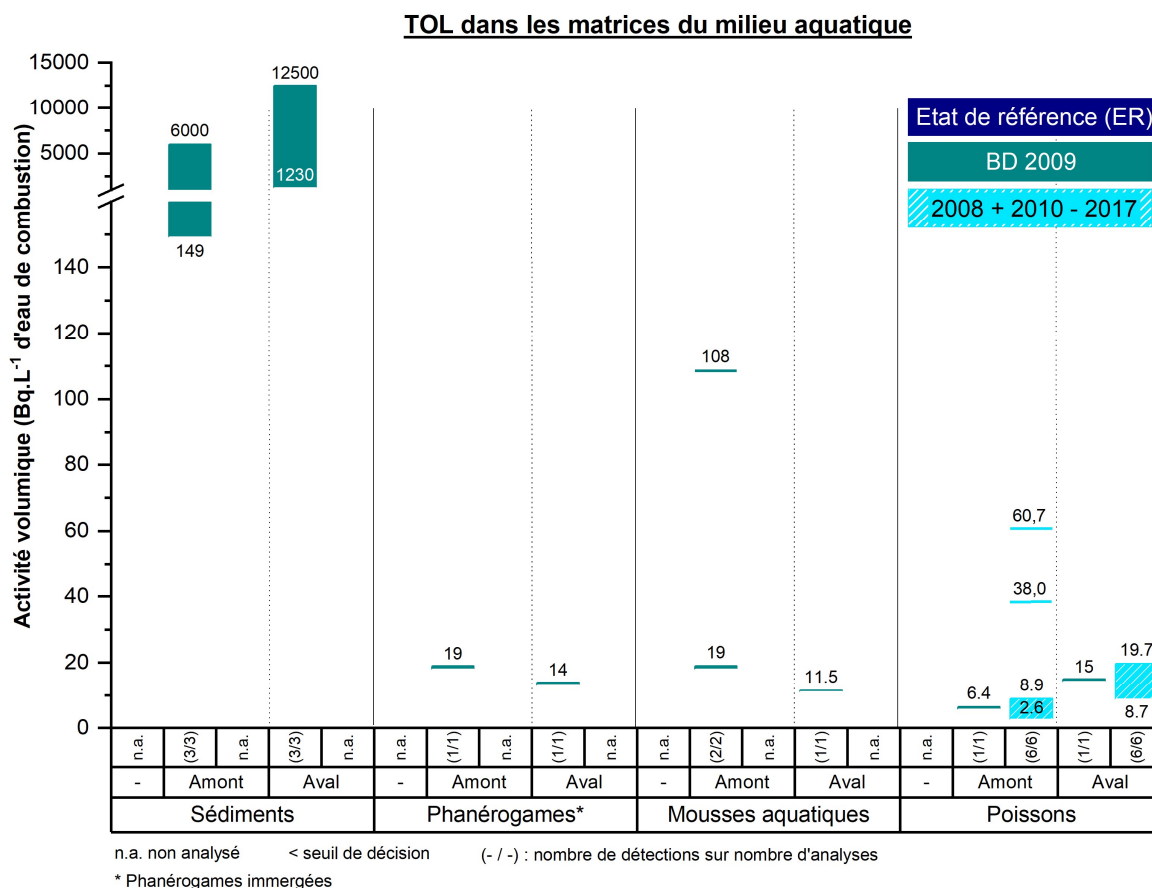


Figure 6.q Activités volumiques du tritium organiquement lié (TOL) dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet

6.1.5.2.2.2. Carbone 14

L'activité en **carbone 14** a été mesurée lors du bilan décennal de 2009 dans les sédiments, les phanérogames immergées, les mollusques, les poissons et l'eau douce, puis, il a fait l'objet d'un suivi annuel à partir de 2012 dans les poissons.

La [Figure 6.r](#) présente les activités spécifiques en **carbone 14** mesurées sur la période 2008 - 2017. Les résultats acquis sur les prélèvements de l'environnement aquatique proche du CNPE de Fessenheim sont compris entre 166 et 354 Bq/kg de carbone. Les activités spécifiques de carbone 14 sont comparables entre l'amont et l'aval du CNPE, à l'exception d'un marquage à l'aval dans les mollusques en 2009 et les poissons certaines années (2009, 2014 et 2016), témoignant d'une influence ponctuelle des rejets d'effluents liquides du CNPE sur ces matrices aquatiques. Dans ces matrices, certaines valeurs en carbone 14 mesurées en amont sont, certaines années, également

plus élevées que les niveaux hors influence observés en milieu fluvial (199 à 238 Bq/kg de carbone²⁶ dans les poissons) témoignant d'une influence des installations situées à l'amont du CNPE.

Il ressort de cette analyse que les niveaux d'activité en carbone 14 mesurés dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE dans les mollusques en 2009 et dans les poissons en 2009, 2014 et 2016 témoignent d'une influence ponctuelle des rejets d'effluents liquides du CNPE de Fessenheim, influence dont l'impact est négligeable, à laquelle se superpose celle des rejets liquides des installations nucléaires suisses situées en amont.

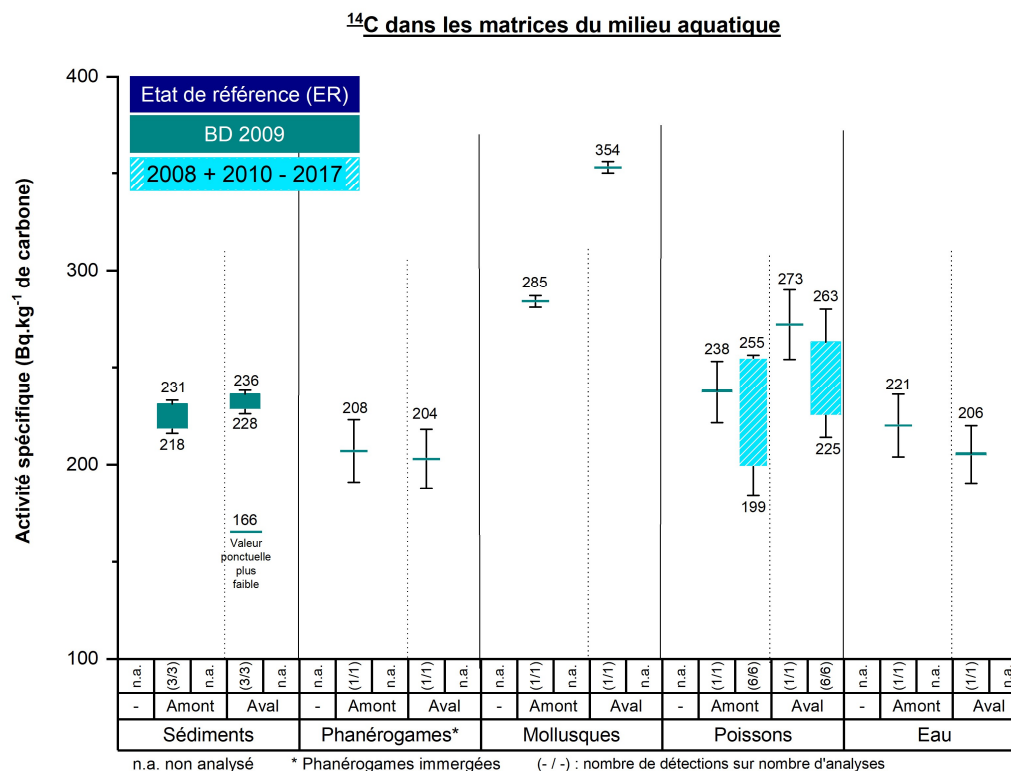


Figure 6.r Activités spécifiques du carbone 14 dans les matrices de l'environnement aquatique prélevées à l'amont et à l'aval du point de rejet

6.1.5.2.3. Strontium 90

La recherche de radionucléides non présents dans les rejets du CNPE tel que le **strontium 90** est réalisée à une fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche.

Lors du bilan décennal de 2009, le **strontium 90** a été recherché dans les sédiments, les mousses aquatiques et l'eau de boisson. Ce radionucléide a ainsi été détecté dans ces matrices, à des activités comparables entre l'amont et l'aval, et cohérentes avec celles d'un CNPE soumis uniquement aux retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

²⁶ Eyrolle-Boyer F., Claval D., Cossonnet C., Zebracki M., Gairoard S., Radakovitch O., Clamon P., Leclerc E. 2015. Tritium and 14C background levels in pristine aquatic systems and their potential sources of variability. Journal of Environmental Radioactivity, 139: 24-32.

Il ressort de cette étude que les niveaux de radioactivité de l'émetteur bêta strontium 90 (absent du spectre des rejets d'effluents liquides du CNPE) mesurés dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE trouvent leur origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

6.1.5.2.2.4. Nickel 63

Du **nickel 63** a été recherché dans le cadre du bilan décennal de 2009 dans les sédiments et les poissons. Les activités mesurées dans les poissons, à l'état de traces, sont comparables entre l'amont ($0,018 \pm 0,013$ Bq/kg frais) et l'aval ($0,0150 \pm 0,0095$ Bq/kg frais). Dans les sédiments, les valeurs sont toutes inférieures au seuil de décision ($< 0,143$ Bq/kg sec).

6.1.5.2.2.1. Fer 55

Du **fer 55** a été recherché dans le cadre du bilan décennal de 2009 dans les poissons. Les activités mesurées sont inférieures aux seuils de décision à l'amont ($< 0,6$ Bq/kg frais) comme à l'aval ($< 0,2$ Bq/kg frais).

6.1.5.2.3. Radionucléides émetteurs alpha

La recherche de radionucléides non présents dans les rejets du CNPE tel que les radionucléides émetteurs alpha est réalisée à fréquence décennale pour acquérir des valeurs de référence dans l'environnement proche, ces radionucléides étant présents dans l'environnement du fait des essais nucléaires aériens.

Lors du bilan décennal de 2009, les **radionucléides émetteurs alpha** (plutonium 238, plutonium 239+240 et américium 241) ont donc été recherchés dans les sédiments et les mousses aquatiques. Tous les échantillons ont été prélevés en amont et en aval du CNPE.

Le plutonium 238, le plutonium 239+240 et l'américium 241 sont détectés systématiquement dans ces matrices.

L'exploitation des rapports d'activité $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ permet de préciser l'origine de ces radionucléides. Compris entre $0,022 \pm 0,008$ et $0,029 \pm 0,009$ pour le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et entre $0,24 \pm 0,04$ et $0,48 \pm 0,09$ pour le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, ces rapports témoignent de la présence de transuraniens issus 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 6.1.1.2.1](#)).

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus lors des deux premiers bilans radioécologiques décennaux de 1989 et 1998.

Il ressort de cette analyse que les niveaux de radioactivité des radionucléides émetteurs alpha mesurés dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim trouvent leur origine dans les retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens.

6.1.5.3. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

La radioactivité d'origine naturelle est essentiellement due au potassium 40 détecté dans les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons, ainsi qu'au béryllium 7 détecté principalement dans les végétaux aquatiques et les sédiments. Ces radionucléides sont accompagnés, à des activités et fréquences moindres, de ceux issus des familles du thorium 232 et de l'uranium 238.

La radioactivité gamma d'origine artificielle présente dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE est principalement due au césium 137 qui trouve son origine dans les essais nucléaires aériens et l'accident de Tchernobyl. La présence dans l'environnement aquatique des cobalts 58 et 60, et plus ponctuellement de manganèse 54 et d'argent 110 métastable est attribuable aux rejets d'effluents liquides des installations suisses localisées en amont. Cependant, une contribution potentielle des rejets liquides du CNPE de Fessenheim ne peut être exclue, contribution dont l'impact est négligeable. L'iode 131 mesuré à l'amont et à l'aval du CNPE, a une origine exogène (installations nucléaires suisses et centres médicaux ou de recherche).

Les activités en carbone 14 et en tritium libre et organiquement lié, supérieures à l'aval par rapport à celles de l'amont certaines années (HTO et carbone 14 dans les mollusques et dans une moindre mesure, TOL et carbone 14 dans les poissons), peuvent être reliées aux rejets d'effluents liquides du CNPE, dont l'impact est négligeable, auxquels se superposent ceux des installations nucléaires suisses situées en amont.

Le strontium 90 et les radionucléides émetteurs alpha (α) (plutonium 238, plutonium 239 et 240, américium 241) détectés dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim proviennent des retombées anciennes des essais nucléaires aériens.

Les résultats des études radiologiques montrent que la radioactivité d'origine artificielle présente dans l'environnement aquatique proche du CNPE de Fessenheim est principalement issue des retombées atmosphériques anciennes et des rejets autorisés d'effluents radioactifs liquides du CNPE en diminution depuis les années 1990. Certaines mesures d'activité traduisent une influence locale et ponctuelle des rejets d'effluents liquides du CNPE sur l'environnement, influence dont l'impact est négligeable. La surveillance hydroécologique réalisée de 2008 à 2017 dans l'environnement du CNPE de Fessenheim ne montre pas d'évolution anormale du milieu aquatique imputable au fonctionnement du CNPE.

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

La radioactivité présente dans les environnements terrestre et aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim 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 CNPE depuis l'état de référence.

Dans l'environnement terrestre au voisinage du CNPE de Fessenheim, la radioactivité d'origine artificielle provient majoritairement des retombées des essais nucléaires aériens, de l'accident de Tchernobyl et dans une moindre mesure de celui de Fukushima. À l'exception d'une mesure faible et ponctuelle de tritium organiquement lié (TOL) dans un sol dont l'impact est négligeable, l'analyse des résultats des études radioécologiques, depuis l'état de référence initial, montre l'absence de marquage significatif de l'environnement terrestre par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE de Fessenheim.

Dans l'environnement aquatique au voisinage du CNPE de Fessenheim, la radioactivité d'origine artificielle provient majoritairement des retombées des essais nucléaires aériens, de l'accident de Tchernobyl, des rejets d'effluents liquides du CNPE et des installations nucléaires situées en amont. La baisse des activités mesurées observée depuis le début des années 1990 se poursuit, en lien avec l'éloignement dans le temps des événements passés (essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl) et la diminution des rejets d'effluents liquides du CNPE. La surveillance hydroécologique réalisée de 2008 à 2017 dans l'environnement du CNPE de Fessenheim ne montre pas d'évolution anormale de l'état du milieu aquatique imputable au fonctionnement du CNPE.

Les rejets radioactifs effectués à ce jour par le CNPE de Fessenheim n'ont globalement pas modifié les caractéristiques radiologiques de l'environnement. La radioactivité présente dans l'environnement terrestre et aquatique du CNPE de Fessenheim est majoritairement d'origine naturelle et est du même ordre de grandeur depuis l'état de référence.

Le fonctionnement du CNPE de Fessenheim n'a pas conduit à une augmentation significative des niveaux de radioactivité dans l'environnement.

↘ ÉVOLUTION DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT EN L'ABSENCE DE MISE EN ŒUVRE DU PROJET

Indépendamment de la mise en œuvre du projet de démantèlement de l'INB n°75, l'évolution radiologique de l'environnement nécessite de connaître l'origine des radionucléides susceptibles d'être détectés. On distingue deux grandes familles : la première, majoritaire, caractérise les radionucléides d'origine naturelle (cosmique et tellurique) et la seconde caractérise les radionucléides d'origine artificielle (retombées atmosphériques des essais nucléaires aériens (1945 à 1980), accidents nucléaires (Tchernobyl en 1986 et Fukushima en 2011), rejets autorisés d'INB, sites de fabrication et de retraitement du combustible, sites de stockage, sites militaires et établissements de santé). Certains radionucléides comme le carbone 14 et le tritium possèdent une double origine (naturelle et artificielle).

Ainsi, en l'absence de mise en œuvre du projet, la radioactivité d'origine naturelle resterait inchangée. La radioactivité d'origine artificielle liée aux événements anciens (retombées des essais nucléaires aériens et accident de Tchernobyl) serait appelée à diminuer à long terme dans l'environnement en fonction des périodes de demi-vie des différents radionucléides. La radioactivité d'origine artificielle liée aux rejets d'effluents du CNPE serait appelée également à diminuer. Cette évolution de la radioactivité d'origine artificielle ne prend pas en compte les variations dues aux autres activités nucléaires sur le territoire (sites de fabrication et de retraitement du combustible, sites de stockage, sites militaires et établissements de santé).

6.2.

ANALYSE DES INCIDENCES

Afin d'évaluer l'incidence des rejets passés d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques du CNPE de Fessenheim sur l'environnement, une analyse rétrospective est réalisée dans un premier temps, en considérant les résultats de l'état de référence initial (point zéro), des bilans décennaux et des suivis annuels, objet du [Paragraphe 6.1](#).

Dans un deuxième temps, une analyse prospective est réalisée via l'utilisation de l'outil européen ERICA d'évaluation du risque radiologique sur les écosystèmes terrestre et aquatique aux limites de rejets demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim.

6.2.1. EVALUATION RETROSPECTIVE SUR LA BASE DES MESURES EFFECTUEES DANS L'ENVIRONNEMENT

L'évaluation rétrospective de l'état radiologique de l'environnement au voisinage du CNPE de Fessenheim s'appuie sur les études radioécologiques « bas bruit de fond » menées avant et depuis la mise en service du CNPE.

Ces études radioécologiques sont basées sur un programme d'échantillonnage et d'analyse qui vise à caractériser finement les niveaux de radioactivité dans l'environnement et à évaluer dans quelle mesure l'exploitation des installations du CNPE contribue à l'apport de radionucléides artificiels sur le long terme dans le milieu récepteur au regard des autres sources potentielles.

Les résultats de mesure sont présentés pour l'environnement terrestre, dans le [Paragraphe 6.1.4](#) et pour l'environnement aquatique, dans le [Paragraphe 6.1.5](#).

En conclusion, les rejets radioactifs effectués jusqu'à ce jour par le CNPE de Fessenheim n'ont globalement pas modifié les caractéristiques radiologiques des milieux terrestre et aquatique. La radioactivité présente dans les milieux terrestre et aquatique du CNPE de Fessenheim est majoritairement d'origine naturelle et est du même ordre de grandeur depuis l'état de référence initial.

Le fonctionnement du CNPE de Fessenheim n'a pas conduit à une augmentation significative des niveaux de radioactivité dans l'environnement.

6.2.2. EVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL

Afin d'évaluer l'incidence potentielle des rejets d'effluents radioactifs du projet de démantèlement de l'INB n°75, une évaluation du risque environnemental est réalisée selon les étapes présentées ci-dessous, qui sont explicitées dans les [Paragraphe 6.2.2.1.1](#) à [6.2.2.1.4](#) pour l'environnement terrestre et dans les [Paragraphe 6.2.2.2.1](#) à [6.2.2.2.4](#) pour l'environnement aquatique :

- étape 1 : définition des voies d'exposition et des organismes de référence ;
- étape 2 : détermination des points d'intérêt retenus ;
- étape 3 : évaluation des activités dans l'air et dans les sols pour l'environnement terrestre et dans l'eau et les sédiments pour l'environnement aquatique ;
- étape 4 : évaluation des débits de dose reçus par les organismes de référence ;
- étape 5 : évaluation du risque environnemental et comparaison avec la valeur de débit total de dose sans effet de 10 µGy/h.

Dès l'étape 2, les limites de rejets demandées et les spectres associés (Cf. [Annexe 1, Paragraphes 4 et 5](#)) dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont considérés.

Les étapes 4 et 5 font appel à l'utilisation de l'outil ERICA, développé dans le cadre d'un programme de recherche européen (2004 - 2007), permettant l'évaluation du risque environnemental induit par la présence de radionucléides dans l'environnement terrestre et aquatique. La présente évaluation est effectuée avec la version V1.2.1 de février 2016 de cet outil. L'outil est utilisé par EDF pour les études d'impact et les mises à jour des études d'impact depuis 2008. Les principales hypothèses, paramètres et caractéristiques des calculs sont présentées dans [Paragraphe 6.5](#).

6.2.2.1. EVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS A L'ATMOSPHERE

6.2.2.1.1. Définition des voies d'exposition et des organismes de référence pour l'écosystème terrestre

La méthode ERICA repose sur un modèle conceptuel simplifié d'écosystème récepteur : l'exposition externe ou interne de chaque organisme de référence est établie en fonction de son milieu de vie (air/sol et air/eau).

Ainsi pour l'écosystème terrestre, l'exposition externe sera évaluée différemment selon que les organismes vivent dans le sol (invertébré du sol), à la surface du sol (gastéropode, mammifère), partiellement dans le sol (herbe, arbre) ou dans l'air (insecte volant).

De même, les voies d'exposition interne retenues sont les voies par transfert foliaire et/ou racinaire pour les végétaux ; l'inhalation, l'abreuvement, l'ingestion de sol et de végétaux issus du milieu récepteur pour les mammifères herbivores.

Les organismes de référence représentatifs de l'écosystème terrestre intégrés dans l'outil ERICA sont présentés dans le [Tableau 6.b](#).

La liste des espèces présentes dans l'environnement terrestre du site de Fessenheim a été consultée (Cf. [Chapitre 7, Paragraphe 7.2](#)) afin de déterminer si les organismes génériques référencés dans l'outil ERICA pour l'écosystème terrestre sont adaptés à l'évaluation du risque environnemental dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim. Les caractéristiques morphologiques, biologiques et comportementales de ces espèces ont été examinées afin de

déterminer si elles permettaient de les associer à l'un des organismes génériques intégrés à l'outil ERICA.

Toutes les espèces présentes dans l'environnement terrestre du site de Fessenheim ont pu être assimilées à un organisme générique de l'outil ERICA.

Ecosystème terrestre		
Amphibien	Herbes et pelouses	Gastéropode
Annélide	Lichen et bryophytes	Reptile
Invertébré détritivore	Mammifère (daim)	Arbuste
Oiseau	Mammifère (rat)	Arbre
Insecte volant		

Tableau 6.b Organismes de référence de l'outil ERICA pour l'écosystème terrestre

6.2.2.1.2. Détermination des points d'intérêt retenus

Les deux critères principaux guidant la sélection des points retenus pour évaluer le risque environnemental lié aux effluents émis à l'atmosphère dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont la définition des zones les plus influencées par les vents dominants et des points d'intérêt écologique des zones considérées. Les émissaires de rejets d'effluents radioactifs atmosphériques considérés sont la cheminée du BAN et les cheminées des ventilations modulaires (Cf. [Chapitre 2, Paragraphe 2.4.4.1](#)).

La première étape a consisté à analyser la rose des vents afin de déterminer la direction préférentielle des vents. L'environnement terrestre est principalement influencé par les vents dominants et secondaires provenant respectivement du secteur sud-sud-ouest et nord-nord-est portant les effluents atmosphériques en majorité vers le secteur nord-nord-est et vers le secteur sud-sud-ouest du site.

La seconde étape consiste à définir les points d'intérêt écologique à proximité du site. L'intérêt écologique des zones est évalué en considérant les zonages écologiques français et européens (Natura 2000 dont font partie les ZSC²⁷, ZNIEFF²⁸, etc.) décrits dans l'état de référence des espèces protégées et des espaces naturels (Cf. [Chapitre 7, Paragraphe 7.2](#)). La méthodologie employée par EDF prend également en compte toute zone remarquable de l'environnement proche du site non répertoriée dans une classification écologique mais pouvant présenter un intérêt écologique car abritant des espèces faunistiques et floristiques notables.

Ainsi, 12 points ont été sélectionnés dans les zones citées précédemment, à différentes distances du site en tenant compte de la rose des vents (Cf. [Figure 6.s](#)).

Il a été nécessaire d'ajouter une troisième étape du fait des différentes périodes de démantèlement prévues et des rejets associés afin de choisir la période enveloppe à considérer, présentant le point d'intérêt le plus impacté par les rejets. La période du démantèlement avec les piscines BK en eau et les piscines BR en eau avec démantèlement sous eau (phase 2 correspondant au démantèlement sous eau de la cuve et des internes, Cf. [Annexe 1, Paragraphe 4.5](#)) a été retenue, les activités rejetées sur cette période étant majorantes.

²⁷ ZSC : Zones Spéciales de Conservation.

²⁸ ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique.

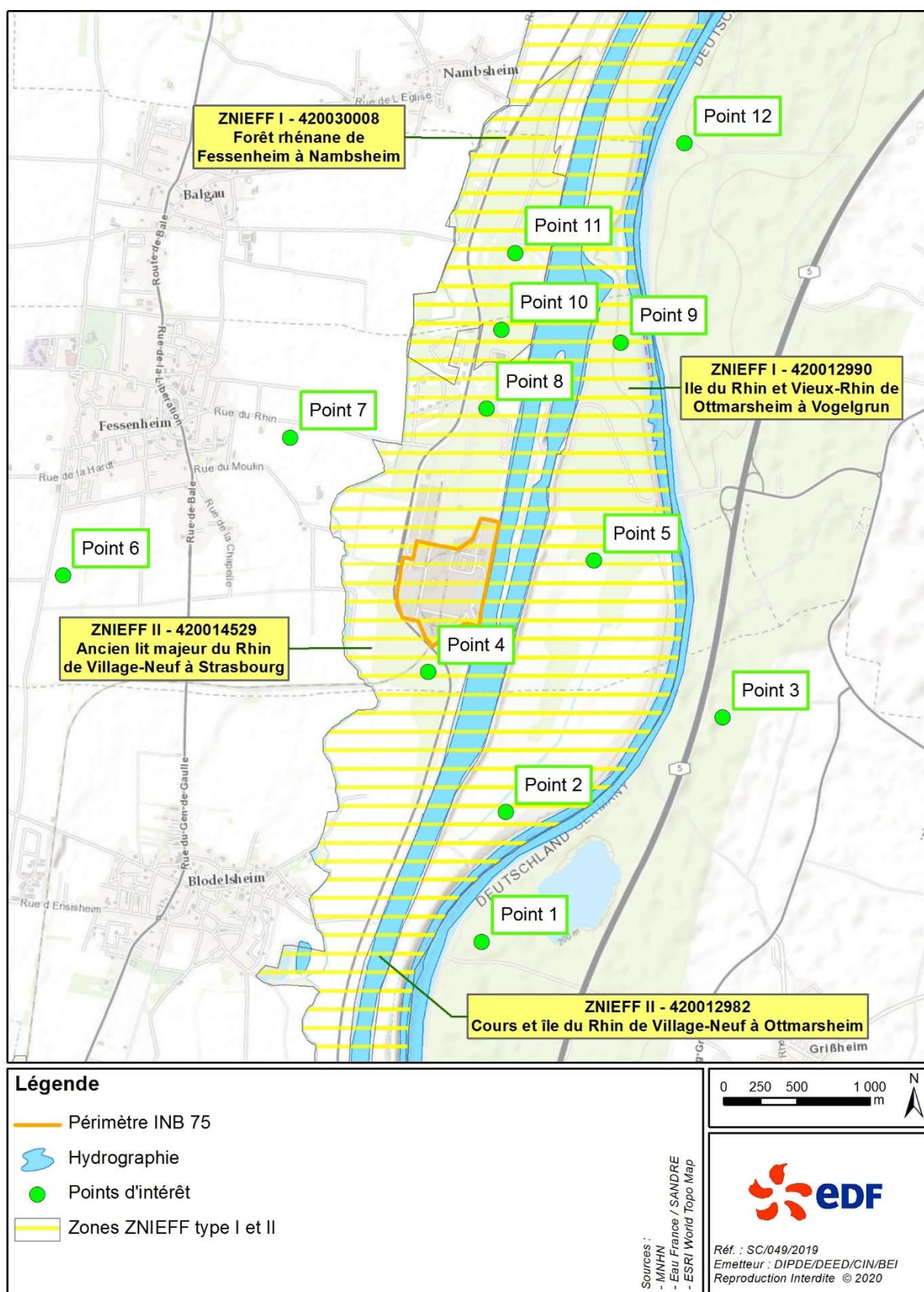


Figure 6.s Localisation des points étudiés pour évaluer le risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du site sur l'environnement terrestre

Pour cette période, les Coefficients de Transferts Atmosphériques (CTA) pour les 12 points identifiés ont été estimés grâce à l'outil SYMBIOSE, outil utilisé pour l'évaluation des conséquences radiologiques à l'homme des rejets radioactifs à l'atmosphère (Cf. [Chapitre 8, Paragraphe 8.2.1](#)). Le CTA est un coefficient permettant de quantifier la dispersion atmosphérique d'un radionucléide entre le point de rejet et le point de calcul. En chaque point, les concentrations atmosphériques et les CTA sont liés par la relation suivante :

$$C_p = CTA_p \times Q \times 10^3$$

Avec :

- C_p : concentration atmosphérique de la substance (mg/m^3) en un point p de coordonnées (x ; y ; z) ;
- CTA_p : Coefficient de Transfert Atmosphérique en ce point (s/m^3) ;
- Q : débit massique de rejet de la substance (g/s).

Le calcul des CTA a permis de déterminer le point, parmi les 12 points sélectionnés, pour lequel les activités dans l'air sont les plus élevées. La localisation des points et les CTA correspondants, sont indiqués dans le [Tableau 6.c](#).

Lieux d'étude	Coordonnées Lambert II étendu		CTA moyen (s/m^3)
	X	Y	
Point 1	990654,3	2333215,4	$7,8 \cdot 10^{-08}$
Point 2	990811,7	2334110,0	$8,0 \cdot 10^{-08}$
Point 3	992293,6	2334770,8	$3,1 \cdot 10^{-08}$
Point 4	990272,5	2335065,5	$3,1 \cdot 10^{-08}$
Point 5	991400,6	2335837,4	$3,2 \cdot 10^{-08}$
Point 6	987763,0	2335704,2	$1,7 \cdot 10^{-08}$
Point 7	989311,9	2336662,4	$2,0 \cdot 10^{-08}$
Point 8	990656,6	2336872,7	$1,2 \cdot 10^{-07}$
Point 9	991570,8	2337333,0	$1,2 \cdot 10^{-07}$
Point 10	990752,4	2337414,4	$1,7 \cdot 10^{-07}$
Point 11	990844,4	2337940,2	$2,0 \cdot 10^{-07}$
Point 12	991997,7	2338700,8	$1,0 \cdot 10^{-07}$

Tableau 6.c Coordonnées et Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) des points étudiés

La comparaison des CTA permet de déterminer la zone écologique potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère réalisés dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim. Dans le cas d'étude présent, il s'agit du point 11, situé au nord du site.

Ainsi, l'évaluation du risque radiologique sur l'environnement terrestre des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques, aux limites de rejets demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim, est réalisée au point 11.

6.2.2.1.3. Évaluation des activités dans l'air et dans les sols

Les activités dans l'environnement terrestre des radionucléides issus des rejets d'effluents à l'atmosphère dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont calculées au point d'étude retenu en utilisant l'outil SYMBIOSE.

Les activités volumiques dans l'atmosphère et les activités massiques dans le sol ainsi obtenues sont présentées dans le [Tableau 6.d](#) et le [Tableau 6.e](#).

Dans le cas de l'évaluation du risque environnemental dans l'environnement terrestre, l'activité renseignée dans l'outil ERICA pour le tritium et le carbone 14 est l'activité volumique dans l'air contrairement aux autres radionucléides pour lesquels l'activité requise est l'activité massique dans le sol. L'outil prend en compte les fils des familles de radionucléide d'une période inférieure à 10 jours.

Dans le cadre de ce Dossier, l'évaluation de niveau 2 de l'outil ERICA est directement utilisée car l'approche proposée est plus adaptée. En effet, l'évaluation de niveau 1 ne propose pas l'ensemble des radionucléides présents dans le spectre de rejets d'effluents radioactifs (absence du Fer 55).

Radionucléides	Activité volumique dans l'atmosphère (Bq/m ³)
³ H	3,2.10 ⁻⁰³
¹⁴ C	6,4.10 ⁻⁰³

Tableau 6.d Activités volumiques des radionucléides dans l'air au point d'étude du site de Fessenheim

Radionucléides	Activité massique dans le sol (Bq/kg de sol sec)
^{108m} Ag	1,9.10 ⁻⁰⁴
⁶⁰ Co	4,2.10 ⁻⁰³
¹³⁷ Cs	6,4.10 ⁻⁰⁵
¹⁵² Eu	1,6.10 ⁻⁰⁵
⁵⁵ Fe *	2,8.10 ⁻⁰³
⁶³ Ni	3,0.10 ⁻⁰²
⁹⁰ Sr	1,0.10 ⁻⁰⁴

* Radionucléide ajouté dans la modélisation de l'évaluation de niveau 2 de l'outil ERICA

Tableau 6.e Activités massiques des radionucléides dans le sol au point d'étude du site de Fessenheim

6.2.2.1.5. Évaluation des débits de dose et du risque environnemental sur l'environnement terrestre

Le [Tableau 6.f](#) présente les résultats de l'évaluation du risque environnemental pour l'environnement terrestre du site de Fessenheim, obtenus au point 11 pour la phase 2, en suivant l'évaluation de niveau 2 de l'outil ERICA. Ce tableau présente les débits de dose et les indices de risque calculés pour chaque organisme de référence.

Organisme de référence	Débit de dose total (μGy/h)	Indice de risque (-) (valeur conservative)
Amphibien	2,6.10 ⁻⁰⁴	7,7.10 ⁻⁰⁵
Annélide	8,8.10 ⁻⁰⁵	2,6.10 ⁻⁰⁵
Invertébré détritvore	8,8.10 ⁻⁰⁵	2,7.10 ⁻⁰⁵
Oiseau	2,6.10 ⁻⁰⁴	7,8.10 ⁻⁰⁵
Insecte volant	8,5.10 ⁻⁰⁵	2,5.10 ⁻⁰⁵
Herbes et pelouses	1,7.10 ⁻⁰⁴	5,1.10 ⁻⁰⁵
Lichen et bryophytes	1,7.10 ⁻⁰⁴	5,1.10 ⁻⁰⁵
Mammifères (grand)	2,6.10 ⁻⁰⁴	7,8.10 ⁻⁰⁵
Mammifère (petit)	2,6.10 ⁻⁰⁴	7,9.10⁻⁰⁵
Gastéropode	8,5.10 ⁻⁰⁵	2,5.10 ⁻⁰⁵
Reptile	2,6.10 ⁻⁰⁴	7,9.10⁻⁰⁵
Arbuste	1,7.10 ⁻⁰⁴	5,1.10 ⁻⁰⁵
Arbre	2,5.10 ⁻⁰⁴	7,6.10 ⁻⁰⁵

Tableau 6.f Débits de dose et indices de risque calculés au point d'étude

Les débits de dose reçus par les organismes de référence sont compris entre 8,5.10⁻⁵ μGy/h (insectes volants) et 2,6.10⁻⁴ μGy/h (mammifère (petit) et reptile). Les indices de risque calculés à partir de la valeur de débit total de dose sans effet (10 μGy/h) sont compris entre 2,5.10⁻⁵ et 7,9.10⁻⁵ respectivement pour les mêmes espèces.

Comme l'illustre la [Figure 6.t](#), ces indices de risque associés aux rejets d'effluents à l'atmosphère aux limites demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont inférieurs à 1 et permettent de conclure au caractère négligeable du risque selon la méthodologie ERICA (Cf. [Paragraphe 6.5](#)).

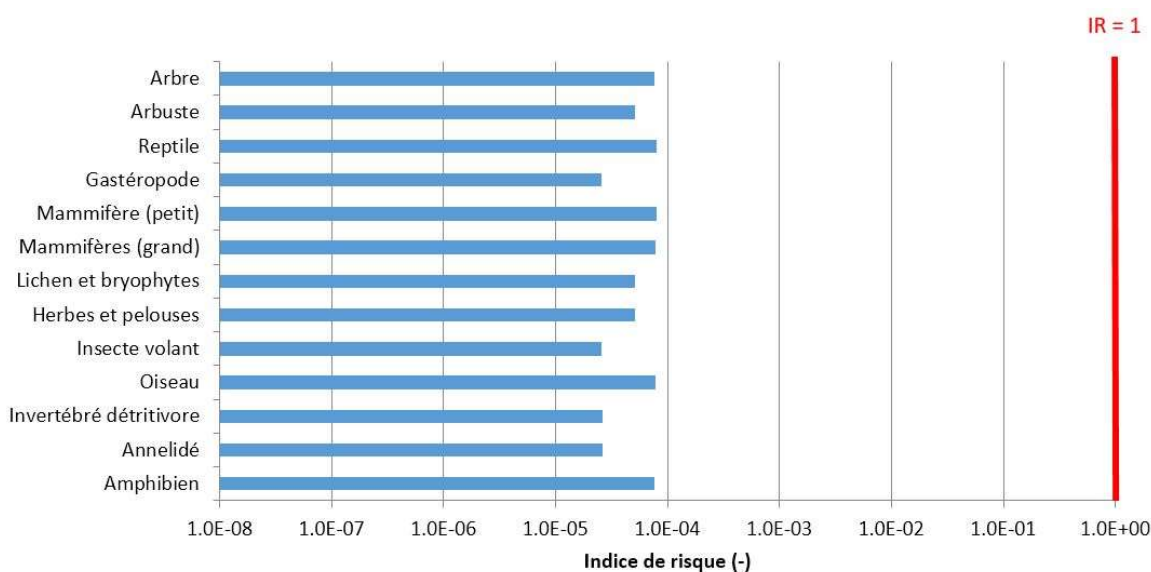


Figure 6.t Indices de risque calculés au point d'étude pour les organismes de référence de l'écosystème terrestre

En conclusion, les indices de risque environnemental associés aux rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère aux limites demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim, évalués selon la méthodologie ERICA, permettent de conclure au caractère négligeable du risque.

6.2.2.2. EVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES

6.2.2.2.1. Définition des voies d'exposition et des organismes de référence pour l'écosystème aquatique continental

La méthode ERICA repose sur un modèle conceptuel simplifié d'écosystème récepteur : l'exposition externe ou interne de chaque organisme de référence est établie en fonction de son milieu de vie (air/eau, eau, eau/sédiment et sédiment).

Ainsi pour l'écosystème aquatique continental, l'exposition externe dépend de plusieurs facteurs, tels que les niveaux de radioactivité de l'environnement, la relation géométrique entre la source de la radiation et l'organisme, l'habitat (sédiment (larve d'insecte), à la surface du sédiment (poisson benthique, mollusque gastéropode, etc.) ou dans l'eau (poisson pélagique, mammifère, etc.)), la taille de l'organisme, la propriété du milieu à agir comme barrière naturelle et les propriétés physiques des radionucléides présents.

De même, l'exposition interne se produit par l'incorporation de radionucléides via des mécanismes de transfert tels que l'ingestion ou le transfert racinaire.

Les organismes de référence représentatifs de l'écosystème aquatique continental intégrés dans l'outil ERICA sont présentés dans le [Tableau 6.g](#).

La liste des espèces présentes dans l'environnement aquatique continental du site de Fessenheim a été consultée (Cf. [Chapitre 7, Paragraphe 7.2](#)) afin de déterminer si les organismes génériques référencés dans l'outil ERICA pour l'environnement aquatique continental sont adaptés à l'évaluation du risque environnemental du site. De plus, les caractéristiques morphologiques, biologiques et comportementales de ces espèces ont été examinées afin de déterminer si elles permettaient de les associer à l'un des organismes génériques intégrés à l'outil ERICA.

Toutes les espèces présentes dans l'environnement aquatique du site de Fessenheim ont pu être assimilées à un organisme générique de l'outil ERICA.

Ecosystème aquatique continental		
Amphibien	Mammifère	Reptile
Poisson benthique	Mollusque bivalve	Plante vasculaire
Oiseau	Mollusque gastéropode	Zooplancton
Crustacé	Poisson pélagique	
Larve d'insecte	Phytoplancton	

Tableau 6.g Organismes de référence de l'outil ERICA pour l'écosystème aquatique continental

6.2.2.2. Détermination des points d'intérêt retenus

Les deux critères principaux guidant la sélection des points retenus pour évaluer le risque environnemental lié aux effluents liquides dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont la définition de la distance de dilution complète et des points d'intérêt écologique des zones considérées.

La première étape a consisté à analyser la dilution des rejets d'effluents liquides. La distance de dilution complète du CNPE de Fessenheim est située, pour un débit du cours d'eau au module, à 11 km du point de rejet.

Les conditions hydrauliques retenues pour évaluer le risque environnemental sont identiques à celles de l'évaluation des conséquences radiologiques sur l'homme des rejets radioactifs liquides (Cf. [Chapitre 8, Paragraphe 8.2.1](#)). En situation d'exposition chronique, les conditions hydrauliques fluviales adoptées pour évaluer le risque environnemental sont une dilution complète des rejets radioactifs liquides avec le débit moyen mensuel utilisé pour l'évaluation des conséquences radiologiques sur l'homme.

La seconde étape consiste à définir les points d'intérêt écologique à proximité du site. L'intérêt écologique des zones est évalué en considérant les zonages écologiques français et européens (Natura 2000, ZNIEFF, etc.) décrits dans l'état de référence des espèces protégées et des espaces naturels (Cf. [Chapitre 7, Paragraphe 7.2](#)). La méthodologie employée par EDF prend également en compte toute zone remarquable de l'environnement proche du site non répertoriée dans une classification écologique mais pouvant présenter un intérêt écologique car abritant des espèces faunistiques et floristiques notables. Tous les espaces d'intérêt écologique présents à l'aval de la distance de dilution complète sont considérés dans l'évaluation.

Il a été nécessaire d'ajouter une troisième étape du fait des différentes périodes de démantèlement prévues et des rejets associés afin de choisir la période enveloppe à considérer, présentant le point d'intérêt le plus impacté par les rejets. La période correspondant à la vidange des piscines BR et BK a été retenue, les activités rejetées sur cette période étant majorantes (année de type 3, Cf. [Annexe 1, Paragraphe 5.5](#)).

Ainsi, l'évaluation du risque environnement sur l'environnement aquatique continental des rejets d'effluents radioactifs liquides, aux limites de rejets demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim pour cette période, est réalisée à la distance de dilution complète.

6.2.2.2.3. Évaluation des activités dans l'eau et les sédiments

Les activités dans l'environnement aquatique continental des radionucléides issus des rejets d'effluents liquides générés dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont calculées en utilisant l'outil SYMBIOSE.

Les activités volumiques dans l'eau et les activités massiques dans les sédiments à la distance de dilution complète sont présentées dans le [Tableau 6.h](#). Ces activités ont été déterminées en considérant les limites de rejets demandées du site pour la période retenue.

Dans le cas de l'évaluation du risque environnemental dans l'environnement aquatique, l'activité renseignée dans l'outil ERICA pour le tritium et le carbone 14 est l'activité volumique dans l'eau contrairement aux autres radionucléides pour lesquels l'activité requise est l'activité massique dans les sédiments. L'outil prend en compte les fils des familles de radionucléide d'une période inférieure à 10 jours.

Dans le cadre de ce Dossier, l'évaluation de niveau 2 de l'outil ERICA est directement utilisée car l'approche proposée est plus adaptée. En effet, l'évaluation de niveau 1 ne propose pas l'ensemble des radionucléides présents dans le spectre de rejets d'effluents radioactifs (absence du Fer 55).

Radionucléides	Activité volumique dans l'eau (Bq/L)	Activité massique dans les sédiments (Bq/kg sec)
¹⁴ C	2,0E.10 ⁻⁰²	1,5.10 ⁺⁰¹
⁶⁰ Co	4,6.10 ⁻⁰⁵	9,8.10 ⁻⁰²
⁵⁵ Fe *	5,9.10 ⁻⁰⁵	7,4.10 ⁻⁰²
³ H	6,6.10 ⁻⁰²	7,4.10 ⁻⁰²
⁶³ Ni	5,9.10 ⁻⁰⁵	9,7.10 ⁻⁰²
⁹⁰ Sr	6,9.10 ⁻⁰⁷	3,6.10 ⁻⁰⁴

* Paramètres pour le reptile non disponibles dans la modélisation du niveau d'évaluation 2 de l'outil ERICA : utilisation des paramètres de l'amphibien

Tableau 6.h Activités volumiques et massiques des radionucléides dans l'eau et dans les sédiments à la distance de dilution complète du site de Fessenheim

6.2.2.2.4. Évaluation des débits de dose et du risque environnemental sur l'environnement aquatique continental

Le [Tableau 6.i](#) présente les résultats de l'évaluation du risque environnemental pour l'environnement aquatique continental du site de Fessenheim, obtenus à la distance de dilution complète, en suivant le niveau d'évaluation 2 de l'outil ERICA. Ce tableau présente les débits de dose et les indices de risque calculés pour chaque organisme de référence à partir des activités aux limites de rejets demandées du site.

Organismes de référence	Débit de dose total (μGy/h)	Indice de risque (-) (valeur conservative)
Amphibien	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Poisson benthique	1,1.10 ⁻⁰¹	3,2.10⁻⁰²
Oiseau	1,1.10 ⁻⁰¹	3,2.10⁻⁰²
Crustacé	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Larve d'insecte	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Mammifère	1,1.10 ⁻⁰¹	3,2.10⁻⁰²
Mollusque bivalve	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Mollusque gastéropode	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Poisson pélagique	1,1.10 ⁻⁰¹	3,2.10⁻⁰²
Phytoplancton	2,2.10 ⁻⁰³	6,6E ⁻⁰⁴
Reptile	1,0.10 ⁻⁰¹	3,1.10 ⁻⁰²
Plante vasculaire	4,9.10 ⁻⁰³	1,5E ⁻⁰³
Zooplancton	9,8.10 ⁻⁰²	2,9.10 ⁻⁰²

Tableau 6.i Débits de dose et indices de risque calculés à la distance de dilution complète

Les débits de dose reçus par les organismes de référence sont compris entre 2,2.10⁻³ μGy/h (phytoplancton) et 1,1.10⁻¹ μGy/h (poisson benthique, oiseau, mammifère et poisson pélagique). Les indices de risque calculés à partir de la valeur de débit total de dose sans effet (10 μGy/h) sont compris entre 6,6.10⁻⁴ et 3,2.10⁻² respectivement pour les mêmes espèces.

Comme l'illustre la [Figure 6.u](#), ces indices de risque associés aux rejets d'effluents liquides aux limites demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim sont inférieurs à 1 et permettent de conclure au caractère négligeable du risque selon la méthodologie ERICA (Cf. [Paragraphe 6.5](#)).

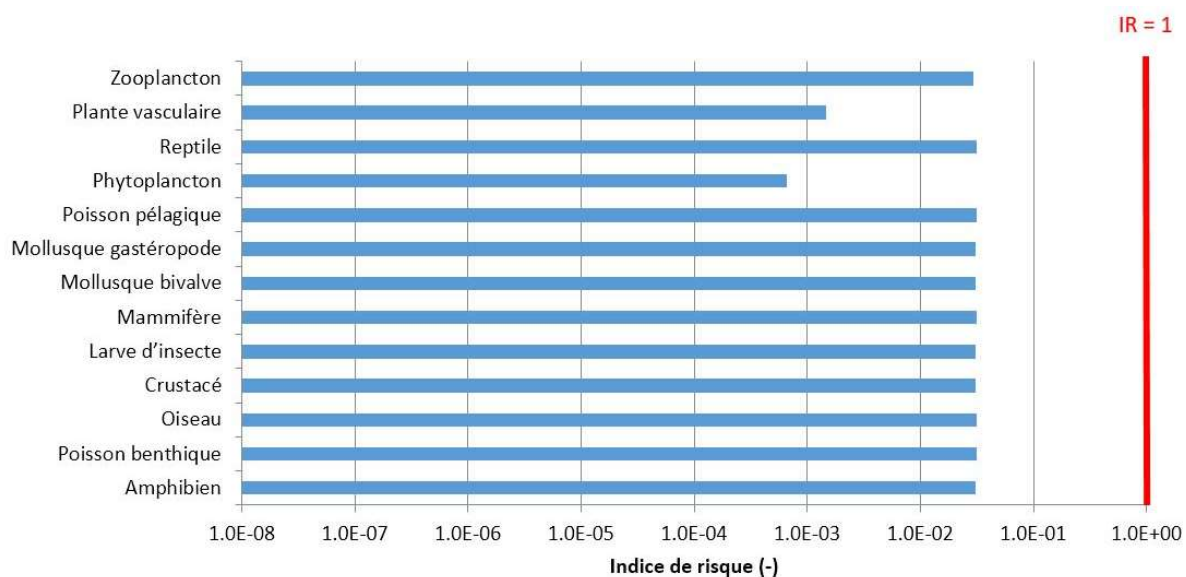


Figure 6.u Indices de risque calculés à la distance de dilution complète pour les organismes de référence de l'écosystème aquatique continental

En conclusion, les indices de risque environnemental associés aux rejets d'effluents radioactifs liquides aux limites demandées dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim, évalués selon la méthodologie ERICA, permettent de conclure au caractère négligeable du risque.

6.3.

SURVEILLANCE

6.3.1. SURVEILLANCE DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS A L'ATMOSPHÈRE

6.3.1.1. SURVEILLANCE DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS A L'ATMOSPHERE PAR LA CHEMINEE DU BAN PUIS PAR LES CHEMINEES DES UNITES DE VENTILATION MODULAIRE

La surveillance des effluents radioactifs à l'atmosphère est destinée à s'assurer du respect des valeurs limites demandées dans le [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.4](#). Ces valeurs limites portent sur :

- l'activité annuelle rejetée pour les catégories « tritium », « carbone 14 » et « autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma » pour l'ensemble des cheminées de l'installation ;
- le débit d'activité à chaque cheminée du tritium et des « autres émetteurs bêta et gamma ».

6.3.1.1.1. Description des dispositifs de prélèvements

Les prélèvements concernent les effluents radioactifs atmosphériques rejetés à la cheminée du BAN et aux cheminées des unités de ventilation modulaire qui seront mises en place (ventilation modulaire unité 1, ventilation modulaire unité 2, ventilation modulaire pour le démantèlement des réservoirs extérieurs puis pour le démantèlement du BES (bâtiment d'entretien de site)). Ces cheminées sont équipées d'un dispositif de mesure du débit d'émission.

Les prélèvements pour la mesure de tritium dans les effluents atmosphériques sont réalisés en continu par des barboteurs réfrigérés.

Les prélèvements pour la mesure de carbone 14 dans les effluents atmosphériques sont effectués en continu sur tamis moléculaire.

Les prélèvements des aérosols sont réalisés en continu sur filtre papier pour la mesure des émetteurs bêta et gamma et pour justifier de l'absence de radionucléides émetteurs alpha.

Les chaînes de prélèvement du tritium, des aérosols et du carbone 14, ainsi que les mesures en continu du débit d'émission sont doublées pour la cheminée du BAN afin d'assurer la continuité de la surveillance en cas de défaillance temporaire d'un dispositif de prélèvement.

6.3.1.1.2. Nature des contrôles

A chaque période calendaire (du 1^{er} au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 22 à la fin du mois), les effluents atmosphériques rejetés aux cheminées du site de Fessenheim font l'objet des analyses suivantes :

- mesure de l'activité rejetée du tritium ;
- aérosols :
 - contrôle d'absence de radionucléides émetteurs alpha d'origine artificielle (activité alpha globale), en différé, sur les filtres de la période ;
 - détermination de l'activité bêta globale, réalisée en continu ;
 - détermination par spectrométrie gamma des principaux constituants, en différé, sur les filtres de la période.

De plus, l'activité des autres émetteurs bêta et gamma du spectre de référence, non quantifiables par spectrométrie gamma, est déterminée trimestriellement à partir de l'analyse des filtres du trimestre.

En outre, la mesure de l'activité rejetée en carbone 14 est effectuée chaque trimestre.

Enfin, une mesure du débit d'émission des effluents radioactifs atmosphériques est réalisée en continu aux cheminées du site.

6.3.1.1.3. Conditions de rejet

Après filtration Très Haute Efficacité, les effluents atmosphériques sont rejetés en continu à l'atmosphère via la cheminée du BAN, puis à l'arrêt de la ventilation DVN, par les cheminées des unités de ventilation modulaire.

6.3.1.1.4. Évaluation des activités rejetées

Pour chaque catégorie de radionucléides, l'activité rejetée est déterminée comme étant le produit du volume d'effluent rejeté à la cheminée, pendant la durée de prélèvement considérée, par l'activité volumique de la catégorie de radionucléide(s) considérée.

Pour le tritium ainsi que pour les autres radionucléides émetteurs bêta et gamma identifiables par spectrométrie gamma, le bilan de l'activité rejetée est établi sur chaque période réglementaire.

Pour le carbone 14, le bilan est établi chaque trimestre.

Pour les radionucléides émetteurs alpha, un contrôle d'absence de rejets est établi sur chaque période réglementaire.

Pour l'ensemble de la catégorie « autres émetteurs bêta ou gamma », le bilan est établi trimestriellement afin d'intégrer l'activité des autres émetteurs bêta et gamma non détectables par spectrométrie gamma qui est déterminée trimestriellement.

6.3.1.1.4.1. Détermination du volume rejeté

Pour l'ensemble des catégories, le volume d'effluent rejeté à la cheminée est déterminé comme étant le produit du débit moyen à la cheminée considérée, pour la période de prélèvement considérée, par la durée de cette même période.

6.3.1.1.4.2. Détermination de l'activité volumique

L'activité volumique de chaque catégorie est déterminée de la façon suivante :

- pour le tritium, à partir de l'activité tritium mesurée sur le prélèvement et du volume d'effluent ayant transité au travers du dispositif de prélèvement pendant la période ;
- pour le carbone 14, à partir de l'activité carbone 14 mesurée sur le prélèvement et du volume d'effluent ayant transité au travers du dispositif de prélèvement pendant le trimestre ;
- pour les radionucléides émetteurs alpha, à partir des résultats de la mesure alpha globale et du volume d'effluent ayant transité au travers du dispositif de prélèvement pendant la période ;
- pour les autres radionucléides émetteurs bêta ou gamma détectables par spectrométrie gamma, à partir des résultats de l'analyse spectrométrique et du volume d'effluent ayant transité au travers du dispositif de prélèvement pendant la période ;
- pour les autres radionucléides émetteurs bêta ou gamma non quantifiables par spectrométrie gamma, la mesure sera faite par des moyens spécifiques d'extraction et de mesure à partir des douze filtres prélevés sur les douze périodes calendaires du trimestre.

6.3.1.1.4.3. Mode de comptabilisation

Les tableaux suivants présentent la liste des radionucléides retenus (hors alpha) et leur mode de comptabilisation. Cette liste est établie à partir de la sélection des radionucléides prépondérants (présentée en [Annexe 1, Paragraphe 4.7](#)), issus de l'estimation des rejets associés aux opérations de démantèlement, et prend en compte le niveau d'activité estimé des rejets, les possibilités de mesure, la fréquence d'apparition dans les rejets annuels ainsi que l'impact dosimétrique.

Parmi les radionucléides retenus (radionucléides prépondérants), on distingue le spectre de référence correspondant aux radionucléides qui seront systématiquement comptabilisés (à minima au seuil de décision) ainsi que les autres radionucléides qui seront comptabilisés uniquement s'ils sont détectés de manière significative (c'est-à-dire dépassant le seuil de décision de la mesure).

En raison de l'existence de plusieurs cheminées ainsi que de plusieurs périodes de rejets distinctes caractérisées chacune par une répartition différente des radionucléides rejetés, les modalités de contrôle et de comptabilisation des effluents atmosphériques diffèrent.

Le [Tableau 6.j](#) et le [Tableau 6.k](#) présentent les modes de comptabilisation des radionucléides par période et par cheminée.

Les différentes phases de rejet (1, 2, 3a, 3b) sont présentées en [Annexe 1, Paragraphe 4.5](#).

Les Seuils de Décision (SD) des techniques de mesures utilisées représentent des performances analytiques

Les valeurs de SD correspondent à la moitié des valeurs des limites de détection. Pour une même mesure, ces limites de détection varient en fonction des modes opératoires des prélèvements. Selon la nature des rejets, les modes opératoires sont différents, ce qui explique les différences de limites de détection.

Radioélément	Mode de comptabilisation			
	Phase 1 Piscine BK en eau	Phase 2 Piscines BR et BK en eau	Phase 3a Piscines BR et BK vidangées	
	Cheminée du BAN	Cheminée du BAN	Cheminée du BAN	Ventilation modulaire réservoirs extérieurs
³ H	Systématique : a minima au seuil de décision		Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision
¹⁴ C	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	Systématique : a minima au seuil de décision	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	
⁶⁰ Co	Systématique : a minima au seuil de décision			
⁵⁵ Fe				
⁶³ Ni				
⁹⁰ Sr	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision			
¹⁵² Eu				
¹³⁷ Cs				
^{108m} Ag				

Tableau 6.j Mode de comptabilisation des effluents radioactifs atmosphériques rejetés pendant le fonctionnement de la ventilation raccordée à la cheminée du BAN (ventilation DVN), pour chaque cheminée

Radioélément	Mode de comptabilisation Phase 3b (après basculement sur ventilations modulaires)		
	Ventilation modulaire tranche 1	Ventilation modulaire tranche 2	Ventilation modulaire BES
³ H	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision		
¹⁴ C	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	Systématique : a minima au seuil de décision	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision
⁶⁰ Co	Systématique : a minima au seuil de décision	Systématique : a minima au seuil de décision	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision
⁵⁵ Fe			
⁶³ Ni			
⁹⁰ Sr	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	Si activité supérieure ou égale au seuil de décision	
¹⁵² Eu			
¹³⁷ Cs			
^{108m} Ag			

Tableau 6.k Mode de comptabilisation des effluents radioactifs atmosphériques rejetés après le basculement sur ventilations modulaires, pour chaque cheminée

6.3.1.1.5. Débits d'activité

Le débit d'activité aux cheminées de rejets correspond au produit de l'activité volumique et du débit moyen d'émission à la cheminée calculés en considérant la durée de prélèvement de chaque catégorie de radionucléides.

Pour le tritium, le respect du débit d'activité aux cheminées de rejet sera vérifié à l'échelle de la période.

Pour les autres radionucléides émetteurs bêta ou gamma, le respect du débit d'activité aux cheminées de rejet sera vérifié pour chaque période, à la fin de chaque trimestre afin d'inclure les émetteurs bêta/gamma mesurés trimestriellement.

6.3.1.1.6. Seuils de décision administratifs

Les seuils de décision, présentés dans le [Tableau 6.I](#), correspondent aux performances analytiques minimales à atteindre, définies par l'Autorité de Sûreté Nucléaire au moment du dépôt du dossier.

Les seuils de décision dits « administratifs » ont été définis par l'ASN. Ils correspondent aux performances de mesure minimales à atteindre pour la mesure des rejets aux cheminées.

Type de prélèvement	Radionucléides	Seuil de Décision administratif
Filtre aérosol	Emetteurs bêta	0,185 Bq/m ³
	Emetteurs gamma	0,001 Bq/m ³
	Emetteurs alpha	0,001 Bq/m ³
Eau (barboteur)	Tritium	20 Bq/m ³
Tamis moléculaire	Carbone 14	5 Bq/m ³

Tableau 6.I Performances analytiques (Seuils de Décision) minimales à atteindre pour la caractérisation des effluents radioactifs atmosphériques de l'INB n°75

Nota : En ce qui concerne les radionucléides émetteurs alpha, le contrôle réalisé vise à confirmer leur absence dans les rejets. Le seuil considéré pour juger de cette absence sera alors le seuil de décision de la mesure (avec SD inférieur à 0,001 Bq/m³).

6.3.1.3. SURVEILLANCE DES AUTRES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS A L'ATMOSPHÈRE

6.3.1.3.1. Contrôles des locaux susceptibles d'être contaminés

Les locaux classés en zone à déchets nucléaires et dont la ventilation n'est pas raccordée au système DVN et donc à la cheminée du BAN, puis aux cheminées de ventilation modulaire après le démantèlement du système DVN sont les suivants :

- **le bâtiment d'entretien de site (BES) qui abrite la laverie, l'extension de la verrière²⁹ du bâtiment réacteur, le bâtiment du circuit de réfrigération intermédiaire des auxiliaires nucléaires du primaire (RRI) ainsi que son extension :**

Chacun de ces locaux est équipé d'une installation de confinement dynamique avec une centrale de filtration avant rejet.

L'absence de rejet d'aérosols est vérifiée sur chaque période, assortie d'une tolérance permettant de réaliser ces prélèvements hors week-end et jours fériés, par mesure bêta globale au moyen d'un dispositif de prélèvement continu sur filtre papier dans le circuit d'extraction de la ventilation.

Lors du démantèlement, les installations contenues dans ces bâtiments et en particulier les installations de confinement dynamique seront mises hors service. Selon le niveau de contamination des matériels à démanteler, ces bâtiments seront raccordés aux modules de ventilation modulaire (en particulier le BES sera raccordé à la « ventilation modulaire BES » lors de son démantèlement), ou non raccordés après analyse du niveau de contamination et estimation des rejets associés.

- **le laboratoire « Effluents » et le laboratoire de comptage nucléaire :**

Les volumes d'échantillons réputés peu actifs traités annuellement au laboratoire « Effluents » (hors îlot nucléaire) sont très faibles et proviennent des réservoirs avant rejet.

Les effluents atmosphériques extraits par la ventilation du laboratoire « Effluents » sont traités, par mesure de précaution sur filtre Très Haute Efficacité (THE). En période de fonctionnement de l'installation, une évaluation de la quantité de tritium consécutive à l'évaporation d'échantillons donnait un résultat très faible (de l'ordre de 2 MBq/an). Lors du démantèlement, le volume d'échantillons à traiter sera réduit par rapport à la période de fonctionnement, la quantité de tritium sera plus faible.

Par ailleurs, un contrôle par détecteur fixe en sortie du laboratoire « Effluents » permet de garantir en permanence l'absence de contamination des intervenants et d'éviter une dispersion de radioactivité.

La propreté radiologique traduisant l'absence de contamination du laboratoire « Effluents » est contrôlée en considérant un seuil de contamination surfacique de 0,4 Bq/cm² pour l'activité surfacique en bêta, et de 0,04 Bq/cm² pour l'activité surfacique en alpha.

Compte tenu des faibles niveaux de ces rejets, le contrôle de l'activité par prélèvement continu en aval des filtres n'est pas justifié. Aucune déclaration d'événement lié à une contamination de ces locaux n'a été réalisée. Le contrôle de l'absence de contamination par mesures surfaciques, frottis ou dépistage et mesures de Débit De Dose ambiant lors de cartographies mensuelles sera poursuivi lors du démantèlement de la même manière que lors de la période de fonctionnement.

Par ailleurs, aucune manipulation n'est effectuée sur les échantillons entreposés dans le laboratoire de comptage nucléaire. Néanmoins, il est contrôlé de la même façon que le laboratoire « Effluents ».

²⁹ Permet l'entrée et la sortie de matériels / colis de déchets du BR.

6.3.1.3.2. Contrôles des rejets diffus

Les rejets diffus sont essentiellement constitués des rejets radioactifs au niveau des événements des réservoirs de stockage des effluents avant rejet TEU (réservoirs T). Ponctuellement, d'autres rejets diffus peuvent être réalisés lors d'opérations ponctuelles dans un local non raccordé à la ventilation.

Les émissions à l'atmosphère associées aux rejets diffus font l'objet d'une estimation mensuelle, visant à s'assurer de leur caractère négligeable par rapport à la limite annuelle demandée au [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.4](#).

6.3.2. SURVEILLANCE DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS LIQUIDES

La surveillance des effluents radioactifs liquides est destinée à s'assurer du respect des valeurs limites demandées dans le [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.3](#). Ces valeurs limites portent sur :

- l'activité annuelle rejetée pour les catégories « tritium », « carbone 14 » et « autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma » ;
- le débit d'activité au point de rejet du tritium et des « autres émetteurs bêta et gamma ».

6.3.2.1. DESCRIPTION DES DISPOSITIFS DE PRELEVEMENTS

Un système de prélèvement permet de prélever un échantillon représentatif du contenu du réservoir de stockage des effluents avant rejet TEU (réservoir T) à rejeter, obtenu après brassage de ce dernier.

6.3.2.2. NATURE DES CONTROLES

Certains paramètres radioactifs des effluents des réservoirs T nécessitent d'être contrôlés avant leur rejet : un prélèvement ponctuel représentatif est effectué dans chaque réservoir et les analyses suivantes sont réalisées avant le rejet du réservoir :

- mesure de l'activité du tritium ;
- vérification de l'absence d'activité alpha globale ;
- mesure de l'activité bêta globale ;
- analyse par spectrométrie gamma.

Ces analyses permettent de connaître la composition des effluents à rejeter, de définir si le rejet est possible (respect des valeurs limites des activités annuelles demandées au [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.3](#) hors carbone 14), et dans ce cas, de déterminer le débit de rejet de façon à respecter les valeurs limites des débits d'activité et des activités volumiques à mi-rejet dans le milieu récepteur demandées au [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.3](#). Ces analyses permettent également d'établir le bilan des activités rejetées (hors bêta purs et carbone 14), et donc de s'assurer du respect des valeurs limites d'activité annuelle (hors carbone 14).

Les autres paramètres radioactifs des effluents des réservoirs T sont contrôlés après leur rejet. Ces contrôles *a posteriori* sont réalisés :

- soit sur le prélèvement ponctuel représentatif effectué dans chaque réservoir avant son rejet, les résultats des analyses étant connus après le rejet du réservoir ;
- soit sur un échantillon aliquote représentatif de l'ensemble des rejets des réservoirs sur un mois.

L'échantillon prélevé dans le réservoir T avant son rejet fait l'objet d'une mesure du carbone 14, dont le résultat est connu *a posteriori* compte tenu des délais très longs nécessaires à l'obtention du résultat de ces analyses réalisées par un laboratoire externe. Elle permet d'établir le bilan de l'activité rejetée en carbone 14, et donc de s'assurer du respect de la valeur limite d'activité annuelle en carbone 14 demandée au [Chapitre 2, Paragraphe 2.6.2.3](#).

Chaque mois, un échantillon aliquote représentatif de l'ensemble des rejets des réservoirs T est constitué.

L'échantillon fait l'objet d'une détermination spécifique de l'activité due au nickel 63, au fer 55 et au strontium 90. En effet, ces radionucléides étant des émetteurs bêta purs, ils ne sont pas détectés lors de l'analyse par spectrométrie gamma. Cette détermination est réalisée sur l'échantillon aliquote car il s'agit d'une analyse complexe, longue à réaliser. Cette analyse permet de compléter le bilan des activités rejetées.

6.3.2.3. CONDITIONS DE REJET

Les rejets d'effluents radioactifs liquides ne peuvent être effectués que lorsque les contrôles décrits au [Paragraphe 6.3.2.2](#) ont été réalisés (hormis les mesures d'activité en carbone 14 et en beta purs réalisées *a posteriori*) et ont permis de déterminer le débit de rejet en respectant les valeurs des débits d'activité et des activités volumiques à mi-rejet dans le milieu récepteur. De plus, deux réservoirs T ne peuvent pas être rejetés en même temps.

Les rejets d'effluents liquides radioactifs des réservoirs T ne peuvent être effectués que si le débit du Grand Canal d'Alsace est supérieur à 200 m³/s et que le débit du Rhin à Kembs est inférieur à 2 800 m³/s, et que l'activité volumique gamma globale sur la canalisation de rejet ne dépasse pas le seuil de 40 kBq/L (valeur d'apparition de l'alarme du dispositif de surveillance continue de la radioactivité situé sur la canalisation de rejet, alarme qui entraîne l'arrêt automatique du rejet en cours).

Pour des débits du Grand Canal d'Alsace en dehors des limites 200 et 2 800 m³/s (étiage et crue), les rejets ne peuvent être pratiqués qu'après information de l'ASN.

Si, au cours d'un rejet, des situations particulières sont constatées (telles que par exemple, le non-respect des conditions de rejet, l'indisponibilité des dispositifs de surveillance sur la canalisation de rejet), le rejet en cours est interrompu, l'activité rejetée est évaluée, et des investigations sont menées afin de déterminer la cause de la situation particulière.

6.3.2.4. EVALUATION DES ACTIVITES REJETEES

6.3.2.4.1. Détermination de l'activité rejetée

Pour chaque catégorie de radionucléides, l'activité rejetée est déterminée comme étant le produit de l'activité volumique de la catégorie de radionucléides considérée par le volume d'effluents rejeté par la canalisation de rejet pendant la durée du rejet.

6.3.2.4.2. Détermination de l'activité volumique

L'activité volumique de chaque catégorie est déterminée de la façon suivante :

- pour le tritium, à partir de l'activité en tritium mesurée sur l'échantillon prélevé avant rejet et du volume de cet échantillon ;
- pour les autres produits de fission ou d'activation, à partir des résultats de l'analyse spectrométrique réalisée sur l'échantillon prélevé avant rejet et du volume de cet échantillon, et des résultats de la détermination spécifique des bêtas purs sur l'aliquote mensuelle ;
- pour le carbone 14, à partir de l'activité en carbone 14 mesurée sur l'échantillon prélevé et du volume de cet échantillon.

6.3.2.4.3. Mode de comptabilisation

Le tableau suivant présente la liste des radionucléides retenus (hors alpha) et leur mode de comptabilisation. Cette liste est établie à partir de la sélection des radionucléides prépondérants (présentée en [Annexe 1, Paragraphe 5.7](#)), issus de l'estimation des rejets associés aux opérations de démantèlement, et prend en compte le niveau d'activité estimé des rejets, les possibilités de mesure, la fréquence d'apparition dans les rejets annuels ainsi que l'impact dosimétrique potentiel.

Parmi les radionucléides retenus (radionucléides prépondérants), on distingue le spectre de référence correspondant aux radionucléides qui seront systématiquement comptabilisés (*a minima* au seuil de décision) ainsi que les autres radionucléides qui seront comptabilisés uniquement s'ils sont détectés de manière significative (c'est-à-dire dépassant le seuil de décision de la mesure).

Le [Tableau 6.m](#) ci-après présente le mode de comptabilisation des radionucléides par type d'année.

Les différents types d'années (0, 1, 2, 3) sont présentés en [Annexe 1, Paragraphe 5.5](#).

Radioélément	Mode de comptabilisation			
	Année type 0 (année sans vidange piscine)	Année type 1 (vidange piscine BK)	Année type 2 (vidange piscine BR)	Année type 3 (vidange piscine BR et BK)
¹⁴ C	Systématique : <i>a minima</i> au seuil de décision	Systématique : <i>a minima</i> au seuil de décision	Systématique : <i>a minima</i> au seuil de décision	Systématique : <i>a minima</i> au seuil de décision
⁶⁰ Co				
⁵⁵ Fe				
³ H				
⁶³ Ni				
⁹⁰ Sr				

Tableau 6.m Mode de comptabilisation des effluents radioactifs liquides rejetés au rejet principal

6.3.2.5. DEBITS D'ACTIVITE

Pour le tritium et les autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma, le débit d'activité en moyenne journalière est déterminé comme étant la somme des activités rejetées sur une journée divisée par le nombre de secondes dans une journée.

6.3.2.6. SEUILS DE DECISION ADMINISTRATIFS

Les seuils de décision, présentés dans le [Tableau 6.n](#), correspondent aux performances analytiques minimales à atteindre, définies par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Radionucléides	Nature du prélèvement	Seuil de Décision administratif
Vérification de l'absence d'émetteurs alpha	Réservoirs T	0,37 Bq/L
Produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma		1,85 Bq/L
-		5 Bq/L
Tritium		50 Bq/L
-		2,5 Bq/L en cobalt 60
Carbone 14 (<i>a posteriori</i>)		50 Bq/L
Fer 55	Aliquote mensuelle des réservoirs T	4 Bq/L
Nickel 63		2,5 Bq/L
Strontium 90		0,5 Bq/L

Tableau 6.n Performances analytiques (Seuils de Décision) minimales à atteindre pour la caractérisation des effluents radioactifs liquides de l'INB n°75

Nota : En ce qui concerne les émetteurs alpha, le contrôle réalisé vise à confirmer leur absence dans les rejets. Le seuil considéré pour juger de cette absence sera alors le seuil de décision de la mesure (avec SD inférieur à 0,37 Bq/L en alpha global sur le réservoir).

6.3.3. SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

Afin de s'assurer du respect des dispositions réglementaires, l'exploitant met en place un programme de surveillance de l'environnement. Ce programme, établi en accord avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire, est réalisé sous la responsabilité de l'exploitant.

Les paragraphes ci-après présentent la surveillance proposée par l'exploitant qui sera mise en œuvre pendant le démantèlement afin de prendre en compte les exigences de la décision ASN n°2016-DC-0569 modifiant la décision n°2013-DC-0360 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base.

La surveillance radiologique de l'environnement est destinée notamment à alerter l'exploitant de toute élévation atypique du niveau de radioactivité dans les écosystèmes. Cette surveillance est réalisée au travers d'analyses radiologiques sur des échantillons importants dans le transfert des radionucléides au sein de l'environnement et dans l'exposition de la population, en tenant compte du retour d'expérience acquis depuis la mise en service du CNPE de Fessenheim.

La radioactivité dans l'environnement du CNPE de Fessenheim est suivie actuellement dans le cadre :

- d'un plan de surveillance radiologique réalisé par le CNPE au titre de son autorisation de rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1](#)) ;
- d'études radioécologiques réalisées à l'initiative de l'exploitant (état de référence initial, suivis annuels, bilans décennaux, études particulières – Cf. [Paragraphe 6.3.3.2](#)) dont la réalisation est sous-traitée à des laboratoires agréés ;
- d'un plan de surveillance radiologique réalisé par les autorités (Cf. [Paragraphe 6.3.3.3](#)).

Les paragraphes ci-après présentent les moyens déjà existants ou qui seront mis en place pour la surveillance radiologique du compartiment atmosphérique, du compartiment terrestre et du compartiment aquatique.

Cette surveillance porte notamment sur :

- l'atmosphère au travers de la surveillance radiologique du rayonnement gamma ambiant (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.1.1](#)), des poussières atmosphériques (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.1.2](#)), du tritium de l'air (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.1.3](#)) et des eaux de pluie (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.1.4](#)) ;
- les eaux souterraines (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.2.1](#)) ;
- le milieu terrestre au travers des mesures réalisées sur le lait et les végétaux terrestres (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.2.2](#)) et les couches superficielles des terres et les productions agricoles (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.2.3](#)) ;
- le milieu aquatique au travers des mesures réalisées sur les eaux de surface (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.3.1](#)) et les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons (Cf. [Paragraphe 6.3.3.1.3.2](#)).

L'implantation actuelle des points de prélèvement et d'analyse appartenant au programme réglementaire de surveillance de l'environnement a été validée par l'ASN. La localisation géographique des stations de prélèvement du compartiment atmosphérique est présentée en [Figure 6.v](#) et [Figure 6.w](#).

Les mesures environnementales sont réalisées par du personnel compétent et qualifié en analyses chimiques et radiochimiques. Ces analyses sont réalisées par un laboratoire disposant d'appareillages spécifiques permettant l'analyse des échantillons prélevés dans le milieu naturel. Il est soumis à des exigences selon la norme 17025 relatives aux équipements, aux techniques de prélèvement et de mesure, de maintenance et d'étalonnage.

Conformément à la décision n°2018-DC-0648 de l'ASN du 16 octobre 2018 (homologuée par Arrêté Ministériel en date du 15 novembre 2018, modifiant la décision n°2015-DC-0500) relative à

l'organisation du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) et à la décision n°2016-DC-0569 de l'ASN du 29 septembre 2016 (homologuée par Arrêté Ministériel en date du 5 décembre 2016, modifiant la décisions n°2013-DC-0360) relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base, les mesures de surveillance de l'environnement sont confiées à des laboratoires agréés. Dans les paragraphes ci-après les seuils de décision réglementaires sont mentionnés pour les échantillons prélevés dans l'environnement autour du site de Fessenheim.

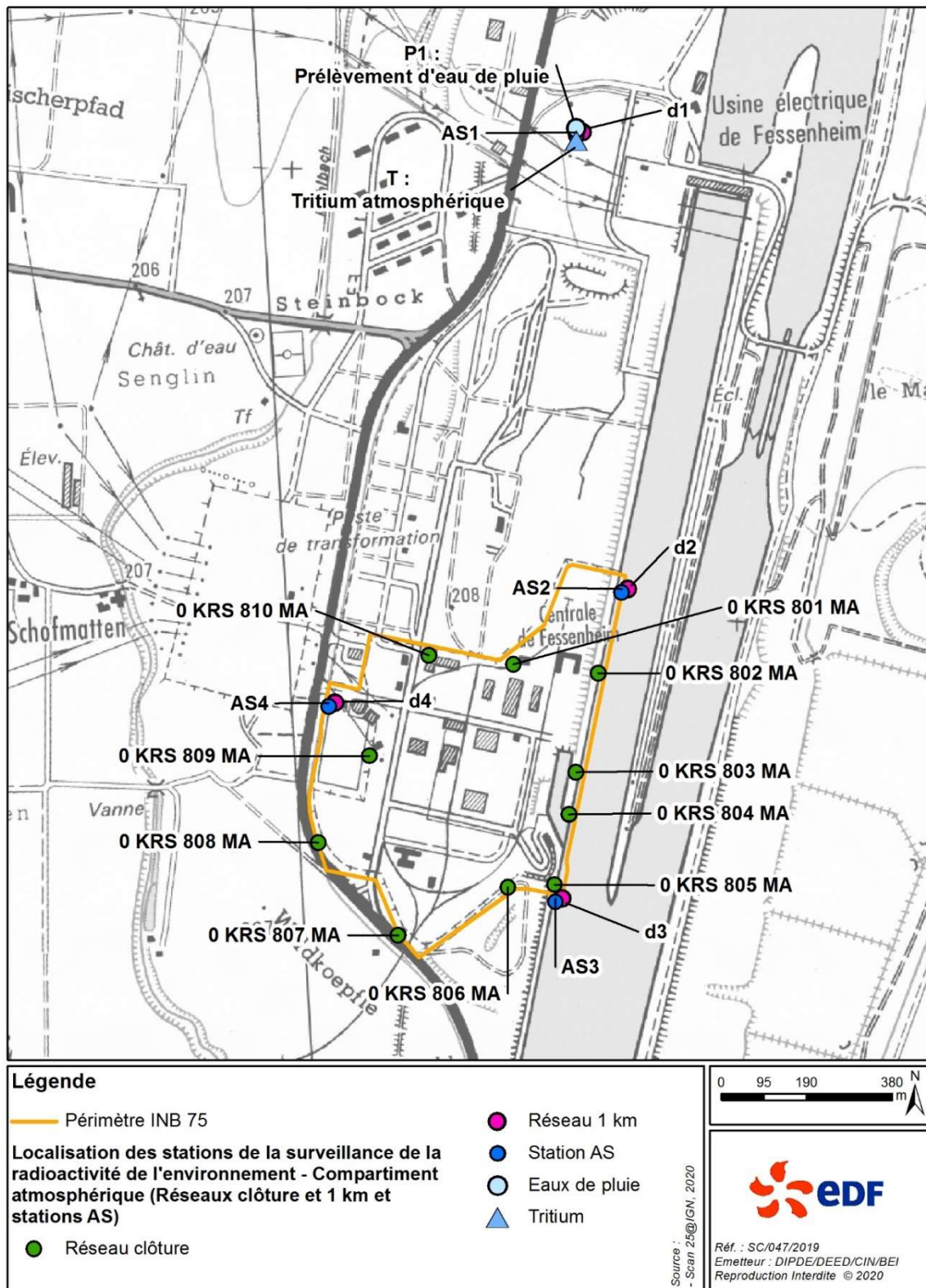


Figure 6.v Surveillance radiologique de l'environnement – compartiment atmosphérique : localisation des stations de prélèvement et de mesure à l'intérieur du périmètre de l'INB n°75 et son proche voisinage

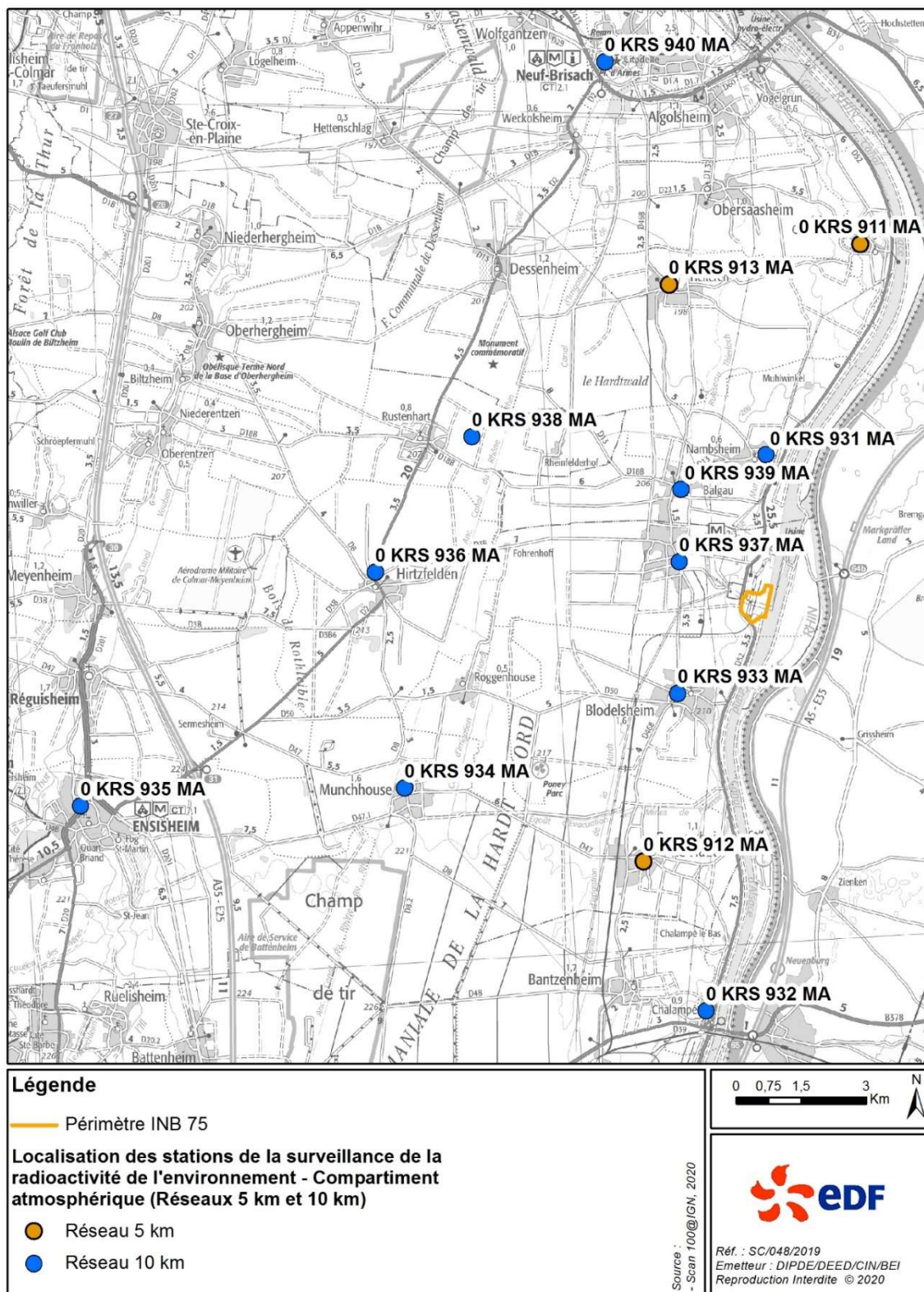


Figure 6.w Surveillance radiologique de l'environnement – compartiment atmosphérique : localisation des stations de prélèvement et de mesure dans l'environnement de l'INB n°75

6.3.3.1. PLAN DE SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

6.3.3.1.1. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment atmosphérique

6.3.3.1.1.1. Surveillance du rayonnement gamma ambiant

Le système de surveillance du rayonnement gamma ambiant s'articule autour de quatre réseaux qui mesurent le débit de dose gamma ambiant. L'emplacement des stations de mesure des différents réseaux autour du site de Fessenheim est soumis à approbation de l'ASN.

6.3.3.1.1.1.1. Réseau clôture

Ce réseau est constitué de dix balises autonomes de mesure de débit de dose gamma ambiant. Ces balises radiométriques sont réparties sur la clôture du site à proximité du chemin de ronde à intervalles réguliers de façon à réaliser une mesure dans toutes les directions. Les balises sont identifiées de « 0 KRS 801 MA » à « 0 KRS 810 MA » (Cf. [Figure 6.v](#) et [Tableau 6.o](#)).

Référence station	Localisation
0 KRS 801 MA	sud du site
0 KRS 802 MA	à proximité de la digue
0 KRS 803 MA	à proximité de l'angle nord-est de la prise d'eau
0 KRS 804 MA	entre la prise d'eau et l'ouvrage de rejet
0 KRS 805 MA	à l'angle sud-est du site
0 KRS 806 MA	en pied de digue, au sud-est du site
0 KRS 807 MA	sud du site
0 KRS 808 MA	sud-ouest du site, au bord de la D52
0 KRS 809 MA	à l'arrière du bâtiment d'accueil
0 KRS 810 MA	à l'angle nord-ouest du site

Tableau 6.o Implantation des balises du « réseau clôture »

Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du Bruit de Fond ambiant (BdF). Le seuil d'alarme est fixé à $BdF + 0,114 \mu Sv/h$.

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation des données. Ces sondes intègrent et mémorisent l'évolution du débit de dose gamma ambiant par plages de 10 minutes et permettent de tracer le débit de dose minimum, maximum et moyen sur un mois. Les informations collectées par ces balises sont enregistrées, analysées et consignées tous les mois dans un registre.

La surveillance du débit de dose gamma ambiant dans l'environnement est mise en œuvre sous couvert de l'agrément 6_16 au Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.1.2. Réseau 1 km

Ce réseau est constitué de quatre balises de mesure de débit de dose gamma ambiant. Ces balises sont disposées dans un rayon d'environ 1 km au nord, nord-est, nord-ouest et sud-est, au même endroit que les stations AS. Les balises sont numérotées de D1 à D4 et identifiées de « 0 KRS 921 MA » à « 0 KRS 924 MA » (Cf. [Figure 6.v](#) et [Tableau 6.p](#)).

Référence station		Localisation
0 KRS 921 MA	AS1-D1	nord du site, à proximité de la route d'accès à l'usine hydraulique
0 KRS 922 MA	AS2-D2	nord-est du site, sur la digue, à proximité du centre de regroupement des déchets
0 KRS 923 MA	AS3-D3	sud-est du site, sur la rive gauche de la prise d'eau
0 KRS 924 MA	AS4-D4	nord-ouest du site, à gauche de l'entrée du parking principal du site

Tableau 6.p Implantation des balises du « réseau 1 km »

Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du Bruit de Fond ambiant (BdF). Le seuil d'alarme est fixé à $BdF + 0,114 \mu Sv/h$.

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation des données. Les informations collectées par ces sondes sont enregistrées, analysées et consignées tous les mois dans un registre.

La surveillance du débit de dose gamma ambiant dans l'environnement est mise en œuvre sous couvert de l'agrément 6_16 au Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.1.3. Réseau 5 km

Ce réseau, implanté au plus près des populations, est constitué de trois balises autonomes de mesures de débit de dose gamma ambiant. Ces balises radiamétriques ont été installées dans les communes de Geisswasser, Rumersheim-Le-Haut et Heiteren. Les balises sont identifiées de « 0 KRS 911 MA » à « 0 KRS 913 MA » (Cf. [Figure 6.w](#) et [Tableau 6.q](#)).

Ce réseau est destiné à fournir une information sur l'évolution des débits d'exposition au rayonnement gamma ambiant en cas d'incident mais aussi à déceler toute situation anormale.

Référence station	Localisation
0 KRS 911 MA	Geisswasser
0 KRS 912 MA	Rumersheim-Le-Haut
0 KRS 913 MA	Heiteren

Tableau 6.q Implantation des balises du « réseau 5 km »

Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du Bruit de Fond ambiant (BdF). Le seuil d'alarme est fixé à $BdF + 0,114 \mu Sv/h$.

Les informations (débits de dose et états de fonctionnement) issues des balises sont envoyées en continu vers un centralisateur qui permet la visualisation des données. Les informations collectées par ces sondes sont enregistrées, analysées et consignées tous les mois dans un registre.

La surveillance du débit de dose gamma ambiant dans l'environnement est mise en œuvre sous couvert de l'agrément 6_16 au Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.1.4. Réseau 10 km

Ce réseau a été implanté à l'initiative de l'exploitant et ne fait donc pas partie de la surveillance réglementaire. Les informations suivantes sont données à titre indicatif.

Ce réseau, implanté dans un rayon de 10 km autour du site, est constitué de dix balises autonomes de mesures du débit de dose gamma ambiant. Ces balises radiométriques ont été installées dans des zones à forte densité de population. Elles sont identifiées de « 0 KRS 931 MA » à « 0 KRS 940 MA » (Cf. [Figure 6.w](#) et [Tableau 6.r](#)).

Référence station	Localisation
0 KRS 931 MA	Nambsheim
0 KRS 932 MA	Chalampé
0 KRS 933 MA	Blodelsheim
0 KRS 934 MA	Munschouse
0 KRS 935 MA	Ensisheim
0 KRS 936 MA	Hirtzfelden
0 KRS 937 MA	Fessenheim
0 KRS 938 MA	Rustenhart
0 KRS 939 MA	Balgau
0 KRS 940 MA	Neuf Brisach

Tableau 6.r Implantation des balises du « réseau 10 km »

Elles permettent l'enregistrement et la retransmission en continu du débit de dose gamma ambiant et de donner l'alerte en cas de dépassement du Bruit de Fond ambiant (BdF). Le seuil d'alarme est fixé à BdF + 0,114 µSv/h.

6.3.3.1.1.2. Surveillance de l'activité des poussières atmosphériques

Quatre stations d'aspiration en continu des poussières atmosphériques (aérosols) numérotées de AS1 à AS4 sont implantées dans un rayon de 1 km autour du site aux mêmes points de surveillance que le réseau de balises radiométriques « 1 km » (balises D1 à D4) (Cf. [Figure 6.v](#) et [Tableau 6.s](#)).

Référence station	Localisation
0 KRS 921 MA AS1-D1	nord du site, à proximité de la route d'accès à l'usine hydraulique
0 KRS 922 MA AS2-D2	nord-est du site, sur la digue, à proximité du centre de regroupement des déchets
0 KRS 923 MA AS3-D3	sud-est du site, sur la rive gauche de la prise d'eau
0 KRS 924 MA AS4-D4	nord-ouest du site, à gauche de l'entrée du parking principal du site

Tableau 6.s Implantation des stations d'aspiration des poussières atmosphériques

L'aspiration des poussières sur filtre est réalisée en continu sur des périodes de 24 heures. Les filtres, avec leurs prélèvements, sont transmis au laboratoire pour analyse. Une analyse journalière de l'indice d'activité bêta globale attribuable à la radioactivité d'origine artificielle à J+6 ainsi qu'une analyse isotopique mensuelle sur regroupement des filtres quotidiens d'une même station par spectrométrie gamma sont réalisées.

Ces mesures permettent de s'assurer du respect de la valeur d'activité volumique limite réglementaire mesurée dans l'air au niveau du sol en activité bêta globale pour les aérosols d'origine artificielle de 10 mBq.m^{-3} . En cas de dépassement de la valeur de 2 mBq/m^3 de l'activité bêta globale à J+6 jours, une analyse isotopique complémentaire par spectrométrie gamma est réalisée.

Les seuils de décision réglementaires correspondant aux analyses réalisées sur les filtres sont présentés dans le [Tableau 6.t](#).

Mesure	Seuils de décision réglementaires
Bêta globale (pour un prélèvement de 24 heures)	$2,5.10^{-4} \text{ Bq.m}^{-3}$
Spectrométrie gamma (regroupement mensuel de filtres)	$10^{-5} \text{ Bq.m}^{-3}$ (en ^{137}Cs)
Spectrométrie gamma (analyse isotopique complémentaire)	$5.10^{-5} \text{ Bq.m}^{-3}$ (en ^{137}Cs)

Tableau 6.t Seuils de décision réglementaires des analyses radiologiques des aérosols sur filtre

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 4_01, 4_02 et 4_04 du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.1.3. Surveillance de l'activité du tritium dans l'air

Un dispositif de prélèvement du tritium atmosphérique par barbotage est implanté sous les vents dominants, au niveau de la station AS1 (Cf. [Figure 6.v](#)).

Le prélèvement du tritium atmosphérique effectué en continu pendant chacune des périodes réglementaires (du 1^{er} au 7, du 8 au 14, du 15 au 21 et du 22 à la fin du mois à plus ou moins un jour près) est analysé à la fin de chaque période. Une mesure de tritium par scintillation liquide permet de déterminer l'activité en tritium dans l'eau du barboteur pour chaque période réglementaire.

Ces mesures permettent de s'assurer du respect de la valeur d'activité volumique limite réglementaire mesurée dans l'air au niveau du sol en tritium de 50 Bq/m^3 .

Le seuil de décision réglementaire correspondant aux analyses de tritium atmosphérique réalisées au niveau de la station AS1 est de $0,5 \text{ Bq/m}^3$.

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert de l'agrément 5_05 du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.1.4. Surveillance de l'activité des eaux de pluie

Un dispositif de prélèvement des eaux de pluie par un collecteur de précipitations est implanté sous les vents dominants, au niveau de la station AS1 (Cf. [Figure 6.v](#)).

Les eaux de pluie sont prélevées en continu sur quinze jours grâce à un collecteur de précipitations, avec une détermination bimensuelle des activités bêta global et tritium. Le bidon de recueil des eaux de pluie est changé de manière systématique toutes les deux semaines et il peut éventuellement être changé plus souvent afin de tenir compte du volume des précipitations.

Les seuils de décision réglementaires correspondant aux analyses réalisées sur les eaux de pluie sont présentés dans le [Tableau 6.u](#).

Mesure	Seuils de décision réglementaires
Bêta globale	0,25 Bq/L
Tritium	10 Bq/L

Tableau 6.u Seuils de décision réglementaires des mesures radiologiques des eaux de pluie

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 1_04 et 1_05 du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.2. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment terrestre

6.3.3.1.2.1. Surveillance des eaux souterraines

La surveillance radiologique des eaux souterraines est décrite dans le [Chapitre 5, Paragraphe 5.3.1.2.](#)

6.3.3.1.2.2. Surveillance des végétaux terrestres et du lait

Végétaux terrestres

Un prélèvement de végétaux dans une zone située sous les vents dominants est effectué à proximité du site. Dans la mesure du possible, les échantillons sont récoltés aux mêmes stations d'une année sur l'autre afin de faciliter la comparaison et l'exploitation des résultats.

Sur ce prélèvement, il est réalisé une spectrométrie gamma donnant notamment l'activité du potassium 40 à fréquence mensuelle ainsi qu'une mesure de l'activité du carbone 14 à fréquence trimestrielle. Ces analyses sont complétées annuellement par une mesure du tritium libre (HTO) et organique (TOL).

Lait

Si possible, un prélèvement de lait produit au voisinage de l'installation (0 à 10 km) est également réalisé. Dans la mesure du possible, les échantillons sont récoltés aux mêmes stations d'une année sur l'autre afin de faciliter la comparaison et l'exploitation des résultats.

Sur ce prélèvement, il est réalisé une spectrométrie gamma donnant notamment l'activité du potassium 40 à fréquence mensuelle, ainsi qu'une mesure de l'activité carbone 14, de tritium (HTO) et de strontium 90 à fréquence annuelle.

Les seuils de décision réglementaire correspondant aux analyses réalisées sur les végétaux terrestres et le lait sont présentés dans le [Tableau 6.v.](#)

Nature du prélèvement	Mesure	Fréquence	Seuils de décision réglementaires
Végétaux terrestres	Spectrométrie gamma	Mensuelle	0,5 Bq/kg sec (¹³⁷ Cs)
	Carbone 14	Trimestrielle	Incertitude < 15 %
	Tritium (HTO et TOL)	Annuelle	10 Bq/L
Lait	Spectrométrie gamma	Mensuelle	-
	Carbone 14	Annuelle	Incertitude < 15 %
	Tritium	Annuelle	10 Bq/L
	Strontium 90	Annuelle	-

Tableau 6.v *Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les végétaux terrestres et le lait*

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 3_01, 3_02, 3_05, 3_06 et 3_07 du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.2.3. Surveillance des couches superficielles des terres et des productions agricoles

Couches superficielles de terres

Un prélèvement annuel de couches superficielles de terres dans une zone située sous les vents dominants est effectué. Dans la mesure du possible, les échantillons sont récoltés aux mêmes stations d'une année sur l'autre afin de faciliter la comparaison et l'exploitation des résultats.

Sur ce prélèvement annuel, il est réalisé une spectrométrie gamma donnant notamment l'activité du potassium 40.

Productions agricoles

Un prélèvement annuel de productions agricoles, notamment dans les zones situées sous les vents dominants est réalisé. Dans la mesure du possible, les échantillons sont récoltés aux mêmes stations d'une année sur l'autre afin de faciliter la comparaison et l'exploitation des résultats.

Sur ce prélèvement annuel, sont réalisés une spectrométrie gamma donnant notamment l'activité du potassium 40 et des mesures du tritium libre (HTO) et organiquement lié (TOL).

Les seuils de décision réglementaires correspondant aux analyses réalisées sur les couches superficielles de terres et les productions agricoles sont présentés dans le [Tableau 6.w](#).

Nature du prélèvement	Mesure	Fréquence	Seuils de décision réglementaires
Couches superficielles des terres	Spectrométrie gamma	Annuelle	0,5 Bq/kg sec (¹³⁷ Cs)
Productions agricoles	Spectrométrie gamma	Annuelle	0,5 Bq/kg frais (¹³⁷ Cs)
	Tritium (HTO et TOL)	Annuelle	10 Bq/L

Tableau 6.w Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les couches superficielles des terres et productions agricoles

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 3_01, 3_02 et 3_05 (productions agricoles) et 2_01 et 2_02 (couches superficielles de terres) du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.3. Surveillance radiologique réglementaire du compartiment aquatique

6.3.3.1.3.1. Surveillance des eaux de surface

Un prélèvement à mi-rejet est effectué lors de chaque rejet d'effluents liquides radioactifs des réservoirs. Ce prélèvement est effectué sur un échantillon horaire, au niveau de la station multi-paramètre aval. Les prélèvements sont transmis au laboratoire qui réalise une mesure sur l'eau filtrée (détermination de l'activité bêta globale, du potassium et du tritium) et sur les matières en suspension (activité bêta globale). Ces analyses permettent de s'assurer du respect des valeurs d'activité volumique horaire à mi-rejet et moyenne journalière en périodes de rejet et hors périodes de rejet.

En outre, lors de chaque rejet, il est également réalisé un prélèvement en amont du site, au niveau de la station multi-paramètre amont. Ces échantillons sont conservés pour permettre d'éventuelles mesures dans le cas où les résultats des mesures en zone d'influence des rejets du site atteignent les limites réglementaires autorisées pour le site.

Par ailleurs, y compris en dehors des périodes de rejet des réservoirs de l'INB n°75, des mesures de l'activité du tritium sont réalisées sur un échantillon aliquote moyen journalier de l'eau du milieu récepteur situé à la station multi-paramètres aval. Une partie suffisante du volume d'échantillons horaires prélevés est conservée afin de réaliser d'éventuelles mesures complémentaires.

Si les résultats des mesures atteignent les niveaux en activité volumique mentionnés dans le [Tableau 6.x](#), l'exploitant suspend le rejet éventuellement en cours et réalise les examens complémentaires suivants :

- des mesures sur le prélèvement en amont afin de rechercher l'origine de ce niveau d'activité ;
- des mesures de l'activité du tritium sur chacun des prélèvements horaires en zone d'influence des rejets du site, s'il s'avère que les rejets d'effluents liquides du site peuvent être à l'origine de ce niveau d'activité ;
- des spectrométries gamma du ou des échantillons incriminés.

Le rejet ne peut être repris qu'à l'issue de l'analyse des résultats de ces investigations et de la mise en œuvre des éventuelles actions permettant de respecter les limites réglementaires d'activité volumique mentionnés dans le [Tableau 6.x](#).

Paramètres	Activité volumique horaire à mi-rejet	Activité volumique moyenne journalière	
		En période de rejet	Hors période de rejet
Tritium	280	140	100
Emetteurs bêta (hors ⁴⁰ K et ³ H)	2	-	

Tableau 6.x Limites réglementaires pour les activités volumiques mesurées dans l'environnement aquatique (Bq/L)

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 1_01, 1_02, 1_04 et 1_05 du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.3.2. Surveillance des sédiments, des végétaux aquatiques et des poissons

Dans le cadre de la surveillance réglementaire de la radioactivité de l'environnement aquatique du site de Fessenheim des prélèvements annuels de sédiments, végétaux aquatique et poissons sont réalisés dans le Rhin et le Grand Canal d'Alsace en amont et en aval du site.

Des stations d'échantillonnage pour chaque type de prélèvement permettent d'évaluer une éventuelle contribution des rejets d'effluents radioactifs liquides associés au fonctionnement du site à l'apport de radionucléides artificiels dans le compartiment aquatique. Dans la mesure du possible, les échantillons sont récoltés aux mêmes stations d'une année sur l'autre afin de faciliter la comparaison et l'exploitation des résultats.

Sur les prélèvements annuels de sédiments, végétaux aquatiques et poissons, il est réalisé une spectrométrie gamma. Sur les poissons, il est également réalisé une mesure de carbone 14 et une mesure de tritium organiquement lié (TOL).

Les seuils de décision correspondant aux analyses réalisées sur les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons sont présentés dans le [Tableau 6.y](#).

Nature du prélèvement	Mesure	Fréquence	Seuils de décision réglementaires
Sédiments	Spectrométrie gamma	Annuelle	0,5 Bq/kg sec (¹³⁷ Cs)
Végétaux aquatiques	Spectrométrie gamma	Annuelle	0,5 Bq/kg sec (¹³⁷ Cs)
Poissons	Spectrométrie gamma	Annuelle	0,5 Bq/kg frais (¹³⁷ Cs)
	Carbone 14	Annuelle	Incertitude < 15 %
	Tritium (TOL)	Annuelle	10 Bq/L

Tableau 6.y Seuils de décision réglementaires et fréquence des mesures radiologiques pour les végétaux terrestres et le lait

Les étapes du prélèvement à l'analyse des échantillons, sont réalisées sous couvert des agréments 2_01 et 2_02 (sédiments) et 3_01, 3_02, 3_05 et 3_06 (faune et flore aquatique) du Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

6.3.3.1.4. Synthèse de la surveillance radiologique de l'environnement

Le [Tableau 6.z](#), le [Tableau 6.aa](#) et le [Tableau 6.bb](#) récapitulent l'ensemble de la surveillance radiologique de l'environnement du site de Fessenheim.

Compartiment de l'environnement	Nature du contrôle	Localisation	Fréquence	Paramètres ou analyses
Radioactivité ambiante	Réseau clôture	10 stations en limite du site	Continue	Débit de dose gamma ambiant
	Réseau 1 km	4 stations dans un rayon de 1 km	Continue	
	Réseau 5 km	3 stations dans un rayon de 5 km	Continue	
	Réseau 10 km ³⁰	10 stations dans un rayon de 10 km	Continue	
Air au niveau du sol	Poussières atmosphériques	4 stations dans un rayon de 1 km (AS1 – sous les vents dominants, AS2, AS3, AS4)	Quotidienne	Détermination de l'activité bêta globale et si bêta globale supérieure à 2 mBq/m ³ spectrométrie gamma
			Mensuelle	Spectrométrie gamma sur regroupement des filtres quotidiens d'une même station
	Tritium atmosphérique	Sous les vents dominants, station AS1	Hebdomadaire	Tritium
Précipitations atmosphériques	Eau de pluie	Sous les vents dominants, station AS1	Bimensuelle	Bêta globale
				Tritium

Tableau 6.z Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans l'atmosphère

³⁰ Ce réseau n'est pas une obligation réglementaire. Il a été implanté à l'initiative de l'exploitant.

Nature du prélèvement	Mesure	Fréquence	Seuils de décision réglementaires
Végétaux terrestres	Dans une zone située sous les vents dominants à proximité du site	Mensuelle	Spectrométrie gamma
		Trimestrielle	Carbone 14
		Annuelle	Tritium (HTO et TOL)
Lait	Si possible au voisinage de l'installation (0 à 10 km)	Mensuelle	Spectrométrie gamma
		Annuelle	Carbone 14
		Annuelle	Tritium (HTO)
		Annuelle	Strontium 90
Couches superficielles de terres	Sous les vents dominants	Annuelle	Spectrométrie gamma
Productions agricoles	Si possible sous les vents dominants	Annuelle	Spectrométrie gamma
			Tritium (HTO et TOL)

Tableau 6.aa Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans le compartiment terrestre

Nature du prélèvement	Mesure	Fréquence	Seuils de décision réglementaires
Eaux de surface	Zone d'influence des rejets du site	Horaire (à mi-rejet à chaque rejet des réservoirs)	Bêta globale, potassium et tritium (eau filtrée) Bêta globale (MES)
	En dehors de la zone d'influence des rejets du site (amont)	Aliquotés moyens journaliers	Tritium
Sédiments	Zone d'influence des rejets du site et en dehors de la zone d'influence des rejets du site	Annuelle	Spectrométrie gamma
Végétaux aquatiques		Annuelle	Spectrométrie gamma
Poissons		Annuelle	Spectrométrie gamma
		Annuelle	Carbone 14
		Annuelle	Tritium (TOL)

Tableau 6.bb Tableau récapitulatif de la surveillance radiologique réglementaire dans le compartiment aquatique

6.3.3.2. ETUDES RADIOECOLOGIQUES

En complément des analyses réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire, EDF a mis en place sa propre stratégie d'étude destinée à évaluer le plus finement possible la contribution du CNPE de Fessenheim à l'apport de radionucléides artificiels dans le milieu récepteur.

Ainsi depuis 1992, un suivi de l'activité gamma par des mesures à bas niveau de matrices environnementales terrestres (sols, végétaux, lait) et aquatiques continentales ou marines (sédiments, végétaux, poissons, etc.), à une fréquence annuelle, sur l'ensemble du parc en exploitation a été mise en place. Ces analyses ont été complétées en 2000 par la caractérisation de l'activité du tritium libre (HTO) et en 2012 par la mesure du tritium organiquement lié (TOL) et du carbone 14 (^{14}C). Des mesures du nickel 63, du fer 55 et de certains radionucléides émetteurs alphas sont également réalisées à fréquence décennale sur certaines matrices.

Dans le cadre de ces études, les stations de prélèvement et la nature des échantillons collectés sont choisies afin de permettre la comparaison des résultats avec ceux obtenus lors des études précédentes, tout en tenant compte des activités économiques principales de la région et des conditions locales, notamment du régime éolien. Ainsi, les stations de prélèvement sont situées sous et hors l'influence des rejets d'effluents radioactifs liquides et à l'atmosphère. Les échantillons choisis représentent des vecteurs de transfert direct ou indirect de la radioactivité vers l'homme et l'environnement. Les sols et les sédiments sont également caractérisés par une granulométrie et une détermination de la concentration en matières organiques. Le rapport établi dans le cadre de ce suivi radioécologique annuel est intégré dans le Rapport Annuel de Surveillance de l'Environnement du site.

Tous les dix ans, à compter de la date moyenne de mise en fonctionnement de chaque CNPE, un bilan radioécologique décennal est réalisé. Ceux du CNPE de Fessenheim ont été effectués en 1989, 1998 puis en 2009 soit respectivement 12, 21 et 32 ans après le couplage au réseau des tranches. Afin de compléter la caractérisation des niveaux de radioactivité dans l'environnement, en plus de la détermination de l'activité, à l'état de traces, de radionucléides émetteurs gamma, du tritium libre (HTO), du tritium organiquement lié (TOL) et du carbone 14, sont caractérisés les radionucléides émetteurs alpha (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am)), et d'autres radionucléides émetteurs bêta tels que le strontium 90 (^{90}Sr), le nickel 63 (^{63}Ni), etc. Pour effectuer ces analyses, un nombre plus important et une plus grande diversité d'échantillons sont récoltés par rapport aux études réalisées annuellement (Cf. [Paragraphe 6.1.4](#) et [Paragraphe 6.1.5](#)).

6.3.3.3. SURVEILLANCE EFFECTUEE PAR LES AUTORITES

L'ASN fait réaliser de façon systématique, pour son propre compte, des contrôles par un organisme expert, appui de l'ASN (IRSN).

En parallèle de sa propre surveillance, le site de Fessenheim collecte les échantillons prélevés par les équipements de surveillance de l'environnement, propriété de l'IRSN. Les prélèvements effectués pour le compte de l'ASN sont envoyés à l'IRSN pour analyse(s).

Les plans de surveillance demandés par l'ASN et effectués par l'IRSN autour des installations tiennent compte du type d'exploitation et de leurs rejets. Ces plans varient en fonction de l'environnement géographique de l'installation. Ils répondent à deux objectifs :

- la détection précoce d'un incident ou d'un événement radiologique par le biais des balises de télémessure (balise Téléray) ;
- l'évaluation des niveaux d'activité mesurés dans des échantillons issus des différents compartiments de l'environnement susceptibles d'être marqués par les rejets d'effluents liquides ou à l'atmosphère de l'installation surveillée.

Le plan de surveillance établi à proximité du site de Fessenheim comprend notamment :

- une mesure en continu dans l'air du débit de dose gamma ambiant effectuée par les sondes radiométriques du site (la balise Téléray la plus proche du site est celle de Blodelsheim, située à environ 3 km) ;
- un prélèvement hebdomadaire de poussières atmosphériques effectué à la station AS1 tous les lundis et expédié à l'IRSN dans la journée ;
- un prélèvement en continu des eaux de pluie effectué à la station AS1 récupéré à périodicité hebdomadaire (1, 8, 15, 22 de chaque mois à plus ou moins un jour près) ou en cas de fortes pluies et envoyé à l'IRSN pour analyse tous les mois ;
- un prélèvement de boue en fin de mois représentatif du mois écoulé à l'amont (à Kembs) et à l'aval (à Vogelgrun) du site, envoyé mensuellement à l'IRSN ;
- un prélèvement en continu dans le Grand Canal d'Alsace à l'amont (à Kembs) et à l'aval (à Vogelgrun) du site par hydrocollecteur, prélèvements récupérés tous les trois jours environ, et envoyés mensuellement à l'IRSN.

Les données acquises par cette surveillance sont comparées aux mesures réalisées par l'exploitant et sont exportées sur le site internet du réseau national de mesures : <https://www.mesure-radioactivite.fr>.

6.4.

MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION D'IMPACT ET MESURES COMPENSATOIRES

Les incidences du démantèlement sur l'état radiologique de l'environnement sont liées aux rejets d'effluents radioactifs lors des opérations de démantèlement électromécanique et d'assainissement. Les travaux de démantèlement électromécanique et d'assainissement sont organisés afin d'éviter autant que possible les impacts des rejets radioactifs et afin de réduire ceux qui ne peuvent pas être évités, au regard de l'utilisation des meilleures techniques disponibles, dans des conditions techniques et économiques acceptables.

Ce paragraphe présente sous la forme d'un tableau de synthèse les sources d'impacts potentiels du projet de démantèlement de l'INB n°75 sur la radioécologie, ainsi que les mesures destinées à éviter et/ou réduire ces impacts et les coûts associés. Ces mesures sont cohérentes avec les principes et la démarche ERC présentés dans le [Chapitre 2, Paragraphe 2.7.1.](#)

	Mesures d'évitement et/ou de réduction des impacts	Effet de la mesure	Coût associé
Rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère	La décontamination FSD (Full System Decontamination) en phase de pré-démantèlement du circuit primaire permet de réduire les rejets radioactifs à l'atmosphère et la remise en suspension de substances radioactives lors des opérations de découpe.	Réduction	Coût de la décontamination : estimé à 15 M€
	Les opérations génératrices de rejets radioactifs à l'atmosphère sont réduites au strict nécessaire. Par exemple, pour certains éléments de l'installation, une gestion des déchets en pièces unitaires (dite gestion en « monoblocs », c'est-à-dire que le déchet est constitué de la pièce elle-même sans redécoupe) est envisagée.	Réduction	Intégré au coût du démantèlement
	L'utilisation de procédés de découpe faiblement émetteurs de rejets permet également de réduire les rejets radioactifs à l'atmosphère. Comme indiqué au Chapitre 2, Paragraphe 2.7.3.1. , les techniques de découpe mécanique sont favorisées car elles permettent notamment de limiter les rejets à l'atmosphère. Les découpes thermiques sont néanmoins mises en œuvre si la découpe mécanique n'est pas la plus appropriée. En cas de recours à la découpe thermique, le laser est privilégié par rapport au plasma, car il permet un trait de coupe plus fin et permet ainsi de réduire les rejets associés (EC-CND-WP7, 2009 ³¹).	Réduction	Intégré au coût du démantèlement

³¹ EC-CND-WP7 - Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how – 2009.

	Mesures d'évitement et/ou de réduction des impacts	Effet de la mesure	Coût associé
	Le choix du démantèlement des cuves réacteur et de leurs internes sous eau plutôt que sous air permet de réduire les rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère. En effet, pour ces équipements, les rejets d'effluents radioactifs à l'atmosphère seraient trop importants dans le cas d'une découpe sous air.	Réduction	Intégré au coût du démantèlement
	Le respect des dispositions de propreté radiologique contribue indirectement à minimiser les rejets radioactifs à l'atmosphère.	Réduction	Intégré au coût du démantèlement
	Les poussières produites lors des opérations de démantèlement et d'assainissement sont récupérées par un système constitué d'une aspiration à la source et d'une filtration de chantier. Cette mesure est reconnue par les organisations internationales et mise en œuvre par de nombreux autres exploitants nucléaires à l'international. Le choix d'utiliser des ateliers centralisés dans le BR et le BAN avec une ventilation appropriée, ou encore la mise en place de sas de confinement également équipés d'une ventilation appropriée, permet de limiter les rejets à l'atmosphère.	Réduction	Coût associé au montage / démontage des sas de chantier : environ 1 k€ par sas
	Les filtres utilisés sont des filtres Très Haute Efficacité (THE) avec un coefficient d'efficacité d'au moins 1 000 et qui correspondent aux meilleures techniques disponibles en matière de traitement des effluents à l'atmosphère. L'utilisation de tels filtres pour la rétention des aérosols est largement reconnue à l'international (AIEA, 2014 ³² ; OCDE, 2003 ³³ ; EA, 199 ³⁴ ; NVF/DG001, 2009 ³⁵) et mis en œuvre par la quasi-totalité des exploitants du nucléaire à l'international.	Réduction	Coût associé à l'entretien des filtres THE : environ 10 k€ par an
Rejets d'effluents radioactifs liquides	Les rejets d'effluents liquides sont traités et contrôlés avant rejet selon leurs caractéristiques, afin de limiter l'activité rejetée. Les traitements mis en place pour les effluents radioactifs liquides sont reconnus au niveau international et mis en œuvre par l'ensemble des exploitants de sites nucléaires de production d'électricité. Ces mesures concernent notamment : la filtration et le traitement sur résines échangeuses d'ions.	Réduction	Coût de l'installation du dispositif d'épuration et de filtration : environ 230 k€
	En particulier, des systèmes de traitement spécifiques au démantèlement, adaptés et performants sont mis en œuvre afin de réduire l'activité des effluents avant leur rejet, en complément du système TEU.	Réduction	Coût de l'installation du système de récupération des copeaux lors des opérations de découpe : 58 k€

Tableau 6.cc Mesures d'évitements et/ou réduction des impacts pour les rejets radioactifs

³² Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) - TECDOC-1744 – Treatment of Radioactive Gaseous Waste – 2014.

³³ Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) - Effluent release options from nuclear installations. Technical Background and regulatory aspects – 2003.

³⁴ Environment Agency (EA) - Technical Guidance Note A5, Abatement of Atmospheric Radioactive Releases from Nuclear Facilities – 1998.

³⁵ NVF/DG001, Nuclear industry guidance – An Aid to the Design of Ventilation of Radioactive Areas – 2009.

Les cheminées de rejets des effluents radioactifs à l'atmosphère sont équipées de dispositifs de surveillance en continu. Cette surveillance permet de garantir la performance des installations de traitement des effluents et des mesures mises en place. À noter que la surveillance du rayonnement gamma ambiant à la clôture, et à 1 et 5 kilomètres du site, ainsi que les dispositifs de prélèvement de poussières à l'atmosphère (mesure de radioactivité bêta globale) à 1 kilomètre permettent également de vérifier la performance des mesures mises en place.

Des systèmes d'échantillonnage et de contrôle d'activité dans les effluents radioactifs liquides permettent de garantir d'une part la performance des installations de traitement des effluents et d'autre part la maîtrise du respect des dispositions réglementaires et des valeurs limites de rejets.

L'analyse des incidences des rejets radioactifs dans l'environnement menée précédemment a été réalisée via un scénario pénalisant. Malgré cette approche majorante, l'analyse n'a pas mis en évidence d'incidences notables sur l'environnement, si bien qu'il n'est pas proposé de mesures compensatoires.

6.5.

DESCRIPTION DES METHODES UTILISEES

6.5.1. EVALUATION RETROSPECTIVE SUR LA BASE DES MESURES EFFECTUEES DANS L'ENVIRONNEMENT

6.5.1.1. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

L'analyse des incidences des rejets radioactifs du site est estimée sur la base des études radioécologiques réalisées dans l'environnement. Les différentes études régulièrement réalisées permettent de connaître précisément le niveau de radioactivité des matrices représentatives des différents compartiments de l'environnement, et de mettre en évidence, en comparaison avec les résultats antérieurs, tout marquage dans l'environnement.

Cette approche permet de déterminer dans quelle mesure l'exploitation du site a contribué à l'apport de radionucléides artificiels dans l'environnement

6.5.1.2. LIMITES DES MOYENS D'EVALUATION RETROSPECTIVE

L'évaluation rétrospective du risque environnemental s'appuyant sur les études radioécologiques progresse avec la stratégie appliquée dans le cadre de ces études. Les suivis radioécologiques annuels réalisés dans l'environnement des sites sont enrichis à partir des progrès scientifiques obtenus soit dans le domaine de la métrologie, soit dans celui de la méthodologie en fonction des retours d'expérience. Ces améliorations contribuent à vérifier a posteriori l'absence d'incidences sur l'environnement des rejets d'effluents radioactifs du site de Fessenheim.

6.5.2. EVALUATION PROSPECTIVE DU RISQUE ENVIRONNEMENTAL

6.5.2.1. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

L'outil ERICA³⁶ (Environmental Risks from Ionising Contaminants : Assessment and management) est le résultat de l'effort commun de 15 institutions (dont l'IRSN) de 7 pays européens dans le cadre du 6^{ème} PCRD (Programme Cadre de Recherche et Développement) financé par l'Union Européenne entre 2004 et 2007. Il permet d'évaluer, de caractériser et de gérer les risques environnementaux induits par la présence de radionucléides dans l'environnement terrestre et aquatique.

Depuis 2008, en application des recommandations internationales visant la radioprotection des espèces non humaines, EDF a complété son approche par une évaluation du risque environnemental attribuable aux rejets d'effluents radioactifs de ses installations avec l'outil ERICA³⁷. L'évaluation est réalisée par l'intermédiaire des calculs d'indices de risques pour des couples organismes de référence / radionucléide.

Cette méthode ^{(38),(39),(40)} est graduée en trois niveaux d'évaluation basés sur des hypothèses ayant un degré de conservatisme décroissant. Elle s'appuie sur le principe de proportionnalité qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et le risque environnemental. Plus l'utilisateur progresse dans les niveaux d'évaluation, plus il lui est possible d'inclure dans son évaluation des paramètres spécifiques à l'environnement dont il souhaite faire l'étude de risque.

Les trois niveaux d'évaluation proposés dans la méthodologie ERICA sont les suivantes :

- un premier niveau d'évaluation dit de "screening" : ce terme est utilisé pour désigner la première évaluation simplifiée, et délibérément conservative, qui permet à l'évaluateur d'écarter avec certitude les situations d'exposition qui n'engendrent aucun risque pour l'environnement ;
- un deuxième niveau d'évaluation utilisant des données génériques, des modèles de transfert des radionucléides plus réalistes, des organismes de référence plus représentatifs ;
- et un troisième niveau d'évaluation, qui est mis en œuvre seulement si le second a permis d'identifier des situations à risque. Il s'agit d'une évaluation complète basée sur des données spécifiques au site étudié.

³⁶ D-ERICA : An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation - Description of purpose, methodology and application. N. Beresford & al. February 2007.

³⁷ Radioprotection de l'environnement : méthodologie et retour d'expérience d'EDF. C. Boyer, G. Gontier et P.-Y. Hemidy. Radioprotection Volume 51, Number 4, October-December 2016, pages 237-244.

³⁸ Évaluer l'impact des rejets radioactifs sur l'environnement : situation actuelle et perspectives. J. Garnier-Laplace, K. Beaugelin-Seiller, R. Gilbin, J-C. Gariel. La Revue de l'ASN « Contrôle » n°177, Novembre 2007, page 36 à 41.

³⁹ D-ERICA : An integrated approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation - Description of purpose, methodology and application. N. Beresford & al. February 2007.

⁴⁰ A new version of the ERICA tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals, J.E. Brown, B. Alfonso, R. Avila, N.A. Beresford, D. Copplestone, A. Hosseini, Journal of Environmental Radioactivity 153 (2016) 141-148.

Comme pour la méthode d'évaluation du risque environnemental associé aux substances chimiques, décrite dans un guide technique européen⁴¹, chacun des niveaux d'évaluation de la méthodologie ERICA est constitué des quatre composantes suivantes :

- **la formulation du problème** (ou identification des dangers), qui vise à réunir toutes les informations disponibles concernant les substances nocives, les cibles à protéger (organismes de référence) dans l'environnement et les relations potentielles entre la source et la cible ;
- **l'analyse des expositions**, qui vise à déterminer, par la mesure ou le calcul, les concentrations auxquelles les organismes de référence peuvent être exposés (PEC, Predicted Environmental Concentration) ;
- **l'analyse des effets**, qui a pour objet la détermination des concentrations prévues sans effet (PNEC, Predicted No Effect Concentration) par l'examen des relations dose-réponse associées à chaque couple substance-organisme. Les effets retenus pour déterminer les PNEC sont, dans le cas des milieux récepteurs, de type déterministe, c'est-à-dire, pertinents au regard de la dynamique des populations des espèces (par exemple : croissance, reproduction, mortalité, etc.) ;
- **la caractérisation du risque**, qui intègre les données d'exposition et les données d'effet.

6.5.2.2. HYPOTHESES DE CALCUL – CONSERVATISMES

Les principes de l'évaluation du risque pour l'environnement d'un rejet d'effluent radioactif sont les mêmes que ceux appliqués aux substances chimiques. Le débit de dose induit par les rejets radioactifs (PEDR) pour chaque organisme de référence de l'environnement donné est comparé à la valeur de débit de dose sans effet (PNEDR : Predicted No Effect Dose Rate).

Dans le cadre de l'approche ERICA, la PNEDR a été déterminée selon la technique des SSD (Species Sensitivity Distribution) appliquée aux données d'effets des rayonnements ionisants pour les organismes non humains. La méthode des SSD consiste à décrire la distribution statistique de la variation de sensibilité à un stresser au sein des espèces ayant fait l'objet de tests d'écotoxicité.

Le débit de dose, en deçà duquel 95% des espèces d'un écosystème donné sont protégées, a été déterminé. La valeur de référence utilisée dans les niveaux d'évaluation 1 et 2 de la méthode ERICA est obtenue par application d'un facteur de sécurité à la valeur de HDR₅ (Hazardous Dose Rate 5 %). Le débit de dose sans effet (PNEDR) en résultant est estimé à 10 µGy/h.

Les différents niveaux d'évaluation de la méthode ERICA aboutissent au calcul d'un indice de risque (IR). Ce dernier est calculé différemment selon l'étape considérée.

Le premier niveau d'évaluation de la méthode ERICA (Tier 1 ou « screening ») permet de réaliser une analyse simple et conservatrice du risque environnemental d'un rejet d'effluent radioactif sur la base d'un minimum de données d'entrée. L'activité mesurée ou estimée dans l'environnement (A) est comparée à une valeur d'activité limite dans l'environnement (EMCL – Environmental Media Concentration Limit).

Chaque radionucléide est étudié individuellement et l'EMCL est déterminée par un rétro-calcul à partir du débit de dose sans effet (PNEDR) de 10 µGy/h.

⁴¹ Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) n° 1488/94 on risk assessment for existing substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 2003, 328 pages.

Les valeurs d'activité en radionucléide (A) dans l'environnement sont obtenues par modélisation des transferts de radionucléides au sein des écosystèmes, sur la base des rejets. L'outil SYMBIOSE est utilisé pour le calcul des activités respectivement dans l'environnement terrestre (activités dans l'air et dans le sol) et dans l'environnement aquatique (activités dans l'eau et dans les sédiments).

Le calcul de l'indice de risque (IR) pour le niveau d'évaluation 1 est fourni par la formule :

$$IR = \frac{A}{EMCL}$$

Avec :

- IR : indice de risque pour un radionucléide donné ;
- A : activité d'un radionucléide estimée ou mesurée (en Bq/L pour l'eau, Bq/kg pour les sols ou sédiments et Bq/m³ pour l'air) ;
- EMCL : valeur limite d'activité dans l'environnement pour un radionucléide donné pour le plus sensible des organismes de référence (mêmes unités).

Un indice de risque est calculé pour chaque organisme de référence. L'indice de risque retenu pour un radionucléide considéré est celui de l'organisme le plus sensible à ces effets. Par conséquent, l'indice de risque total, tenant compte de la somme des indices de risque des organismes les plus sensibles (IR) associés à chaque radionucléide, est toujours majorant.

Le résultat du calcul de l'indice de risque total est ensuite analysé :

- si la somme des IR est inférieure à 1, la probabilité pour n'importe quel organisme de l'écosystème d'absorber une dose supérieure à 10 µGy/h est faible et le risque environnemental associé aux rejets d'effluents radioactifs peut être considéré comme négligeable. L'outil ERICA indique alors qu'il n'est pas nécessaire de réaliser le niveau d'évaluation supérieur du risque environnemental ;
- si la somme des IR est supérieure ou égale à 1, cela signifie qu'il existe une possibilité pour qu'au moins un organisme de l'écosystème puisse être soumis à une dose supérieure à 10 µGy/h ; il n'y a pas assez de preuve pour assurer que le risque radiologique vis à vis de l'environnement est négligeable. L'outil ERICA recommande alors de procéder à une évaluation générique du risque environnemental (niveau d'évaluation 2) afin d'affiner l'évaluation de ce risque.

Dans le niveau d'évaluation 2 de la méthode ERICA, le débit de dose de screening de 10 µGy/h est directement comparé au débit de dose total absorbé estimé pour chaque organisme considéré individuellement :

$$IR_{org} = \frac{DR_{org}}{DRS}$$

Avec :

- IR_{org} : indice de risque pour un organisme donné ;
- DR_{org} : débit de dose total estimé pour l'organisme de référence (µGy/h) ;
- DRS : débit de dose de screening sélectionné par l'utilisateur (µGy/h).

L'approche utilisée dans le niveau d'évaluation 2 diffère de celle adoptée dans le niveau d'évaluation 1 car l'indice de risque (IR) total pour un organisme donné est calculé en faisant la somme des IR des radionucléides pour cet organisme. Dans le niveau d'évaluation 1, l'indice de risque total est obtenu en additionnant les IR des organismes de référence limitant pour chaque radionucléide. Le deuxième niveau d'évaluation est moins conservatif que le premier mais se justifie car l'utilisateur peut directement sélectionner les organismes de référence et les radionucléides qu'il souhaite considérer dans la modélisation. Bien que l'évaluation soit moins conservatrice, elle est plus représentative de l'environnement étudié.

6.5.2.3. LIMITES DES MOYENS D'ÉVALUATION PROSPECTIVE

L'évaluation prospective du risque environnemental effectuée selon la méthodologie ERICA a été validée par des études de cas⁴² dans différents pays européens. Elle peut donc aujourd'hui être utilisée pour évaluer le risque environnemental lié à des rejets d'effluents radioactifs, actuels et futurs, dans un écosystème, complétant ainsi les observations de terrain.

Le projet ERICA et les groupes de travail associés ont pris fin en 2007. Il est néanmoins en constant développement puisque des améliorations lui sont apportées pour combler ses limites actuelles. Parmi ces limites, on peut citer la séparation de l'environnement aquatique et terrestre. Il est actuellement impossible de réaliser une évaluation en considérant des organismes vivant dans plusieurs écosystèmes ou d'estimer les incidences d'un type de rejets d'effluents radioactifs (à l'atmosphère ou liquides) sur plusieurs écosystèmes (aquatiques ou terrestres). Le spectre de radionucléides disponible constitue une autre limite de l'outil.

Ces limites font partie des points à l'étude pour les futurs développements étudiés par le consortium en charge de l'évolution de l'outil. Certains radionucléides présents dans l'outil nécessitent également d'être paramétrés. Dans certains cas, la connaissance des paramètres nécessaires à l'évaluation (facteurs de concentration, relations dose-effets, etc.) est insuffisante. La connaissance sur le comportement des radionucléides dans la biosphère est en constante évolution. L'outil est donc amélioré en y incorporant les nouvelles valeurs, plus précises, des paramètres.

Pour mieux contraindre ces paramètres, des programmes de recherche sont actuellement en cours. Par exemple, des programmes initiés par l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) tels que les programmes EMRAS (Environmental Modelling for Radiation Safety), menés de 2003 à 2007 (EMRAS I) puis de 2009 à 2011 (EMRAS II), et actuellement le programme MODARIA (Modelling and Data for Radiological Impact Assessments) (MODARIA I 2012-2015 et MODARIA II 2016-2019), ont pour objectif l'amélioration et l'intercomparaison des modèles d'évaluation des incidences des radionucléides dans l'environnement.

Initialement mis à disposition en 2007, l'outil ERICA en est aujourd'hui à sa 7^{ième} version. Les principales évolutions des dernières montées des versions (novembre 2014 et février 2016) sont l'ajout de radionucléides à la liste de radionucléides disponibles (¹⁴⁰Ba, ⁴⁵Ca, ⁵¹Cr, ²⁵²Cf, ¹⁹²Ir, ¹⁴⁰La, ²³¹Pa et ⁶⁵Zn), l'actualisation de la liste d'organismes de références, la mise à jour de certains coefficients de distribution Kd et de certains paramètres dosimétriques et l'actualisation de l'approche d'extrapolation utilisée pour combler des données manquantes parmi les mises à jour les plus importantes⁴³.

Des groupes de travail nationaux et internationaux, auxquels participent des experts faisant référence dans le domaine, permettent d'aborder des thèmes comme, notamment, celui de l'évaluation des doses au biota. La constitution d'une base de données des paramètres de transfert au biota et l'analyse des relations doses effets contribuent à l'évolution constante de l'outil ERICA. L'ensemble des résultats est suivi et inclus dans l'amélioration de l'outil.

⁴² Application of ERICA Integrated Approach at case study sites. Deliverable D10, European Commission, 6th Framework, Contract n°FI6R-CT-2003-508847, Beresford N., Howard B., Barnett C.. 2007. 126 pages.

⁴³ A new version of the ERICA tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals. J.E. Brown et 142 al. / Journal of Environmental Radioactivity 153 (2016) 141-148.

6.6.

CONCLUSION

De façon rétrospective, les rejets radioactifs effectués par le CNPE de Fessenheim n'ont globalement pas modifié les caractéristiques radiologiques du milieu récepteur. La radioactivité présente dans les écosystèmes terrestre et aquatique du CNPE de Fessenheim est du même ordre de grandeur depuis l'état de référence initial et est majoritairement d'origine naturelle.

De façon prospective, l'évaluation du risque environnemental dans l'environnement associé aux limites demandées des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques et liquides dans le cadre du projet de démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim montre que celui-ci est négligeable selon la méthodologie ERICA.

Au regard des analyses précédentes, le démantèlement de l'INB n°75 de Fessenheim n'aura pas d'incidence notable sur l'état radiologique de l'environnement.