

RAPPORT

SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE ANNUEL DES CNPE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

ANNÉE 2022

Pôle Santé et Environnement

Rapport IRSN N° 2024-00233

TABLE DES MATIÈRES

0. OBJECTIFS	17
1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS.....	17
2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD	17
2.1. Radionucléides d'origine naturelle.....	18
2.1.1. Origine tellurique.....	18
2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ¹⁴ C	18
2.2. Radionucléides d'origine artificielle	19
2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites	19
2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl	21
2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi	22
2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF	23
2.2.5. Autres activités	24
3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE	25
3.1. Climatologie.....	25
3.2. Géologie et hydrogéologie.....	25
3.3. Hydrographie et hydrologie	26
4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE	28
4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures	28
4.2. État radiologique de l'environnement terrestre	30
4.2.1. Stratégie d'échantillonnage.....	30
4.2.2. Résultats et interprétation	34
4.3. État radiologique de l'environnement aquatique	36
4.3.1. Stratégie d'échantillonnage.....	36
4.3.2. Résultats et interprétation	42
4.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville	48
4.5. Tableaux de résultats	49
5. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL	73
5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures	73
5.2. État radiologique de l'environnement terrestre	75
5.2.1. Stratégie d'échantillonnage.....	75
5.2.2. Résultats et interprétation	79
5.3. État radiologique de l'environnement aquatique	81

5.3.1.	Stratégie d'échantillonnage.....	81
5.3.2.	Résultats et interprétation	86
5.4.	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel	89
5.5.	Tableaux de résultats	91
6.	ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY.....	117
6.1.	Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures	117
6.2.	État radiologique de l'environnement terrestre	119
6.2.1.	Stratégie d'échantillonnage.....	119
6.2.2.	Résultats et interprétation	123
6.3.	État radiologique de l'environnement aquatique	125
6.3.1.	Stratégie d'échantillonnage.....	125
6.3.2.	Résultats et interprétation	130
6.4.	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly	134
6.5.	Tableaux de résultats	135
7.	ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES	158
7.1.	Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures	158
7.2.	État radiologique de l'environnement terrestre	160
7.2.1.	Stratégie d'échantillonnage.....	160
7.2.2.	Résultats et interprétation	164
7.3.	État radiologique de l'environnement aquatique	166
7.3.1.	Stratégie d'échantillonnage.....	166
7.3.2.	Résultats et interprétation	171
7.4.	Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines.....	174
7.5.	Tableaux de résultats	175
8.	SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD.....	201
8.1.	Radioécologie du milieu terrestre	201
8.2.	Radioécologie du milieu marin.....	202
9.	BIBLIOGRAPHIE	205
10.	ANNEXES.....	207

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figures

Figure 1 – Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d’eaux (carte : [1, 2]).....	18
Figure 2 – Activités de ^3H dans l’eau de pluie d’après [3].	20
Figure 3 – Évolution de l’activité spécifique du ^{14}C dans l’hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).	21
Figure 4 - Activités surfaciques de ^{137}Cs , calculées pour l’année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l’accident de Tchernobyl à partir de [18].	22
Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l’air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]).	23
Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l’environnement du CNPE de Flamanville.	29
Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	33
Figure 8 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des végétaux cultivés (légumes), des herbes et des indicateurs végétaux (mousses terrestres et lichens) échantillonnés dans l’environnement terrestre du CNPE de Flamanville.	35
Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	41
Figure 10 – Variation temporelle entre 2013 et 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.	43
Figure 11 – Variation temporelle entre 2013 et 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.	44
Figure 12 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des crustacés et des poissons échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.	45
Figure 13 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités en ^{14}C au sein des algues et mollusques dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.	46
Figure 14 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l’environnement du CNPE de Paluel.....	74
Figure 15 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	78
Figure 16 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des végétaux cultivés (légumes) et herbes échantillonnés dans l’environnement terrestre du CNPE de Paluel.....	80
Figure 17 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	85

Figure 18 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Paluel.....	88
Figure 19 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l’environnement du CNPE de Penly.....	118
Figure 20 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	122
Figure 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	129
Figure 22 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues et des crustacés échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Penly.....	132
Figure 23 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des poissons échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Penly.	133
Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l’environnement du CNPE de Gravelines.	159
Figure 25 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	163
Figure 26 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein de l’herbe et du lierre échantillonnés dans l’environnement terrestre du CNPE de Gravelines.....	165
Figure 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.	170
Figure 28 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines.....	172
Figure 29 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des crustacés échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines.....	173
Figure 30 - Activités en tritium libre ($\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l’environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre 3,7 et 5,9 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ à distance de l’usine ORANO [3, 25, 26]).	203
Figure 31 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2022 dans l’environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.	204
Figure 32 - Activités en ^{14}C ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l’environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 233 ± 5 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ C d’après [3]).	204
Figure 33 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.....	211
Figure 34 - Chronique d’une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.	217
Figure 35 - Valeurs significatives et seuils de décision dans les graphiques.	222

Figure 36 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).....	224
Figure 37 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.	224

Tableaux

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.	31
Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2022 et analyses réalisées.	37
Tableau 3 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	49
Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	50
Tableau 5 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	51
Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	52
Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	53
Tableau 8 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	54
Tableau 9 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	55
Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	56
Tableau 11 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	57
Tableau 12 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	58
Tableau 13 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	59

Tableau 14 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	60
Tableau 15 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	61
Tableau 16 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.....	62
Tableau 17 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.....	63
Tableau 18 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	64
Tableau 19 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	64
Tableau 20 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	65
Tableau 21 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	66
Tableau 22 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	67
Tableau 23 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	68
Tableau 24 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.....	69
Tableau 25 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.....	70
Tableau 26 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	71
Tableau 27 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	72
Tableau 28 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.	72
Tableau 29 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.	76
Tableau 30 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2022 et analyses réalisées.	82
Tableau 31 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	91

Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	92
Tableau 33 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	93
Tableau 34 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	94
Tableau 35 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	95
Tableau 36 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	96
Tableau 37 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	97
Tableau 38 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	99
Tableau 39 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	100
Tableau 40 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	103
Tableau 41 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	105
Tableau 42 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	106
Tableau 43 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	107
Tableau 44 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	108
Tableau 45 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	109
Tableau 46 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	109
Tableau 47 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	110

Tableau 48 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	111
Tableau 49 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	112
Tableau 50 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	113
Tableau 51 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	114
Tableau 52 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	114
Tableau 53 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	115
Tableau 54 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	116
Tableau 55 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.	116
Tableau 56 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.	120
Tableau 57 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2022 et analyses réalisées.	126
Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	135
Tableau 59 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	136
Tableau 60 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	137
Tableau 61 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	138
Tableau 62 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	139
Tableau 63 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	140
Tableau 64 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	141

Tableau 65 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	143
Tableau 66 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	144
Tableau 67 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	145
Tableau 68 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	146
Tableau 69 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	147
Tableau 70 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	148
Tableau 71 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	149
Tableau 72 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	150
Tableau 73 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	150
Tableau 74 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	151
Tableau 75 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	152
Tableau 76 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	153
Tableau 77 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	154
Tableau 78 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	155
Tableau 79 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	155
Tableau 80 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	156
Tableau 81 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	157
Tableau 82 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.	157

Tableau 83 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.	161
Tableau 84 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2022 et analyses réalisées.	167
Tableau 85 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	175
Tableau 86 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	176
Tableau 87 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	177
Tableau 88 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	179
Tableau 89 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades, choux-fleurs et pommes de terre) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	180
Tableau 90 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	181
Tableau 91 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson et d'irrigation collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	182
Tableau 92 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	183
Tableau 93 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	184
Tableau 94 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	185
Tableau 95 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	186
Tableau 96 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.	187
Tableau 97 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	188

Tableau 98 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	189
Tableau 99 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	190
Tableau 100 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	191
Tableau 101 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	191
Tableau 102 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	192
Tableau 103 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	193
Tableau 104 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	195
Tableau 105 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	196
Tableau 106 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	198
Tableau 107 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	198
Tableau 108 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	199
Tableau 109 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	200
Tableau 110 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.	200

0. OBJECTIFS

Électricité de France (EDF) a sollicité l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) pour effectuer un suivi radioécologique annuel de l'environnement proche des Centres Nucléaires de Production d'Électricité (CNPE) de la Manche et de la Mer du Nord.

L'objectif de cette étude est de caractériser, chaque année, les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord (Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines) dans un grand nombre de matrices du compartiment terrestre et marin et pour un large spectre de radionucléides. Il s'agit d'identifier les différentes sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence de ces radionucléides observés dans l'environnement et d'analyser l'évolution de leurs concentrations dans les matrices au cours de la dernière décennie.

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS

La stratégie de prélèvements et d'analyses définie par EDF est commune à l'ensemble des sites. Des contraintes supplémentaires peuvent localement modifier le point de collecte, le nombre ou la nature des analyses réalisées. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local en milieu terrestre, et en fonction de l'hydrodynamisme local en milieu marin (Annexe 1).

Les matrices échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale (Annexe 2 et Annexe 3). Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Les matrices prélevées tiennent également compte de la réglementation applicable à chaque CNPE.

L'ensemble des analyses sont réalisées à fréquence annuelle, ainsi qu'à fréquence trimestrielle pour le ^{14}C mesuré dans les végétaux terrestres (Annexe 3), voire quinquennale pour quelques techniques plus pointues. Dans la plupart des matrices collectées, une analyse gamma, une analyse de tritium organiquement lié voire de tritium libre, et une analyse de ^{14}C sont réalisées (Annexe 4, Annexe 7, Annexe 8 et Annexe 1). Dans certaines matrices, des analyses supplémentaires peuvent être réalisées (Annexe 4). L'analyse des émetteurs gamma d'origine naturelle permet de caractériser les échantillons prélevés, de vérifier la qualité des prélèvements et des analyses. Les méthodes de prélèvement, de préparation et d'analyses des échantillons mises en œuvre aux fins de la présente étude sont détaillées en annexes (Annexe 5, Annexe 6 et Annexe 7).

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

La présence de radionucléides artificiels dans l'environnement marin et terrestre des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord résulte des retombées atmosphériques globales liées aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, des rentrées atmosphériques de satellites artificiels, des utilisations médicales de sources radioactives et des rejets industriels d'effluents des installations nucléaires (Figure 1 page 18) ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et, dans une moindre mesure, de Fukushima Daiichi.

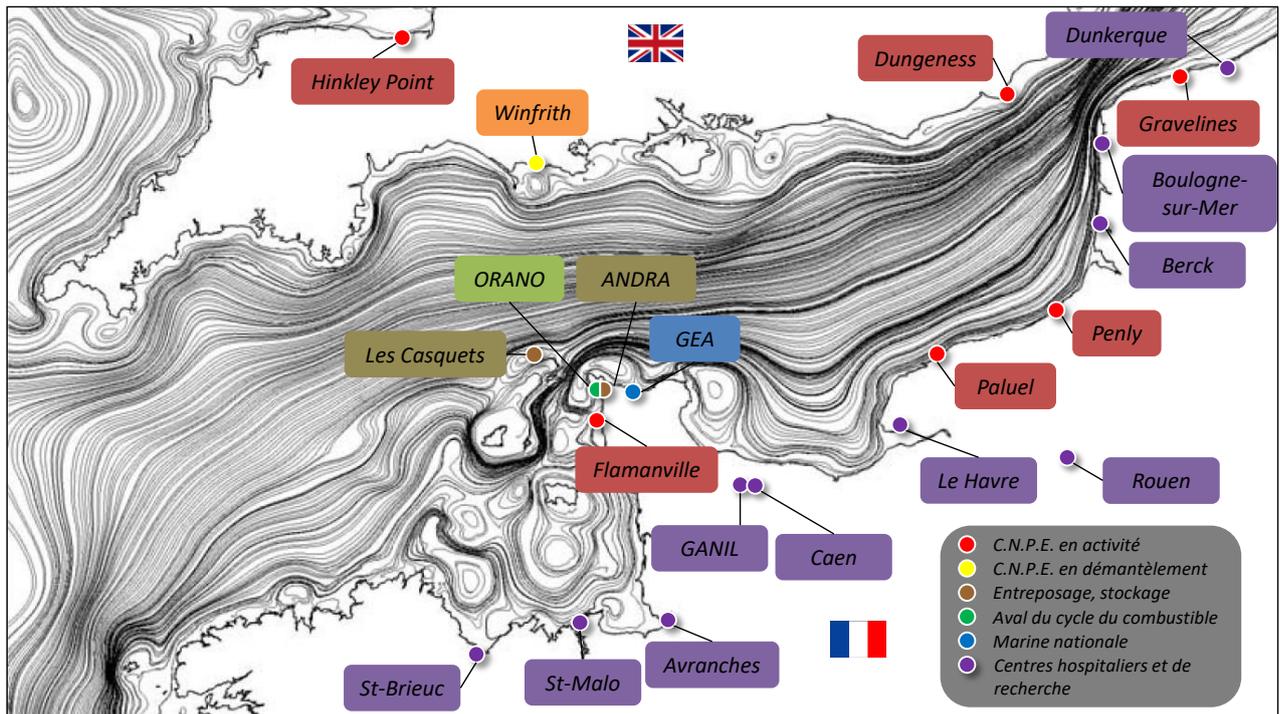


Figure 1 – Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d’eaux (carte : [1, 2]).

2.1. Radionucléides d’origine naturelle

Le bruit de fond radiologique naturel a deux origines : les radionucléides telluriques présents dans l’écorce terrestre et le rayonnement cosmique qui produit de manière permanente des radionucléides dits cosmogéniques.

2.1.1. Origine tellurique

Les radionucléides d’origine tellurique sont principalement le ^{40}K et les produits des chaînes de désintégration de l’ ^{238}U , de l’ ^{235}U et du ^{232}Th . Présents dans l’écorce terrestre, ces radionucléides sont persistants dans les divers compartiments de l’environnement du fait de leur période radioactive très longue, jusqu’à plusieurs milliards d’années. Leurs niveaux d’activité usuels sont indiqués dans le bilan de l’état radiologique de l’environnement français de 2018 à 2020 [3].

2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ^{14}C

Le rayonnement cosmique en provenance du soleil et de l’espace interagit avec la haute atmosphère terrestre et engendre en permanence la production de radionucléides cosmogéniques, comme le tritium (^3H), le ^{14}C , ^7Be et le ^{22}Na . Leurs niveaux d’activité usuels sont indiqués dans le bilan de l’état radiologique de l’environnement français de 2018 à 2020 [3].

Le ^3H et le ^{14}C ont également une origine anthropique, qui sera traitée plus en détail dans le paragraphe 2.2.

En tant qu’isotope de l’hydrogène, le ^3H (période radioactive : 12,312 ans [4]) est lié au cycle de cet élément dans l’environnement. Il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l’eau

tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée (HTO et TED par déshydratation de la matière organique), ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques et, de ce fait rapidement intégré dans de nombreux cycles de la géosphère et de la biosphère. En situation d'équilibre, il ne s'accumule pas préférentiellement dans les composantes de l'environnement. Les activités en tritium métabolisé dans la matière organique (tritium organiquement lié, TOL) sont généralement à l'équilibre avec les activités en HTO [5, 6, 7]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H atmosphérique étaient de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq.L⁻¹.

S'agissant du ^{14}C (période radioactive : 5 700 ans [4]), en milieu terrestre, les observations permettent de montrer que l'activité spécifique, exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total (Bq.kg⁻¹ C), est en équilibre dans les composantes de l'environnement, notamment avec celle du CO₂ atmosphérique.

2.2. Radionucléides d'origine artificielle

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites

Entre 1945 et 1980, les États-Unis d'Amérique, l'Union Soviétique, la France, la Grande-Bretagne et la Chine ont procédé à plus de 500 essais aériens d'armes nucléaires, l'essentiel de la puissance ayant été libéré entre 1954 et 1958, puis en 1961 et 1962 [8]. Les particules radioactives libérées dans la troposphère et la stratosphère au cours de ces essais sont retombées sur l'ensemble du globe, mais en raison de la localisation des sites de tirs, l'hémisphère nord a reçu la majorité des retombées radioactives issues de ces essais. En France métropolitaine, les retombées de ces essais ont été globalement homogènes et constituent une source principale de radioactivité artificielle dans l'environnement.

En termes d'activité, les dépôts les plus importants concernent les radionucléides à vie courte. Ainsi, en France, les dépôts d' ^{131}I , de ^{95}Zr , de $^{144}\text{Ce/Pr}$ et de $^{106}\text{Ru/Rh}$ (périodes radioactives respectives de 8,0233, 64,032, 285,0 et 371,5 jours [4]), aujourd'hui disparus, ont été 10 fois plus importants que les dépôts de radionucléides à vie moyenne (^{90}Sr et ^{137}Cs , de 28,80 et 30,05 ans de périodes radioactives respectives [4]). Les dépôts de radionucléides à vie longue (^{241}Am ¹, ^{14}C , ^{240}Pu et ^{239}Pu , de 432,6, 5 700, 6 561 et 24 100 ans de périodes respectives [4]) ont été comparativement très faibles [8]. Le ^{137}Cs , le ^{90}Sr , le ^{238}Pu , le $^{239,240}\text{Pu}$ et l' ^{241}Am sont encore détectés aujourd'hui dans de nombreux compartiments. Leurs faibles décroissances radioactives et, pour certains, leurs faibles mobilités dans les sols entretiennent un marquage ne diminuant que lentement depuis le milieu des années 1960 [8]. Dans une moindre mesure, la désintégration de onze satellites artificiels lors de leur entrée dans l'atmosphère, entre 1964 et 1996, a provoqué la dispersion dans l'atmosphère terrestre de ^{238}Pu , d' ^{235}U et de leurs produits de fission, puis leurs retombées sur l'ensemble de la planète. Pour ces radionucléides, l'activité rémanente des retombées anciennes constitue, dans le cadre de la présente étude, un bruit de fond radiologique dont les valeurs sont présentées dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 [3] et plus brièvement ci-dessous. En 2020, sur la majeure partie de la France, les activités rémanentes en ^{137}Cs des retombées des essais aériens étaient comprises entre 1 400 et 2 000 Bq.m⁻² [9], compte tenu de la seule décroissance radioactive du ^{137}Cs . Elles ont été augmentées par les retombées de l'accident de Tchernobyl (voir paragraphe suivant). En comparaison, celles de l'accident de Fukushima-Daiichi sont beaucoup plus faibles (voir paragraphe 2.2.3).

Le ^3H a été massivement émis lors des essais aériens d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L⁻¹ dans les eaux de pluie analysées à Thonon-les-Bains ou à Vienne dans les années 1960, l'activité volumique a décliné à moins de 10 Bq.L⁻¹ dès la fin des années 1970. Depuis la fin des années 1990, elle est inférieure à 2 Bq.L⁻¹ [3, 10, 11, 12, 13] (Figure 2 page 20).

¹ L' ^{241}Am n'a pas été produit directement lors des essais mais par la décroissance du ^{241}Pu (T=14,4 ans).

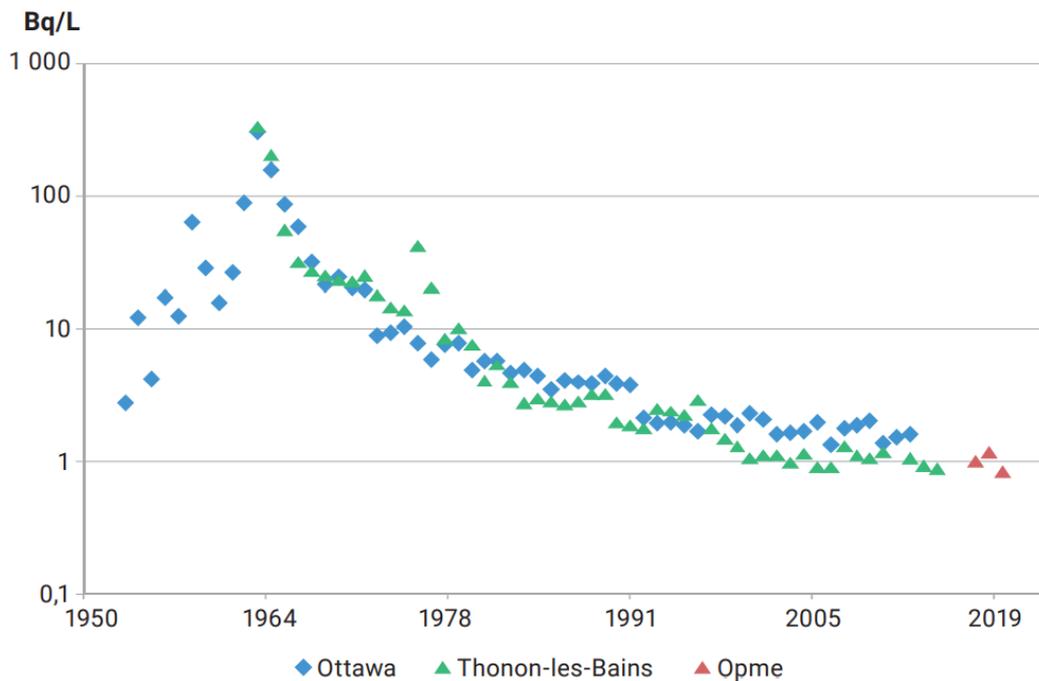


Figure 2 – Activités de ^3H dans l'eau de pluie d'après [3].

Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO directement dans l'eau et TED par collecte de l'eau de dessiccation, exprimés respectivement en Bq.L^{-1} et en Bq.L^{-1} d'eau de dessiccation, abrégé en Bq.L^{-1} ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimé en Bq.L^{-1} d'eau de combustion, abrégé en Bq.L^{-1} EC). Hors influence industrielle locale, les formes libres (HTO et TED) sont à l'équilibre avec les niveaux atmosphériques actuels. Le bruit de fond radiologique du tritium libre et du tritium organiquement lié en milieu terrestre hors influence d'un rejet est de l'ordre de $1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ en France métropolitaine (dans une gamme allant de $0,34$ à $1,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ pour le TOL, et de $0,5$ à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et le TED d'après [3]) pour les matrices annuelles, proche des activités en tritium libre de la vapeur d'eau atmosphérique. En milieu marin, l'activité naturelle du tritium dans les eaux de surface (de l'ordre de $0,1 \text{ Bq.L}^{-1}$ [5, 14]) a plus que doublé du fait des retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Les essais aériens d'armes nucléaires ont également conduit à l'époque à doubler les quantités de ^{14}C présent dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C a atteint plus de $400 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ avant de décroître suite à l'arrêt des essais atmosphériques ainsi qu'à l'augmentation des rejets de CO_2 dans l'atmosphère liée à l'utilisation de combustibles fossiles, dépourvus de ^{14}C [15]. En 1999, l'activité spécifique dans le milieu terrestre s'élevait à $255 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$. En 2022, elle est de $222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3], de l'ordre de grandeur de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens ($226,0 \pm 1,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) (Figure 3 page 21).

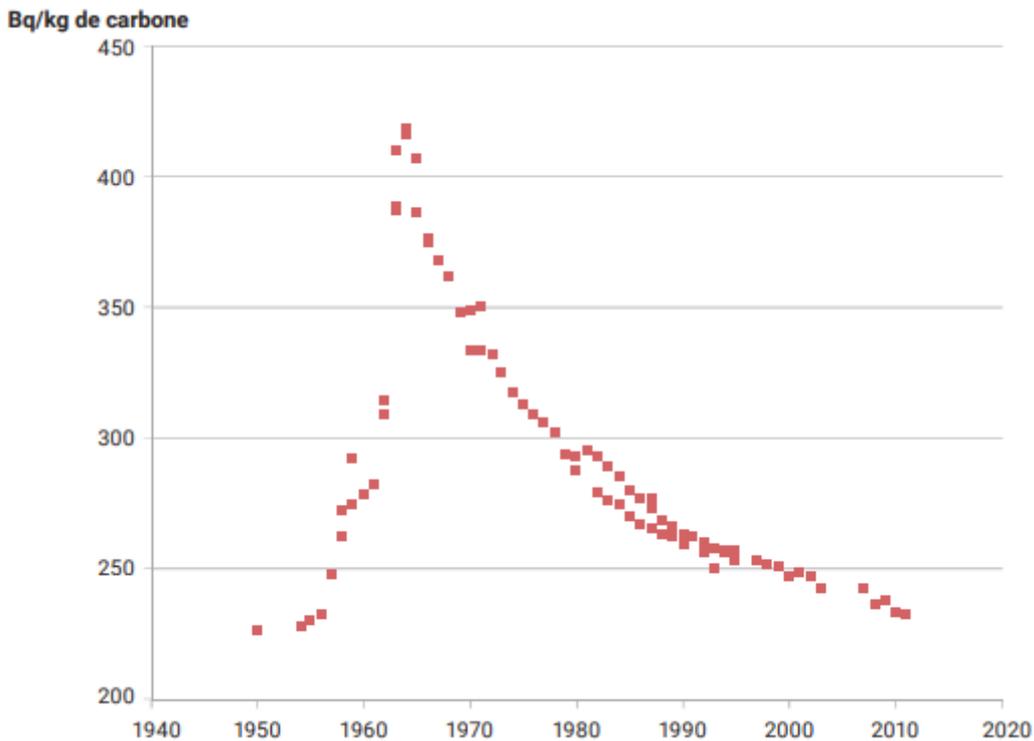


Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).

Le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le $^{14}\text{CO}_2$ atmosphérique du fait de sa dilution notamment par les carbonates des roches sédimentaires anciennes dépourvues de ^{14}C . L'activité spécifique hors influence industrielle locale peut donc être plus faible et variable en fonction de la teneur en carbonates anciens, entre 200 et 220 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ [3]. En milieu marin, le ^{14}C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [16] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. À proximité des points de rejets, lorsque les variations des quantités rejetées sont rapides et amples, l'état d'équilibre entre les activités spécifiques de la matière organique et de l'eau de mer n'est pas toujours atteint [16]. Les activités mesurées en Manche au Cap de la Hague, site proche du point de rejet de l'usine ORANO, sont par exemple comprises entre 300 et 800 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ dans les matrices biologiques et l'eau de mer. Le bruit de fond en entrée de Manche est quant à lui estimé à $233 \pm 5 \text{ Bq.kg}^{-1}\text{C}$ en 2022, sur la base de mesures dans les algues et les mollusques effectuées entre 2001 et 2019 en entrée de Manche, à Concarneau et Roscoff, et du bilan radiologique 2018-2020 [3].

De nos jours, les apports industriels en ^3H et ^{14}C , notamment ceux liés aux CNPE, peuvent être identifiés, dans le milieu terrestre, par des activités mesurées un peu plus élevées dans des feuilles d'arbre et de lierre à proximité du CNPE ou dans l'herbe prélevée à la station AS1 et, dans le milieu aquatique, par des activités mesurées plus élevées dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés en champ proche du CNPE, comparativement au champ lointain.

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl (Ukraine), en service depuis 3 ans, explose accidentellement lors de la réalisation d'un essai technique. L'énergie libérée par l'explosion entraîne l'émission dans l'atmosphère de produits de fission et d'activation jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Pendant dix jours, près de 10^7 TBq sont libérés dans l'environnement, la majorité des radionucléides émis ayant une période radioactive inférieure à un mois. Jusqu'à la mi-mai 1986, la dispersion du panache radioactif dissémine divers

radionucléides sur la plupart des pays d'Europe. La dispersion du panache radioactif s'accompagne d'une dilution de l'activité volumique des radionucléides artificiels au sein de celui-ci. Ainsi, l'activité mesurée au sein du panache au voisinage du réacteur accidenté, de l'ordre de 10^7 Bq/m³, n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m³ lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et sept ont principalement été mis en évidence sur le territoire français (¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru/Rh, ^{110m}Ag, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³⁴Cs et ¹³⁷Cs). Les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl ont affecté l'ensemble du territoire et, plus particulièrement, la moitié est de la France. Comparativement, l'environnement proche des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord a été relativement peu impacté par ces retombées. La carte de la Figure 4 page 22 présente la répartition estimée des activités surfaciques en ¹³⁷Cs sur cette zone, issues de la rémanence de ces retombées. De nos jours, seul le ¹³⁷Cs est encore mesurable [17].

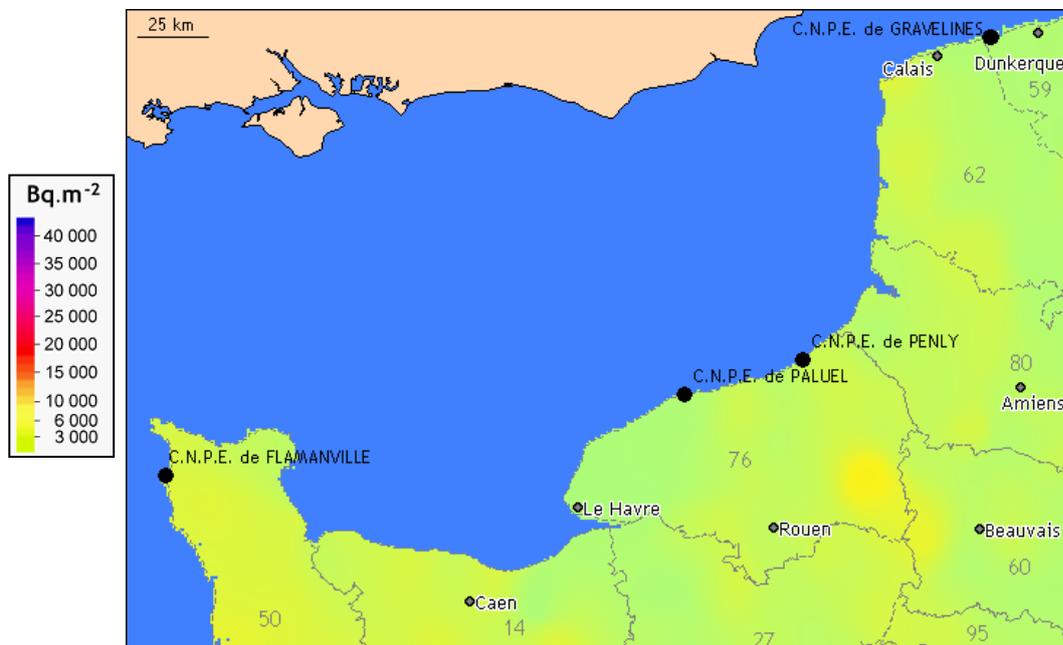


Figure 4 - Activités surfaciques de ¹³⁷Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [18].

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi

Les dépôts issus des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima Daiichi survenu le 11 mars 2011 ont été de 500 à plus de 1 000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai 1986 en France après l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 22). Les résultats des analyses réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence de ¹³¹I, de ¹³⁷Cs et de ¹³⁴Cs [19]. Le ¹³¹I, du fait de sa courte période radioactive (8,02 jours [4]), a rapidement disparu de l'environnement. Le ¹³⁴Cs, dont le dépôt massif issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'était plus détecté compte tenu de sa courte période radioactive (2,06 ans [4]), a pu être attribué à cet accident. En revanche, les résultats de ¹³⁷Cs sont difficilement imputables à ce seul événement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide sur le littoral de la Manche et de la Mer du Nord.

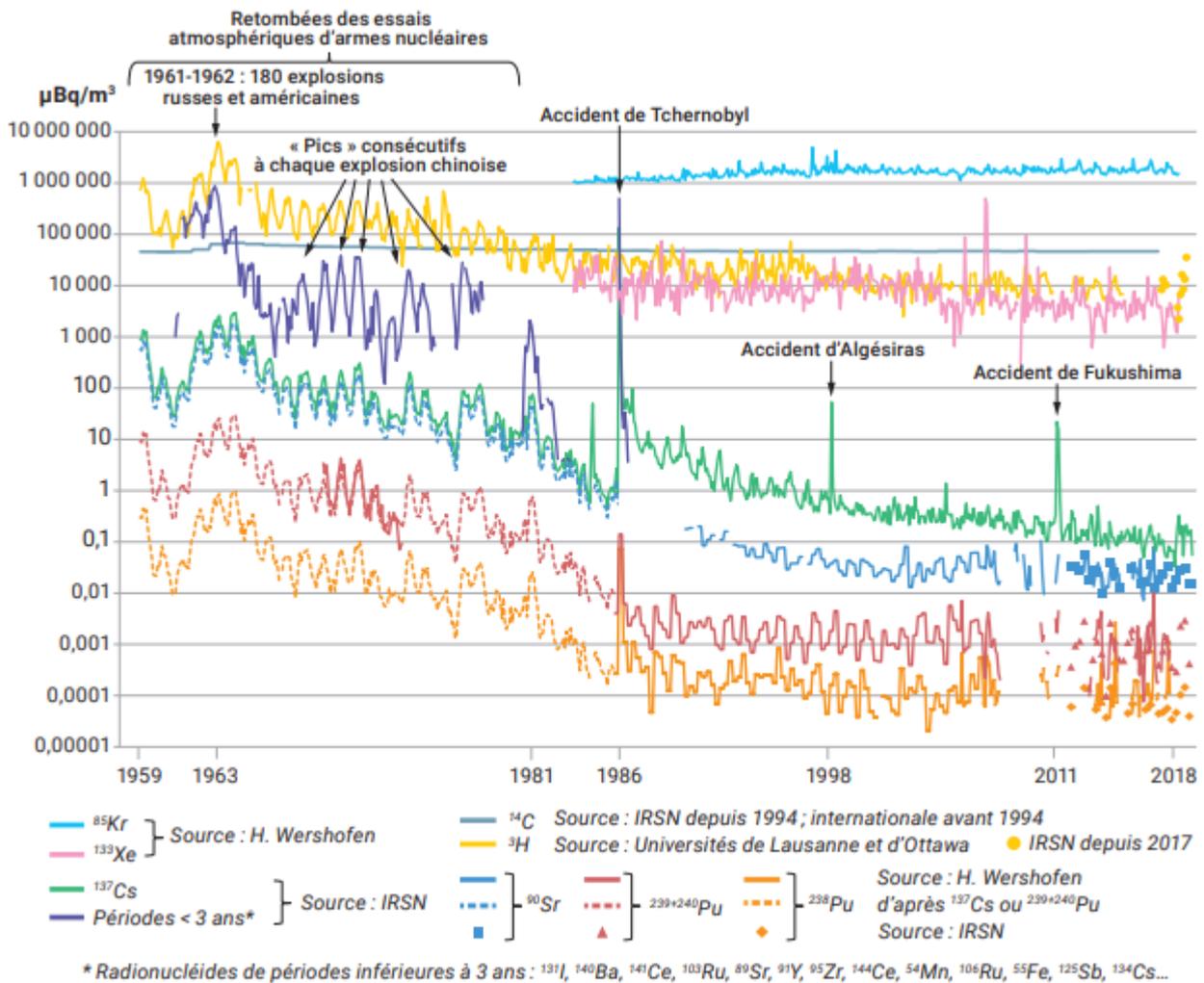


Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]).

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF

L'exploitation d'un réacteur nucléaire implique la génération d'isotopes radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission) et de l'activation des différents matériaux, notamment ceux de la structure et de certains composés issus du conditionnement des circuits (produits d'activation). Dans le cadre des décisions de rejets émises par l'ASN, les CNPE sont autorisés à rejeter, en fonctionnement normal, une partie de ces produits de fission et d'activation dans l'environnement par voie liquide et/ou atmosphérique. Ces rejets sont ainsi susceptibles de marquer l'environnement autour des installations nucléaires.

Les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des CNPE comprennent notamment le tritium, le ^{14}C , l' ^{41}Ar , les xénon 131 métastable, 133 et 135, le ^{85}Kr , les ^{131}I et ^{133}I , les ^{58}Co et ^{60}Co et les ^{134}Cs et ^{137}Cs . Au sein des rejets d'effluents radioactifs liquides, le tritium, le ^{14}C , les ^{58}Co et ^{60}Co , le ^{63}Ni , les ^{124}Sb et ^{125}Sb , les ^{134}Cs et ^{137}Cs , le ^{54}Mn , l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, le $^{123\text{m}}\text{Te}$, et l' ^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ sont rejetés dans une moindre mesure.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements intéressants l'environnement pour l'année 2022.

2.2.5. Autres activités

Au regard de la circulation hydrodynamique et du contexte nucléaire en Manche et en Mer du Nord, l'environnement côtier est susceptible d'être marqué par les rejets d'effluents liquides d'autres installations nucléaires de base (INB) côtières localisées à proximité, et notamment ceux de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague, dont les niveaux d'activité en radionucléides émetteurs gamma sont de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux d'un CNPE. En outre, les rejets d'effluents liquides d'ORANO sont susceptibles de marquer l'environnement côtier en radionucléides émetteurs alpha tel que le ^{241}Am et les isotopes 238, 239, et 240 du plutonium. Les rejets de l'usine de retraitement de Sellafield (Royaume-Uni) contribuent également potentiellement à l'apport de ^{137}Cs et de ^3H en Manche et en Mer du Nord.

Outre la filière énergétique, plusieurs unités hospitalières, centres de recherche et sites industriels sont également présentes sur le territoire étudié, le long du littoral même (Dunkerque, Boulogne-sur-Mer en particulier) ou le long des fleuves se déversant dans la Manche et la Mer du Nord (ex. : la Seine, avec Paris, Rouen, et Le Havre en particulier). Parmi les principaux radionucléides utilisés en médecine nucléaire, le $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (en diagnostic fonctionnel, période radioactive de 6 heures [4]) et l' ^{131}I (en thérapie métabolique, période radioactive de 8,02 jours [4]) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire [20]. L' ^{131}I ainsi introduit dans l'environnement via les urines et les selles des patients traités peut être détecté dans les stations d'épuration et en aval des celles-ci. Difficile à détecter dans l'eau, l' ^{131}I peut être mesuré dans les végétaux, et en particulier les algues marines, dont le facteur de concentration pour l'iode est de l'ordre de 10^3 à 10^4 [21]. En Basse-Normandie, quatre sites non électronucléaires (centres hospitaliers et le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds à Caen (GANIL)) génèrent des rejets radioactifs (Figure 1 page 18), dans les agglomérations d'Avranches, de Cherbourg et de Caen, en « aval » du CNPE de Flamanville au sens de la circulation générale des masses d'eau en Manche (sauf pour Avranches, situé en « amont »). Le CNPE de Flamanville est situé en « amont » des trois autres CNPE au regard de la circulation générale des masses d'eau en Manche. On peut également citer la présence d'installations hospitalières dans le quart nord-est de la Bretagne, à Saint-Brieuc et Saint-Malo, situés en « amont » du CNPE de Flamanville au regard de la circulation générale des masses d'eau en Manche. En Haute-Normandie, six sites non électronucléaires (centres hospitaliers, centre de recherche et sites industriels) génèrent des rejets radioactifs (Figure 1 page 18), comme celles des agglomérations de Rouen et du Havre. Enfin, dans le Nord-Pas-de-Calais, treize centres hospitaliers disposent d'une unité de médecine nucléaire, comme celles des agglomérations de Dunkerque, Boulogne-sur-Mer, et Berck (Figure 1 page 18). Considérant les périodes radioactives du $^{99\text{m}}\text{Tc}$ et de l' ^{131}I , la localisation géographique des installations hospitalières et de recherche, les temps de transit des masses d'eaux, les taux de dilution au sein de celles-ci, et la direction de la circulation résiduelle des masses d'eau en Manche, il apparaît peu probable que les rejets d'effluents radioactifs de ces diverses installations puissent marquer l'environnement côtier des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord de manière décelable, à l'exception peut-être des algues prélevées au Cap Gris Nez en champ lointain du CNPE de Gravelines, qui pourraient éventuellement être marquées par les rejets d'effluents radioactifs du Centre Hospitalier de Boulogne sur Mer, situé à 16 km en "amont" au regard de la circulation générale des masses d'eau. Les autres installations présentées sur la Figure 1 page 18 représentent elles aussi des sources de radionucléides négligeables par rapport aux rejets de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague.

De nos jours, les apports industriels, notamment ceux liés aux usines de traitement de combustibles usés, sont les principales sources de tritium et de ^{14}C dans les écosystèmes marins. Ainsi, dans la Manche et la Mer d'Irlande, les activités mesurées en tritium varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L^{-1} , tandis qu'elles sont comprises entre 0,1 et 0,2 Bq.L^{-1} dans les eaux de surface de l'Atlantique Nord. Le ^{14}C est rejeté en milieu marin en grande majorité sous forme minérale dissoute [22] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. À proximité des points de rejets, lorsque les variations des quantités rejetées sont rapides et amples, l'état d'équilibre entre les activités spécifiques de la matière organique et de l'eau de mer n'est pas toujours atteint [16]. Les activités mesurées en Manche au Cap de la Hague, site proche du point de rejet de l'usine ORANO, sont par exemple comprises entre 300 et 800 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{C}$ [22].

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE

3.1. Climatologie

Le CNPE de Flamanville est situé au pied d'un cap granitique sur la côte nord-ouest du Cotentin en Basse Normandie. Du fait de sa situation géographique, le Cotentin est caractérisé par un climat tempéré océanique. Proche du 50^{ème} parallèle, ceint par la mer sur trois côtés, le courant chaud du Gulf Stream fait encore sentir ses effets et confère à l'hiver une certaine douceur. Les températures estivales à la côte, comprises en moyenne entre 19 et 24°C, peuvent baisser de quelques degrés sous l'effet de la brise de mer. Les hivers sont doux, avec des températures minimales comprises entre 1 et 5°C. Les précipitations annuelles sont réparties sur 120 à 160 jours et sont plus abondantes en automne et en hiver, tombant souvent sous forme de bruine. Le nord-Cotentin recueille en moyenne près de 1100 mm de précipitation par année. Situé sur la trajectoire des perturbations, le vent y est presque toujours présent. On relève en moyenne 130 jours de vent fort à La Hague, majoritairement de secteur ouest-sud-ouest. Ce sont les vents de sud-ouest à nord-ouest, dominants, qui dispersent les effluents gazeux vers les terres, sur les secteurs est à nord-est. La zone la moins influencées est dans le secteur sud-est.

Les CNPE de Paluel et de Penly sont situés en Haute-Normandie, respectivement dans le Pays de Caux et du Petit-Caux, le long de la côte d'Albâtre. Le climat est de type océanique tempéré, marqué par la douceur des températures et une humidité importante. Les températures moyennes littorales sont de 5°C en janvier et de 17°C en juillet. Les précipitations sont abondantes : de l'ordre de 1000 mm en moyenne par an. Les vents dominants sont de secteur ouest à sud-ouest, portant les effluents gazeux en majorité vers la mer, et de secteur nord-est. La zone terrestre sous influence majeure des effluents gazeux du CNPE se trouve à l'est, la zone la moins influencée est dans le secteur sud à sud-est.

Le CNPE de Gravelines est implanté en bord de Mer du Nord, à l'ouest de l'avant-port ouest de Dunkerque. La région se situe au carrefour d'influences météorologiques contrastées. Les vents dominants sont de secteur ouest à sud-ouest, souvent conditionnés par les dépressions circulant sur l'Atlantique nord, et de secteur nord-est associé le plus souvent à des conditions anticycloniques. En flux de sud-ouest, le vent est fort, voire tempétueux, les pluies marquées et l'humidité importante. En flux de sud estival, les températures peuvent atteindre 30°C. En flux de nord à nord-est, la Mer du Nord draine l'air venu du pôle, avec des masses d'air turbulentes et agitées, de la grêle et de la neige. En flux d'est estival le temps est très beau. En revanche, le vent d'est en hiver est glacial, les températures moyennes pouvant descendre en dessous de 0°C. Les pluies sont relativement abondantes (600 à 700 mm). La zone terrestre sous influence majeure des effluents gazeux du CNPE se trouve dans le quart nord-est, la zone la moins influencée est dans le secteur sud.

Les quatre CNPE étant situés en bordure de la côte, les éventuelles retombées atmosphériques dues aux rejets d'effluents gazeux en milieu terrestre n'intéressent qu'un demi-secteur de la rose des vents centrée sur les cheminées.

3.2. Géologie et hydrogéologie

Les terrains de la région de Flamanville, dans le Nord-Cotentin, sont essentiellement d'origine primaire et reposent sur un socle antécambrien. Le Cap de Flamanville est composé de granites et de roches métamorphiques. Les terrains de couverture du socle étant de faible épaisseur, les captages d'alimentation en eau potable ont fréquemment recours aux eaux de surface (rivière ou petit barrage). On y trouve une zone de bocage propre à l'élevage bovin et des zones maraîchères reposant sur des sols sablonneux.

Les terrains de la région de Paluel et Penly, les Pays de Caux et du Petit Caux, appartiennent à l'ensemble géologique du Bassin Parisien, formé à l'ère secondaire. Le sous-sol est constitué d'une grande épaisseur de craie, pouvant mesurer jusqu'à 200 m de profondeur. Il est couvert d'une couche d'argile à silex et d'un limon fertile. Il est entaillé par des vallées et des vallons tapissés d'alluvions et de sédiments : les vallées humides, désignées ainsi car elles sont parcourues par un fleuve ou une rivière, possèdent un fond plat et large de quelques centaines

de mètres. Elles s'ouvrent sur la Manche, telles les vallées du Dun et de la Durdent. Des vallées sèches et des valleuses coupent également le plateau de craie, comme à Saint-Valéry-en-Caux. Elles n'ont pas d'écoulement en surface et sont peu peuplées, sauf à leur embouchure. Leurs versants sont boisés et la craie affleure du fait de l'érosion. Certaines valleuses sont « suspendues » à cause du lent recul de la falaise : elles ne permettent pas d'accéder directement à la plage. Le littoral est constitué de falaises de craie plus ou moins hautes, qui reculent plus ou moins rapidement en fonction de l'érosion marine. Les plages sont tapissées de galets, détachés de la falaise et polis par la mer. Ces galets ont néanmoins tendance à migrer et le sable peut affleurer à certains endroits. Le pays de Caux est une région agricole prospère grâce au climat océanique et aux sols limoneux. Les agriculteurs cauchois pratiquent la polyculture : le blé, le maïs, le lin, la pomme de terre, la luzerne, le colza sont les principales cultures. La betterave à sucre est la principale culture industrielle. L'élevage bovin pour la production de lait est également répandu.

Le CNPE de Gravelines est, quant à lui, implanté sur la plaine maritime de Flandre sur un remblai de sable gagné sur la mer. La frange littorale est formée de dunes et l'intérieur des terres est constitué de marais et polders. La poldérisation a conduit à la création d'un réseau de canaux (les watergangs) et d'écluses évacuant les eaux vers la mer. L'Aa est le principal cours d'eau qui draine les eaux du marais audomarois (Saint-Omer) vers la mer à Grand Fort Philippe. De grandes surfaces ont été remaniées par l'homme du fait des activités agricoles et industrielles. La zone située à l'est du CNPE est fortement industrialisée. Le sud-est, le sud et l'ouest sont occupés par diverses activités agricoles : céréales, productions industrielles (lin, chicorée, colza), élevage et maraîchage.

3.3. Hydrographie et hydrologie

La mer de la Manche est une importante zone de transit des eaux de l'Atlantique vers la mer du Nord. Elle est caractérisée par une circulation hydrodynamique complexe et une forte influence de la marée. L'amplitude de marée, ou marnage, est importante, atteignant plus de 10 m lors des grandes marées d'équinoxe et en moyenne 4 m lors des coefficients de mortes eaux. Les eaux de la Manche sont en perpétuel renouvellement à partir des masses d'eaux provenant de l'ouest. Les plus grosses houles viennent de l'ouest et du sud-ouest. La température de l'eau présente une variation annuelle sinusoïdale caractéristique des mers tempérées comprise entre 8 et 21°C. Les variations de salinité restent faibles, comprises entre 34 et 35,5 psu.

Un modèle hydrodynamique développé par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) a permis d'étudier les trajectoires des courants résiduels en Manche en fonction de diverses conditions de marée et de météorologie (Figure 1 page 18 ; [1, 2]). Dans le golfe normand-breton, ce modèle identifie diverses masses d'eau et des structures de circulation cycloniques et anticycloniques complexes. Cette hydrodynamique complexe influence fortement la dispersion des effluents liquides faiblement radioactifs rejetés par le CNPE de Flamanville et l'usine ORANO La Hague. Plus à l'est de la Manche, et notamment à l'est de la Baie de Seine, en particulier devant les sites de Paluel, Penly et Gravelines, on observe des structures en bandes parallèles au trait de côte. Ceci a pour effet de confronter des eaux marines avec des eaux côtières alimentées par la Seine et quelques rivières de moindre importance. Côté français, ces eaux sont plaquées sur le continent le long duquel elles forment un fleuve côtier dans lequel sont rejetés les effluents liquides des CNPE de Paluel, Penly et Gravelines. En Manche, on distingue une voie centrale de transfert rapide des eaux depuis La Hague jusqu'au Pas de Calais (2 à 4 mois) et une voie côtière, plus lente (4 à 8 mois). Entre 1986 et 1998, le Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville de l'IRSN a réalisé de nombreuses campagnes océanographiques au cours desquelles des mesures d'activité en radionucléides conservatifs², rejetés par l'usine ORANO La Hague, en particulier l'¹²⁵Sb, ont été effectuées. Ces mesures ont permis de caler le modèle de circulation hydrodynamique développé par l'IFREMER. Si la dérive générale des masses d'eaux va de l'ouest vers l'est, le modèle montre que, sous certaines conditions météorologiques, caractérisées par un vent de secteur est à nord-est persistant, la dérive des eaux côtières peut s'inverser et s'orienter temporairement vers l'ouest.

² Un radionucléide est considéré comme un traceur conservatif dès lors qu'il ne subit aucune transformation biogéochimique au sein des masses d'eau, et donc que l'évolution de sa distribution est seulement régulée par son transport dans l'eau de mer.

Par son statut de bras de mer entre l'océan Atlantique et la mer du Nord, la Manche constitue la principale voie maritime entre l'océan Atlantique et l'Europe du Nord. Bien qu'exploitée par un nombre restreint et décroissant de navires, essentiellement voués à la petite pêche (marées inférieures à 24 heures) et à la pêche côtière (marées de 24 à 96 heures), la Manche orientale produit plus de 80 % des pêches déclarées par les pays exploitant les ressources maritimes de ce secteur, non sans impact écologique et halieutique. Parmi les principales espèces cibles de poissons pêchées, on retrouve les poissons plats (sole, plie), le merlan, le rouget barbet, la dorade grise et le bar. Les ressources en crustacés³ (tourteau, homard, étrille et araignée de mer) et en mollusques (coquille Saint-Jacques et bulot) y sont également exploitées. Les activités conchylicoles (huîtres, moules) sont par ailleurs bien implantées, en particulier sur la côte ouest de la presqu'île du Cotentin.

³ Indifféremment appelés « crustacés » ou « arthropodes » dans la suite de ce rapport.

4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE

4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Flamanville est situé en bord de mer, au pied du cap de Flamanville dans le nord-ouest du département de la Manche, à 5 km de la commune des Pieux et à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Cherbourg-Octeville (Figure 7 page 33). Le CNPE de Flamanville est proche de diverses installations nucléaires, toutes comprises dans un rayon de 30 km autour du site : l'usine de traitement du combustible usé d'ORANO La Hague, le centre de stockage de la Manche de l'ANDRA à Digulleville, et le Groupe d'Etude Atomique de la marine nationale à Cherbourg (Figure 1 page 18). L'environnement terrestre et marin du nord Cotentin est potentiellement soumis aux rejets d'effluents de chacune de ces installations. Le CNPE de Flamanville se compose de deux tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 1300 MWe chacune, couplées au réseau en décembre 1985 (INB n°108) et juillet 1986 (INB n°109). Un troisième réacteur de type EPR (INB n°167) y est actuellement en cours de construction.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville est présentée sur la Figure 6 page 29. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.

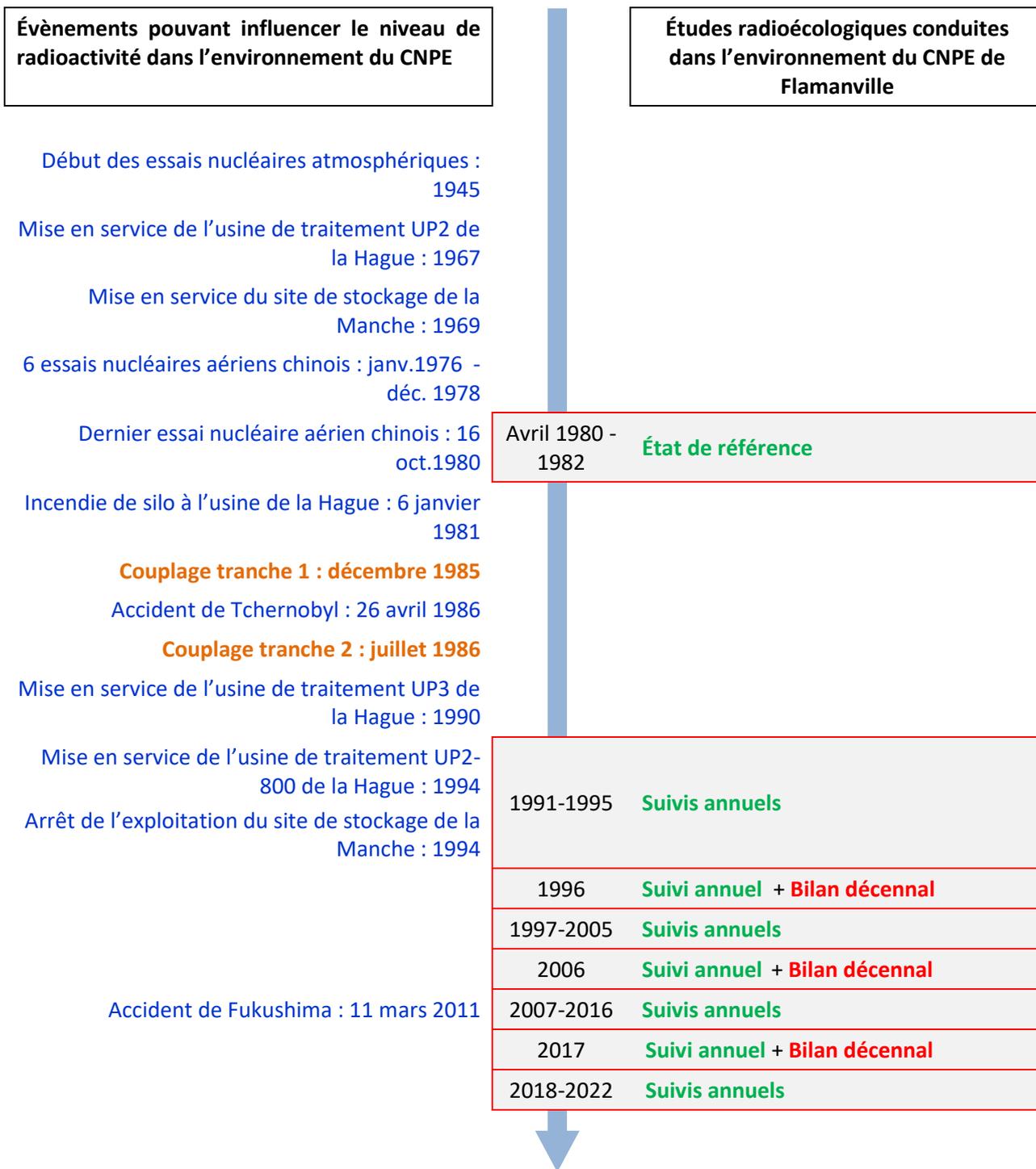


Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville.

4.2. État radiologique de l'environnement terrestre

4.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 7 page 33. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 1 page 31 et suivante. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 15 page 61.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles, herbe et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants. Du sol de prairie et une production agricole sont prélevés hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur sud à ouest. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère se trouve dans le secteur est ou à proximité (< 5km ; ZI ; Flamanville et Siouville-Hague). Les stations hors vents dominants sont situées dans le secteur sud et sud-est (ZNI ; Le Rozel, Surtainville et Sortosville-en-Beaumont).

En 2022, comme cela est régulièrement le cas, l'analyse gamma demandée sur les feuilles de lierre échantillonnées en champ proche du CNPE a été reportée sur de l'herbe prélevée à la même station, du fait de la difficulté de récolter suffisamment de matière pour réaliser une analyse gamma en cendres sur le lierre. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever de salades sous les vents dominants dans l'environnement du CNPE de Flamanville en 2022 pour y mesurer les émetteurs gamma, le ^3H libre, le ^3H organiquement lié et le ^{14}C . L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville.

Par rapport à l'année 2021, des analyses ont été rajoutées au titre des prescriptions réglementaires sur du lait prélevé en zone hors vents dominants, dans le secteur du Rozel.

En outre, les feuilles de lierre font l'objet de quatre mesures de ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022.

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	Gamma (Cendre)	8,07	16,72
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,63	-
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	C élémentaire (Sec)	7,63	-
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,63	-
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	H-3 lié (Sec)	7,63	-
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,63	-
6,71 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	-01,83517	49,48438	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	07/09/2022	H-3 libre (Liquide)	7,63	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	Gamma (Cendre)	27,41	5,21
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	21,95	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	C élémentaire (Sec)	21,95	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	21,95	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	H-3 lié (Sec)	21,95	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	21,95	-
9,08 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	-01,82229	49,46472	Légumes	Salade	Parties aériennes	29/08/2022	H-3 libre (Liquide)	21,95	-
16,51 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	-01,72823	49,42765	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	08/09/2022	Gamma (Sec)	1,12	-
16,51 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	-01,72823	49,42765	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	08/09/2022	Granulométrie (Sec)	1,12	-
16,51 km SE	Flamanville - Zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	-01,72823	49,42765	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	08/09/2022	MO après combustion (Sec)	1,12	-
0,47 km E	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	-01,87522	49,53762	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Parties aériennes	17/05/2022	H-3 lié (Sec)	3,92	-
0,47 km E	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	-01,87522	49,53762	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Parties aériennes	17/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,92	-
0,47 km E	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	-01,87522	49,53762	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Parties aériennes	17/05/2022	H-3 libre (Liquide)	3,92	-
0,64 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	-01,87425	49,53989	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	13/06/2022	Gamma (Cendre)	3,38	14,41
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	Gamma (Cendre)	8,05	15,69
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,36	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	C élémentaire (Sec)	7,36	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,36	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	H-3 lié (Sec)	7,36	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,36	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	03/06/2022	H-3 libre (Liquide)	7,36	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	03/06/2022	Gamma (Sec)	1,10	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	03/06/2022	Granulométrie (Sec)	1,10	-
4,9 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	03/06/2022	MO après combustion (Sec)	1,10	-
5,74 km ENE	Flamanville - Zone sous les vents (>5 km)	Siouville-Hague	-01,81403	49,56385	Mousses terricoles	Polytric formosum	Entier	31/01/2022	Gamma (Frais)	1,18	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
4,9 km ENE	Flamanville - Eau phréatique hors aval hydraulique	Siouville-Hague	-01,82592	49,56193	Eaux boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	03/06/2022	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique



Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamenville et des stations terrestres⁴ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

⁴ Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert foncé : stations sous les vents dominants (ZI) ; toutes distances confondues. Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

4.2.2. Résultats et interprétation

4.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 16 page 62.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Flamanville est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols. Elle a pour principale origine le ^{40}K et, dans une moindre mesure, les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Les activités massiques en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 23, 24]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les salades, l'herbe, et les mousses terrestres, dont la surface est propice à la captation des retombées atmosphériques.

Enfin, ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 17 page 63.

Dans les sols, les mousses et le lait de vache, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Il ne l'est pas dans la salade et l'herbe en 2022. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville en 2022 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 3 à Tableau 8, page 49 et suivantes ; et Figure 8 page 35) et au niveau de bruit de fond attendu en milieu continental [3]. Les activités mesurées en ZI et en ZNI dans le lait et dans le sol sont comparables. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. Les analyses d' ^{131}I réalisées sur l'échantillon frais de mousses ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activité supérieurs au seuil de décision ($\leq 0,38 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Les activités γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

4.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

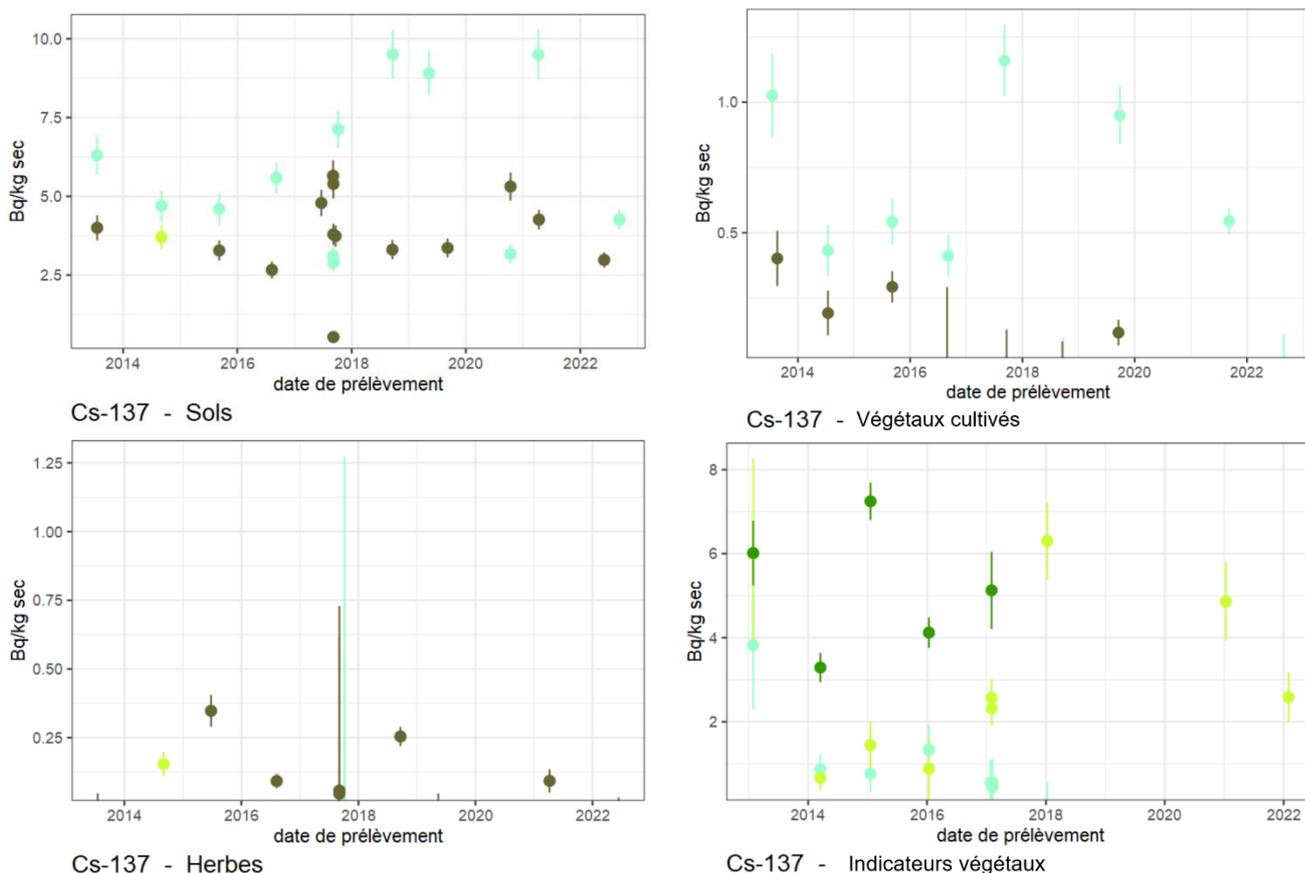
Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 18 et du Tableau 19 page 64, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est inférieure au seuil de décision ($\leq 0,70 \text{ Bq.L}^{-1}$). Les activités en tritium (libre et organiquement lié) de la salade et du lait échantillonnés sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (de 0,5 à 2 Bq.L^{-1} ED pour l'HTO et de 0,34 à 1,7 Bq.L^{-1} EC pour le TOL d'après [3]). L'activité mesurée dans le Lierre collecté sous les vents du site ($2,9 \pm 0,8 \text{ Bq/L}$ d'EC) dépassent le niveau du bruit de fond et mettent en évidence un apport local en tritium.

Carbone 14

Les résultats d'analyse d'activité en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 20 page 65.

Les activités en ^{14}C dans la salade échantillonnée en 2022 ($229\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$) et les prélèvements de lierre de la surveillance trimestrielle de l'année 2021 (Tableau 6 page 52) ne sont pas significativement supérieures au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale ($222\pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]). Dans le lait échantillonné à Siouville en champ proche du CNPE, et au Rozel en champ lointain, l'activité en ^{14}C (228 ± 11 et $231\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$, respectivement) est également comparable à ce bruit de fond. Ainsi, en se basant sur les résultats des années précédentes et de cette année, aucun apport local n'est mis en évidence dans l'environnement du CNPE de Flamanville en 2022.



Légende pour les figures en milieu terrestre :

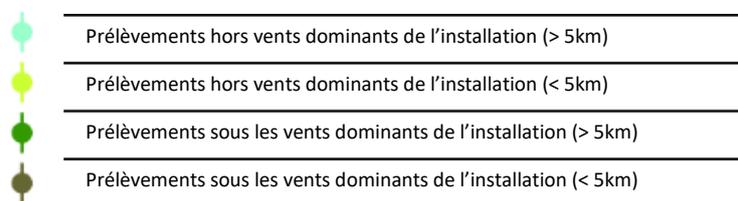


Figure 8 – Variation temporelle des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des végétaux cultivés (légumes), des herbes et des indicateurs végétaux (mousses terrestres et lichens) échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville.

4.3. État radiologique de l'environnement aquatique

4.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 9 page 41. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 2 page 37 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 21 page 66. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments, d'algues et de mollusques (patelles) ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons, de bulots et de crustacés ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés. De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, la configuration des plages locales n'a pas toujours rendu ces buts atteignables, notamment dans le port de Barneville-Carteret, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés en 2022, comme c'est le cas depuis 2017 en lien avec les travaux récents dans ce port.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local, dominé par le courant du Raz Blanchard au Nord du CNPE et par un gyre⁵ anticyclonique de quelques dizaines de kilomètres de large devant le site de Flamanville, entre les îles Anglo-Normandes et la côte ouest du Cotentin. La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. À Flamanville, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au nord et au sud du CNPE, soit de Dielette à Sciotot (Siouville-Hague, Tréauville, Flamanville). Il est à noter que cette zone est également influencée par les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO la Hague proche du CNPE de Flamanville, qui induisent un marquage continu en tritium de l'ensemble du Golfe Normand-Breton de 1 à 10 Bq.L⁻¹ [1, 2]. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. À Flamanville, la zone d'excursion habituelle du panache de rejet modélisée sur la base des données de rejet d'effluents liquides de l'installation est plutôt située au sud du CNPE, et s'étend à minima jusqu'au cap de Carteret. Néanmoins, la zone au nord du CNPE et le cap de Flamanville sont fortement influencés par les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO la Hague, même si le marquage induit par le CNPE de Flamanville peut être comparable dans certaines circonstances. Plus au sud, le panache des rejets de l'usine ORANO La Hague dépasse rarement le Cap de Carteret [1, 2]. La zone définie comme en champ lointain pour le CNPE de Flamanville tient donc compte de cette double contrainte locale. Elle est ainsi située au sud du cap de Carteret, soit dans le port de Barneville-Carteret et à Saint-Georges-de-la-Rivière. Une seconde zone en champ lointain est également définie à distance du point de rejets d'effluents liquides du CNPE mais en « aval » au regard de la circulation locale des masses d'eau, ainsi qu'en champ proche de l'usine ORANO La Hague, définie par la station d'Auderville (Goury Port).

En 2022, concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme depuis quelques années, l'IRSN a rencontré des difficultés d'approvisionnement pour les prélèvements de poissons en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville, et les pêches prévues pour les poissons n'ont pas pu être réalisées, sans qu'aucune solution alternative ne puisse être trouvée. Les analyses sur les crustacés ont été réalisées sur l'animal entier pour ce qui est de la spectrométrie gamma, et sur la chair du corps et des pinces qui a été

⁵ Un gyre est un très large tourbillon d'eau formé par un ensemble de courants marins sous l'action des vents. A cette échelle, le sens de rotation des gyres est dépendant de l'hydrodynamisme local et des courants résiduels de marée. Devant le CNPE de Flamanville, le gyre observé tourne dans le sens anticyclonique, c'est-à-dire dans le sens horaire.

décortiquée pour la recherche du tritium organiquement lié. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville.

Par rapport à l'année 2021 les analyses prévues au titre des prescriptions réglementaires sont identiques.

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	Gamma (Sec)	1,45	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	1,47	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	C élémentaire (Sec)	1,47	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	1,47	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	H-3 lié (Sec)	1,47	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	1,47	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,45	-
19,08 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78616	49,37671	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	03/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,45	-
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	Gamma (Cendre)	3,23	2,28
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	5,04	-
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	C élémentaire (Sec)	5,04	-
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,04	-
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	H-3 lié (Sec)	5,04	-
20,58 km	Flamanville - Champ lointain	Carteret au large	-01,84700	49,35300	Crustacés	Homard <i>Homarus gammarus</i>	Entier	29/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,04	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	4,71	4,00
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Gamma (Frais)	4,71	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Gamma (Cendre)	4,71	4,00
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	C élémentaire (Sec)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	H-3 lié (Sec)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,63	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	H-3 libre (Liquide)	4,63	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	03/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	4,71	4,00
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	Gamma (Cendre)	5,57	5,17
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	5,44	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	C élémentaire (Sec)	5,44	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,44	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	H-3 lié (Sec)	5,44	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,44	-
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,57	5,17
22,95 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75881	49,34636	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	02/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,57	5,17
20,3 km	Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	-01,94587	49,71444	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Gamma (Sec)	1,27	-
20,3 km	Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	-01,94587	49,71444	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Granulométrie (Sec)	1,27	-
20,3 km	Flamanville - Champ lointain ss influence EDF et ORANO	Auderville	-01,94587	49,71444	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	MO après combustion (Sec)	1,27	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	Gamma (Cendre)	2,38	1,73
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	5,19	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	C élémentaire (Sec)	5,19	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,19	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	H-3 lié (Sec)	5,19	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja squinado</i>	Entier	28/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,19	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	23/07/2022	Gamma (Cendre)	3,87	10,39
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	Gamma (Cendre)	4,61	15,20
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,67	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	C élémentaire (Sec)	4,67	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,67	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	H-3 lié (Sec)	4,67	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	22/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,67	-
1,7 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86953	49,54976	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	09/09/2022	Gamma (Cendre)	4,65	5,09

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Gamma (Sec)	2,49	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	2,69	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	C élémentaire (Sec)	2,69	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	2,69	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	H-3 lié (Sec)	2,69	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,69	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	Granulométrie (Sec)	2,49	-
2,18 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86087	49,55088	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	04/01/2022	MO après combustion (Sec)	2,49	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,01	5,17
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	Gamma (Cendre)	5,01	5,17
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,90	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	C élémentaire (Sec)	4,90	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,90	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	H-3 lié (Sec)	4,90	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,90	-
2,8 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85410	49,55446	Mollusques	Patelle <i>Patella species</i>	Chair	03/01/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,01	5,17
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	4,14	3,89
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Gamma (Frais)	4,14	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Gamma (Cendre)	4,14	3,89
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	I-127 par Absor. Atom. (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	C élémentaire (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	H-3 lié (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	H-3 libre (Liquide)	5,01	-
2,95 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85992	49,55916	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	31/01/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	4,14	3,89

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

	Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
	Prélèvements en champ lointain et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE et situé à proximité de l'usine ORANO
	Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

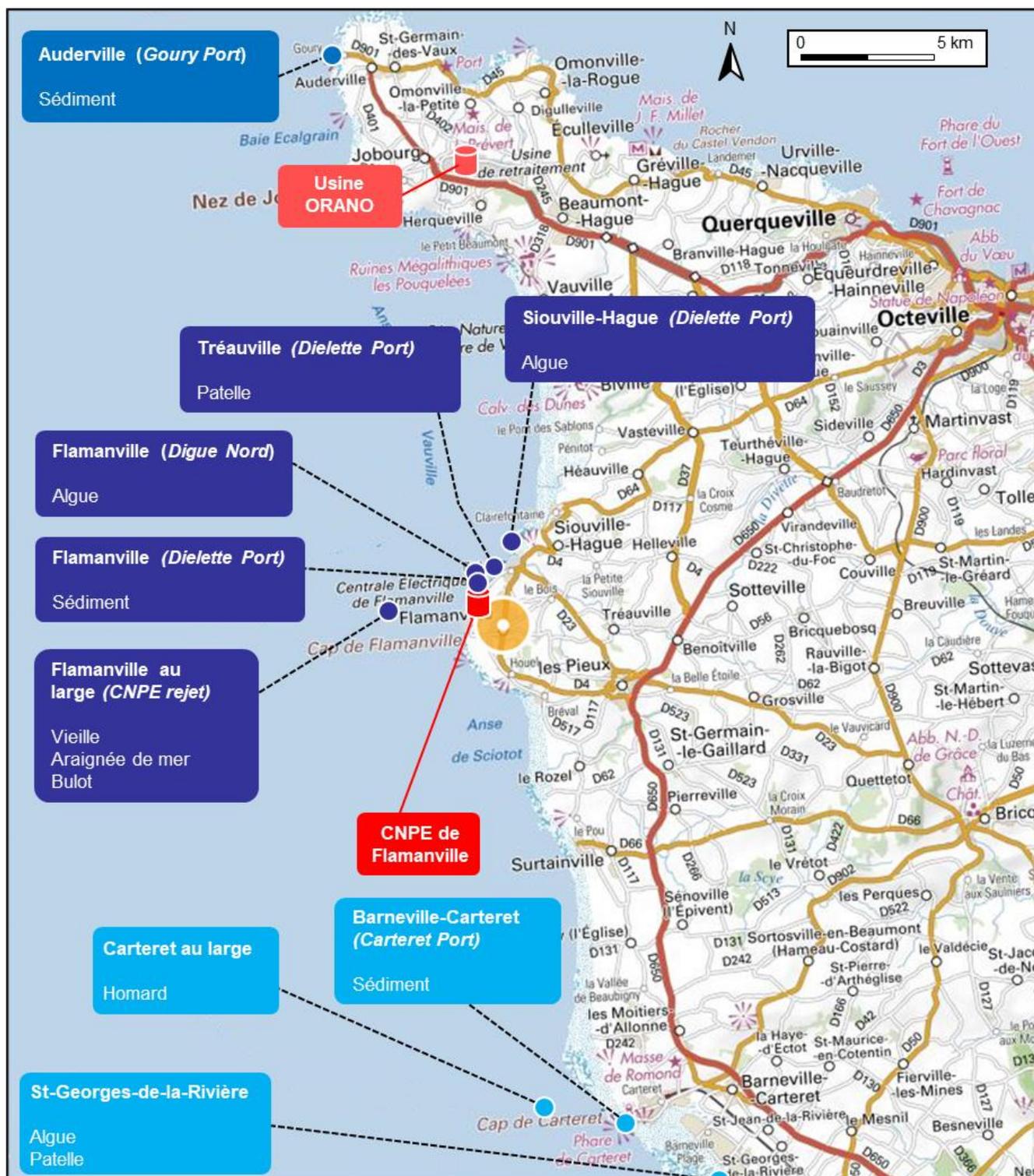


Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines⁶ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

⁶ Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE (CL). Bleu moyen : station en champ lointain et sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE, ainsi qu'à proximité de l'usine ORANO La Hague (CL). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

4.3.2. Résultats et interprétation

4.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

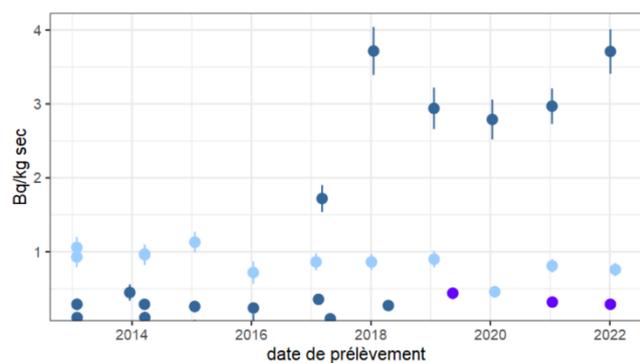
Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 22 page 67.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Flamanville est qualitativement et quantitativement du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Le ^7Be est détecté, dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée (sédiments, algues et patelles), à des teneurs plus élevées dans les algues du fait de leur capacité à capter les aérosols. Il l'est également à l'état de traces dans les araignées de mer et les bulots. L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

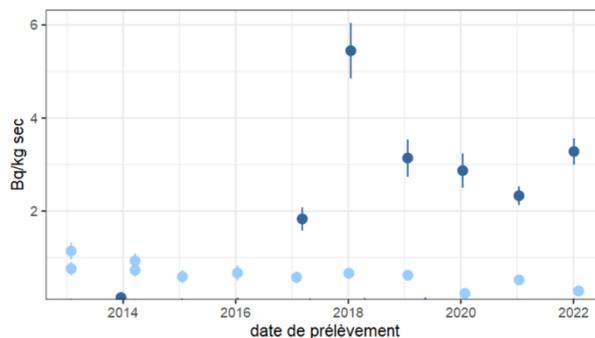
Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 23 page 68.

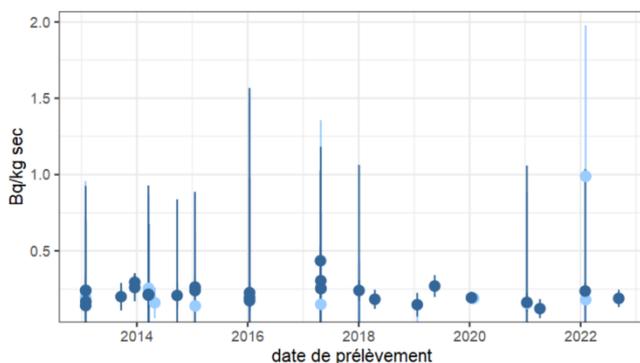
La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs et au ^{60}Co , et dans une moindre mesure, à l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, à l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$, au $^{106}\text{Ru/Rh}$, et au ^{241}Am . Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié. Comme ils le furent occasionnellement au cours de la dernière décennie, l' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ sont détectés dans l'environnement marin en champ proche ($^{110\text{m}}\text{Ag}$ et $^{108\text{m}}\text{Ag}$) et lointain ($^{108\text{m}}\text{Ag}$) du CNPE de Flamanville, dans les mollusques uniquement, à des niveaux proches du seuil de décision. Le ^{60}Co est détecté dans 6 des 12 échantillons (deux sédiments en champ proche et lointain, deux algues, un crustacé et un mollusque en champ proche, à des niveaux plus élevés dans les sédiments fins. L' ^{131}I recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les mollusques restent les matrices au sein desquelles la plus grande diversité de radionucléides émetteurs gamma est quantifiée, avec la présence de ^{137}Cs , de ^{60}Co , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{106}\text{Ru/Rh}$ et ^{241}Am . Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2022 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Flamanville (Tableau 10 à Tableau 14, pages 56 et suivantes; et Figure 10 à Figure 12, pages 43 à 45). Par ailleurs, le contexte régional (concentration d'industries nucléaires dans un rayon proche du CNPE) et hydrologique du nord-Cotentin rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Flamanville sur l'environnement marin.



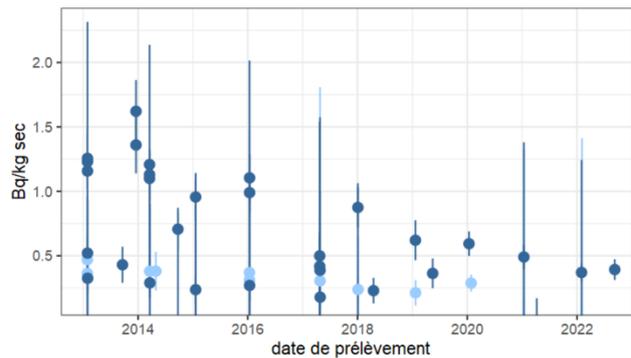
Cs-137 - Sédiments



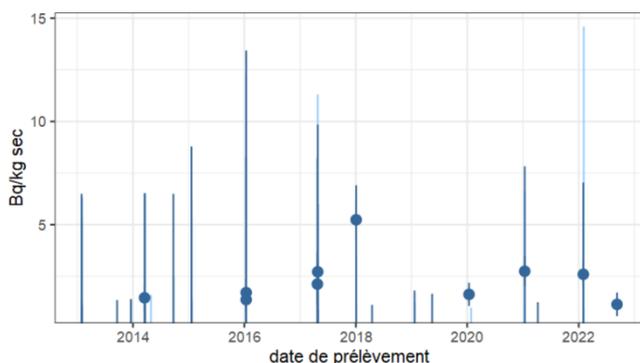
Co-60 - Sédiments



Cs-137 - Algues



Co-60 - Algues



Rh-106 - Algues

Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :

	Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
	Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
	Prélèvements en champ lointain et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE et situé à proximité de l'usine ORANO

Figure 10 – Variation temporelle entre 2013 et 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville.

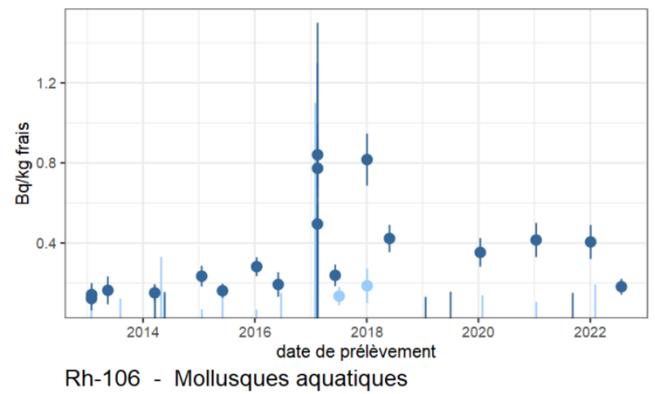
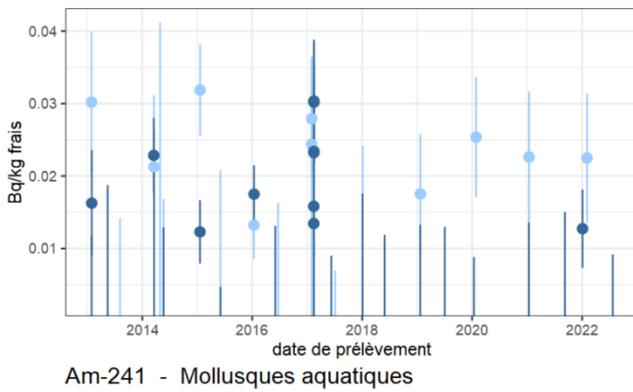
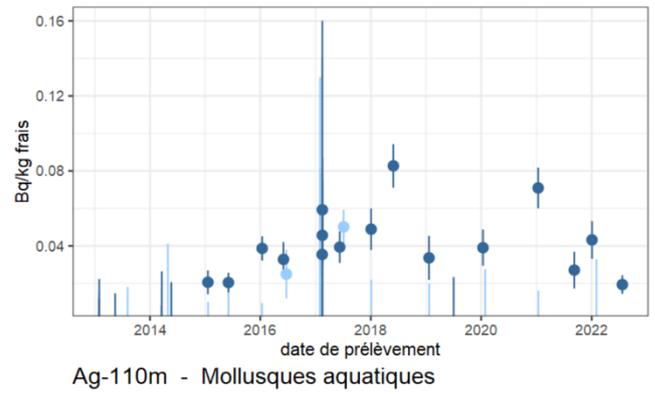
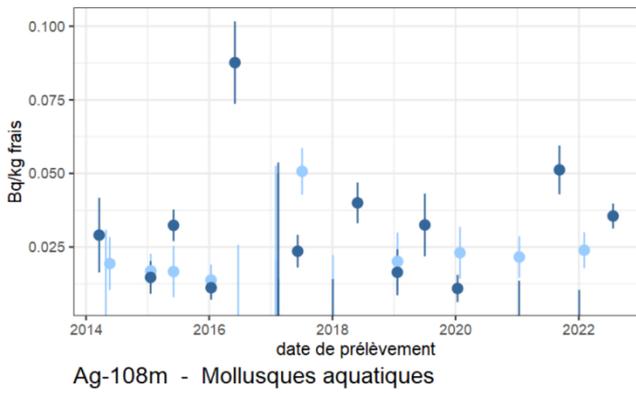
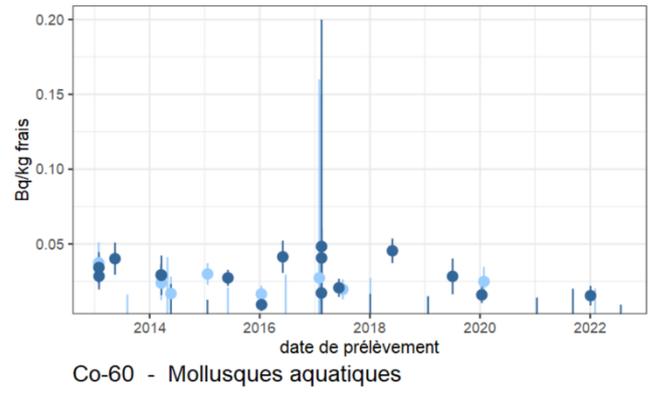
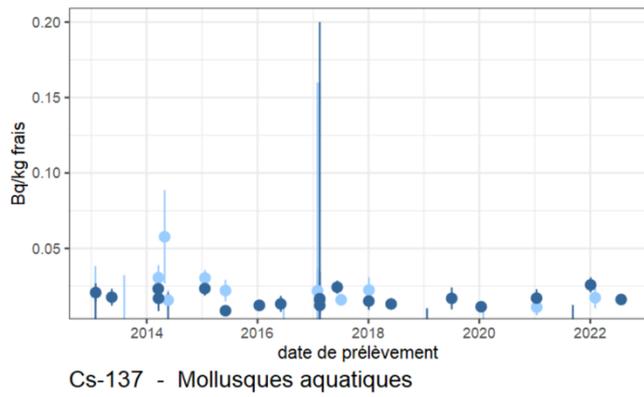


Figure 11 – Variation temporelle entre 2013 et 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.

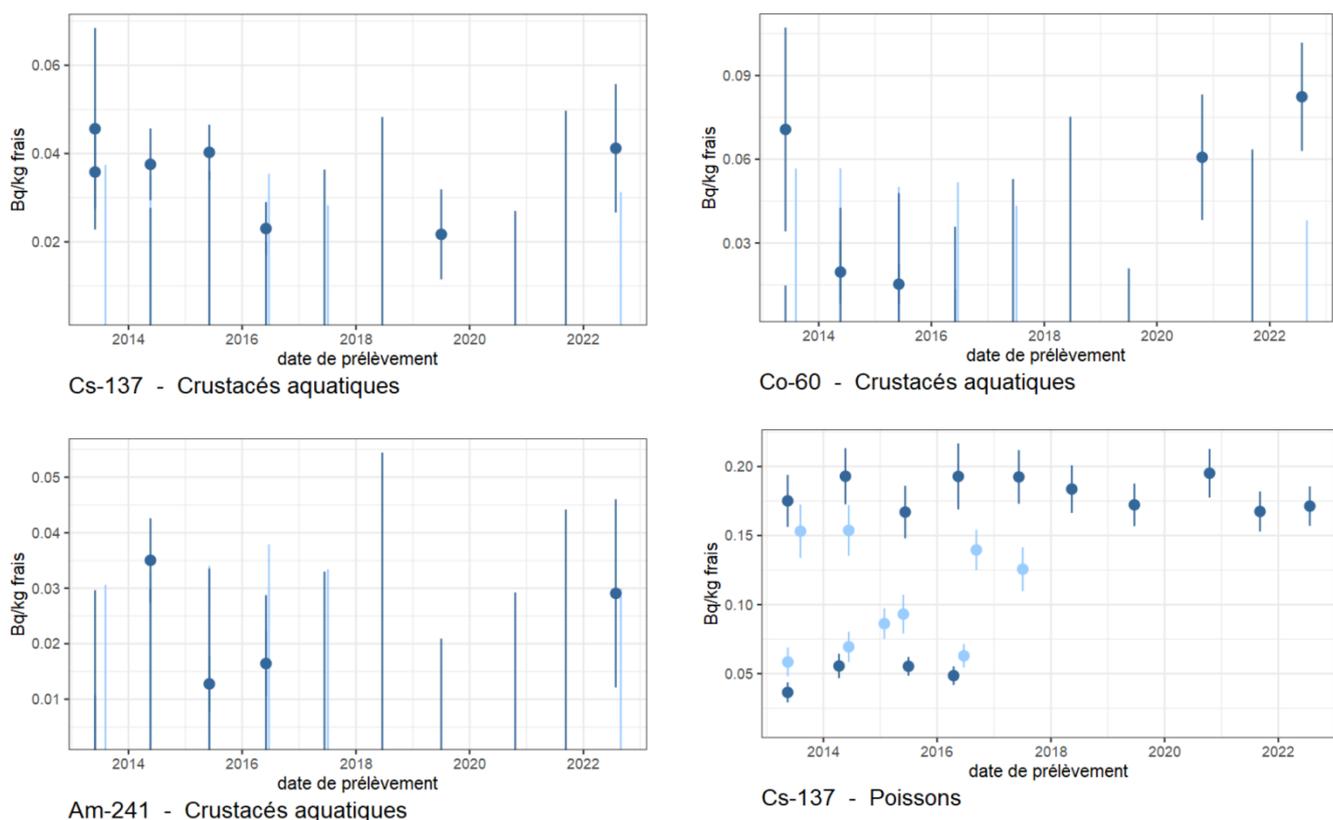


Figure 12 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des crustacés et des poissons échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville.

4.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d’analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l’environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 24 et du Tableau 25 pages 69 et 70, respectivement.

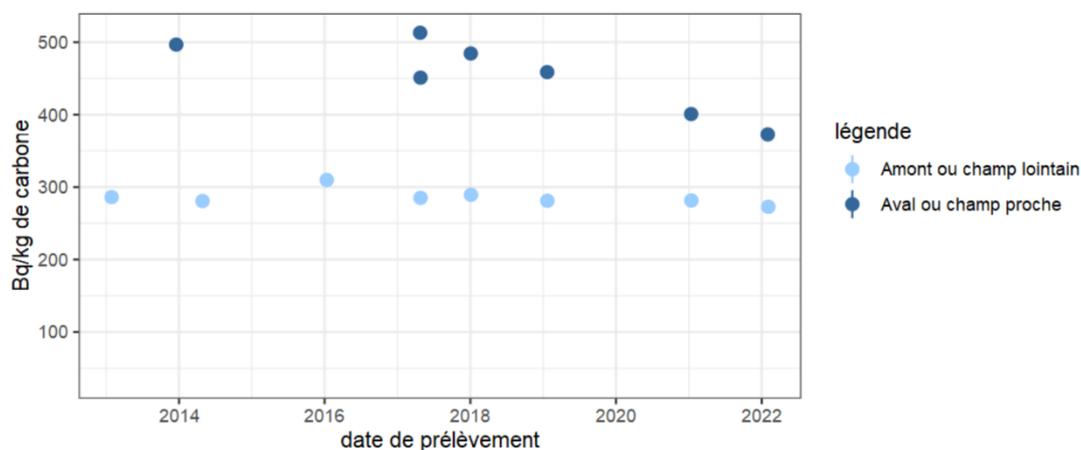
Les activités en tritium libre et organiquement lié en champ lointain ($2,7 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ pour l’HTO dans les algues ; et $2,5 \pm 0,7$ et $4,5 \pm 1,1 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ pour le TOL dans les algues et les mollusques, respectivement) correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d’activités mesurables dans l’eau de mer en Manche (de l’ordre de 5 Bq.L^{-1} , et comprises entre $3,7$ et $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ à distance de l’usine ORANO [3, 25, 26]). Elles sont majoritairement imputables à la dispersion des rejets d’effluents liquides de l’usine ORANO La Hague. Néanmoins, l’activité en tritium lié mesurée dans les crustacés en champ lointain ($6,8 \pm 1,2 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$) est supérieure à ce bruit de fond en 2022. En champ proche, les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié ($8,0 \pm 1,2 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ ED}$ pour l’HTO ; $6,1 \pm 0,9$ à $12,5 \pm 1,7 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$ pour le TOL ; toutes matrices confondues hormis les sédiments) sont plus élevées qu’en champ lointain (hormis pour les crustacés, pour lesquels les activités sont comparables en champ proche et lointain). Cette observation, cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d’un marquage local pour ce radionucléide, notamment pour les mollusques et les algues (absence de mesures en champ lointain dans les poissons pour comparer). L’origine de ce marquage peut notamment provenir des rejets d’effluents liquides du CNPE de Flamanville, ainsi que de ceux de l’usine ORANO La Hague toute proche. Les incertitudes de mesure élevées (champ proche) des activités en tritium organiquement lié dans

les sédiments, et la faible teneur en hydrogène des sédiments (champ lointain, rendant la mesure impossible) ne permettent pas de conclure quant au marquage éventuel des sédiments par le tritium.

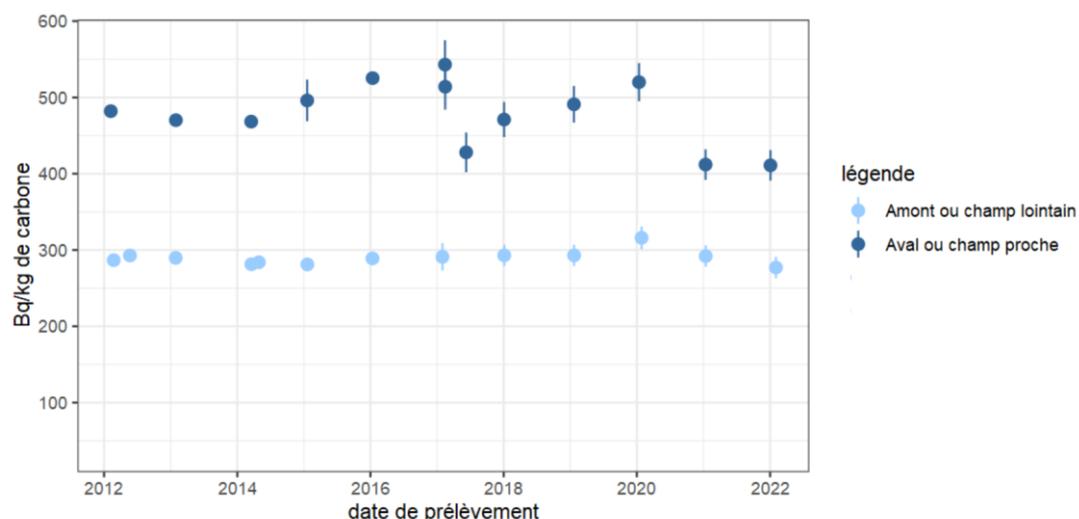
Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 26 page 71.

Les activités en ^{14}C quantifiées échantillonnées en champ proche (sédiments, algues, mollusques, poissons et crustacés) et en champ lointain (sédiments, algues, crustacés et mollusques) des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville sont supérieures au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche ($233\pm 5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en 2021 d'après nos mesures et d'après [3]). Elles sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [27], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ^{14}C est plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville qu'en champ lointain en 2022 pour les algues et les mollusques, qui témoignent d'une contribution locale des rejets d'effluents liquides du CNPE et de ceux de l'usine ORANO La Hague.



C-14 - Algues



C-14 - Mollusques aquatiques

Figure 13 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités en ^{14}C au sein des algues et mollusques dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville.

Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d'analyse des activités en ^{63}Ni et en ^{55}Fe dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 27 et du Tableau 28 page 72, respectivement.

Le ^{63}Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville, avec une activité plus élevée en champ proche qu'en champ lointain. Les activités mesurées dans l'environnement du CNPE de Flamanville sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues, et témoignent d'un marquage des algues en 2022. Le ^{63}Ni est un radionucléide émetteur bêta rejeté à la fois par les CNPE en fonctionnement normal, par les sites en démantèlement et par l'usine de retraitement de la Hague.

Le ^{55}Fe , recherché dans les algues, n'y est pas décelable en 2022. La technique de mesure du ^{55}Fe fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents suivis annuels et bilans décennaux des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.

4.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2022 dans l'environnement du CNPE de Flamanville sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans les échantillons de sol, d'herbe, de salade, de sédiment, d'algues, de crustacés, de mollusques et de poissons, et le ^7Be est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans les mousses terrestres.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est exclusivement imputable au ^{137}Cs , présent dans le sol, le lait et la mousse terrestre échantillonnés. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, comme le confirment les niveaux comparables en ZI et en ZNI, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué le Cotentin. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin, quelle que soit son origine, vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins n'est également pas à exclure pour expliquer la présence de ce radionucléide au sein des matrices terrestres échantillonnées à proximité immédiate de la côte. Les activités en tritium dans les feuilles de lierre mettent en évidence un marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère à proximité du CNPE de Flamanville. Les activités en ^{14}C dans le lait échantillonné en champ proche et lointain est comparable au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($222\pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), de même que celle de la salade échantillonnée en champ lointain.

En 2022, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont quasi-systématiquement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels sont également quantifiés dans les sédiments (^{60}Co et ^{241}Am), les algues (^{60}Co et $^{106}\text{Ru/Rh}$), les crustacés (^{60}Co et ^{241}Am), et les mollusques (^{60}Co , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{106}\text{Ru/Rh}$ et ^{241}Am). Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , les radionucléides artificiels quantifiés dans les matrices marines ont pour la plupart une double origine : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Flamanville (hormis pour le ^{241}Am et le $^{106}\text{Ru/Rh}$, présents uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague). Dans les mollusques, le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est quantifié en champ proche, tandis que le $^{108\text{m}}\text{Ag}$ est quantifié en champ proche et en champ lointain. Il est à noter que le $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ne fait pas partie des radionucléides les plus représentés dans les rejets d'effluents radioactifs liquides des CNPE, même s'il peut toutefois être ponctuellement présent. L' ^{131}I n'est pas détecté dans les algues mesurées à l'état frais en champ proche et lointain du CNPE. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Flamanville, notamment dans les produits de consommation (crustacés et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont dans la gamme des valeurs attendues considérant les niveaux d'activité mesurables dans l'eau de mer, principalement liés à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Par ailleurs, le contexte régional (concentration d'industries nucléaires dans un rayon proche du CNPE) et hydrologique du nord-Cotentin rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Flamanville sur l'environnement marin. Les activités en tritium libre et organiquement lié restent toutefois significativement plus élevées en champ proche qu'en champ lointain dans les algues et les mollusques. Un marquage par le ^{14}C des algues et des mollusques est également décelable à proximité de l'exutoire des effluents liquides du CNPE de Flamanville.

4.5. Tableaux de résultats

Tableau 3 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	2,5 km	5,0 km	0,7 et 18 km	0,7 et 18 km	0,7 à 18 km	4,8 et 16,5 km	4,8 et 16,5 km	4,8 et 17,0 km	4,8 et 17,0 km	4,9 et 16,51 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	4,0 (1/1)	3,7 (1/1)	3,3-4,6 (2/2)	2,7-5,6 (2/2)	2,9-7,1 (7-7)	3,3-9,5 (2/2)	3,4-8,9 (2/2)	3,2-5,3 (2/2)	4,26-9,50 (2/2)	2,98-4,26 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013			2014			2015			2016			2017			2018		2019	2020	2021	2022
Fraction	Entier			Entier		Entier	Entier	Entier													
Chronique	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents (>5 km)				
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																					
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	6,0 (1/1)	3,8 (1/1)	6,02 (1/1)	0,87 (1/1)	0,66 (1/1)	3,29 (1/1)	0,76 (1/1)	1,45 (1/1)	7,25 (1/1)	1,33 (1/1)	0,88 (1/1)	4,12 (1/1)	0,44-0,56 (3/3)	2,32-2,57 (2/2)	5,13 (1/1)	-	6,30 (1/1)	8,1 (1/1)	8,0 (1/1)	4,86 (1/1)	2,59 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Espèces concernées : Polytric, Polytric formosum, Ramaline des Rochers

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision

Tableau 5 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021	2022	
Fraction	Parties aériennes	Parties aériennes	Parties aériennes	Parties aériennes	Parties aériennes					
Chronique	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,154 (1/1)	0,348 (1/1)	0,092 (1/1)	-	0,046-0,057 (2/3)	0,254 (1/1)	-	0,093 (1/1)	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>										
³ H libre	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	7,2 (1/1)	0,9 (1/1)	8,78 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	6,2 (1/1)	1,4 (1/1)	5,22 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	243,2 (1/1)	239 (1/1)	260,5 (1/1)	263,5 (1/1)	243,4 (1/1)	282,4 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Herbe de prairie permanente

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Fraction	Feuilles	Feuilles	Feuilles	Feuilles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	Feuilles annuelles	
Chronique	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs beta (^3H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ^3H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg⁻¹ C)</i>									
^3H libre	n.a.	6,00 (1/1)	1,82 (1/1)	9,32 (1/1)	3,52 (1/1)	2,40 (1/1)	1,50 (1/1)	8,30 (1/1)	1,8 (1/1)
^3H lié	n.a.	n.a.	1,29 (1/1)	6,28 (1/1)	3,49 (1/1)	2,90 (1/1)	2,60 (1/1)	4,50 (1/1)	2,9 (1/1)
^{14}C	235-245 (4/4)	239-245 (3/3)	235,8 (1/1)	240-258,9 (5/5)	234-245 (4/4)	240-248 (4/4)	230-238 (3/3)	225-234 (3/3)	226-238 (4/4)

Espèces concernées : Lierre commun

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2021	2022
Fraction	Feuilles		Parties aériennes		Parties aériennes	Parties aériennes										
Chronique	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)																
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,03 (1/1)	0,40 (1/1)	0,432 (1/1)	0,192 (1/1)	0,542 (1/1)	0,293 (1/1)	0,412 (1/1)	-	1,16 (1/1)	-	-	-	0,95 (1/1)	0,118 (1/1)	0,545 (1/1)	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)																
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,5 (1/1)	n.a.	2,7 (1/1)	2,06 (1/1)	1,73 (1/1)	n.a.	1,46 (1/1)	1,9 (1/1)	2 (1/1)	1,2 (1/1)n.a.	2,7 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	n.a.	2,4 (1/1)	1,69 (1/1)	2,78 (1/1)	n.a.	1,69 (1/1)	3,0 (1/1)	2,7 (1/1)	1,1 (1/1)	1,9 (1/1)
¹⁴ C	250 (1/1)	229 (1/1)	410 (1/1)	303 (1/1)	233 (1/1)	237 (1/1)	243 (1/1)	244 (1/1)	247 (1/1)	245 (1/1)	233 (1/1)	237 (1/1)	259 (1/1)	266 (1/1)	232 (1/1)	229 (1/1)

Espèces concernées : Laitue, Salades

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 8 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017		2018	2019	2020	2021	2022		
Fraction	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier		Phase grasse	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	
Chronique	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Flamanville - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)</i>													
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,0056 (1/1)	0,0099 (1/1)	0,0044 (1/1)	0,0063 (1/1)	0,0070 (1/1)	0,0032 (1/1)	n.a.	0,0052 (1/1)	0,005	n.a.	-	0,0119 (1/1)	0,0050 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-	n.a.	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C ; ⁹⁰Sr : Bq.L⁻¹)</i>													
³ H libre	1,10 (1/1)	0,80 (1/1)	0,70 (1/1)	0,80 (1/1)	1,32 (1/1)	1,00 (1/1)	n.a.	1,66 (1/1)	1,20 (1/1)	0,90 (1/1)	1,00 (1/1)	2 (1/1)	-
³ H lié	1,40 (1/1)	2,30 (1/1)	1,10 (1/1)	1,80 (1/1)	1,4 (1/1)	1,53 (1/1)	-	0,86 (1/1)	1,40 (1/1)	n.a.	1,70 (1/1)	2,5 (1/1)	1,6 (1/1)
¹⁴ C	270 (1/1)	n.a.	237-239 (4/4)	235-239 (3/3)	235,3 (1/1)	241 (1/1)	236,2 (1/1)	241 (1/1)	243 (1/1)	242 (1/1)	248 (1/1)	231 (1/1)	228 (1/1)
⁹⁰ Sr	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0133 (1/1)	0,0183 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Lait de vache

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 9 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	4,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	4,8 km	4,8 km	-	4,8 km	4,9 km
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L ⁻¹)										
^3H libre	-	-	-	-	-	-	0,9 (1/1)	n.a.	-	-

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	3 à 20 km	2,2 à 20,3 km	2,7 à 20,3 km	2,2 et 19,1 km	2,2 à 20,3 km	2,18 à 20,3 km				
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,11-1,06 (3/3)	0,11-0,97 (3/3)	0,26-1,13 (2/3)	0,24-0,64 (2/3)	0,09-1,72 (4/4)	0,27-3,72 (3/3)	0,44-2,94 (3/3)	0,46-2,79 (2/2)	0,32-2,97 (3/3)	0,29-3,71 (3/3)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	1,1 (1/3)	0,93 (1/3)	0,59 (1/3)	0,40 (1/3)	0,57-1,83 (3/4)	0,66-5,40 (2/3)	0,62-3,14 (2/3)	0,23-2,87 (2/2)	0,52-2,33 (2/3)	0,28-3,28(2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	5,8 (1/3)	-	-	3,90 (1/3)	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,85-1,39 (3/3)	0,65-1,96 (3/3)
Émetteurs β (³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,5 (1/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	305,6-306,5 (2/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	264,6-269,7 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 11 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,5 à 25 km	0,5 à 25 km	3 à 25 km	3 à 25 km	3 à 25 km	1,6 à 22,8 km	2,1 à 22,8 km	3,0 et 22,7 km	1,7 à 22,9 km	1,7 à 23,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,14-0,24 (4/4)	0,21-0,25 (4/4)	0,14-0,26 (3/3)	0,17-0,23 (3/3)	0,15-0,44 (4/4)	0,18-0,24 (2/3)	0,15-0,27 (2/3)	0,19 (2/2)	0,12-0,163 (3/3)	0,18-0,24 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,3-1,3 (4/4)	0,29-1,10 (4/4)	0,24-0,96 (2/3)	0,27-1,10 (3/3)	0,18-0,50 (4/4)	0,23-0,88 (3/3)	0,21-0,62 (3/3)	0,29-0,59 (2/2)	0,490 (1/3)	0,37-0,39 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	0,17 (1/3)	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	1,5 (1/4)	-	1,4 (1/3)	2,1-2,7 (2/4)	5,2 (1/3)	-	1,63 (1/2)	2,74 (1/3)	1,14-2,60 (2/3)
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	1,57 (1/2)	-	-	-

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,5 à 25 km	0,5 à 25 km	3 et 25 km	3 et 25 km	3 à 25 km	3,1 et 22,8 km	2,1 à 22,8 km	3,0 et 22,7 km	3,1 et 22,9 km	3,1 à 23,0 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C; ⁵⁵ Fe : Bq.kg ⁻¹ sec ; ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ sec)										
³ H libre	n.a.	n.a.	2,7-7,3 (2/2)	1,8-4,1 (2/2)	3,3-8,5 (3/3)	2,0-4,4 (2/2)	1,9-4,6 (2/2)	n.a.	2,30-6,80 (2/2)	2,7-8,0 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,7-10,8 (3/3)	3,9-7,8 (2/2)	3,8-11,0 (2/2)	n.a.	3,40-8,70 (2/2)	2,5-10,4 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	285-513 (3/3)	289-484 (2/2)	281-459 (2/2)	n.a.	281,5-400,8 (2/2)	272,8-372,7 (2/2)
⁵⁵ Fe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,409-0,530 (3/3)	0,469-0,97 (2/2)	0,55-1,58 (2/2)	n.a.	0,50-0,97 (2/2)	0,49-1,03 (2/2)

Espèces concernées : Fucus dentelé, Fucus spiraté, Fucus vésiculeux ; n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 12 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	2,0 à 22,8 km	2,0 à 22,8 km	2,6 et 22,7 km	1,1 à 22,9 km	1,1 à 23,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,02 (2/5)	0,016-0,031 (4/5)	0,009-0,030 (4/4)	0,012-0,013 (3/4)	0,016-0,024 (5/5)	0,013-0,022 (3/3)	0,017 (1/3)	0,011 (1/2)	0,0111-0,0171 (2/3)	0,0162-0,0259 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,03-0,04 (4/5)	0,017-0,029 (4/5)	0,027-0,030 (2/4)	0,009-0,041 (3/4)	0,017-0,041 (5/5)	0,045 (1/3)	0,028 (1/3)	0,016-0,025 (2/2)	-	0,0154 (1/3)
^{110m} Ag	-	-	0,020-0,021 (2/4)	0,025-0,039 (3/4)	0,035-0,059 (4/5)	0,049-0,083 (2/3)	0,034 (1/3)	0,039 (1/2)	0,0271-0,071 (2/3)	0,0194-0,0430 (2/3)
^{108m} Ag	-	0,019-0,029 (2/5)	0,015-0,032 (4/4)	0,011-0,088 (3/4)	0,024-0,051 (2/5)	0,040 (1/3)	0,016-0,033 (3/3)	0,011-0,023 (2/2)	0,0216-0,0512 (2/3)	0,0239-0,0355 (2/3)
¹⁰⁶ Ru/Rh	0,12-0,16 (3/5)	0,15 (1/5)	0,16-0,23 (2/4)	0,19-0,28 (2/4)	0,13-0,77 (4/5)	0,19-0,82 (3/3)	-	0,35 (1/2)	0,415 (1/3)	0,181-0,405 (2/3)
²⁴¹ Am	0,02-0,03 (2/5)	0,021-0,023 (2/5)	0,012-0,032 (2/4)	0,013-0,017 (2/4)	0,016-0,030 (3/5)	-	0,018 (1/3)	0,025 (1/2)	0,023 (1/3)	0,0127-0,0225 (2/3)

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	3 et 25 km	3 et 25 km	3 et 25 km	3 et 25 km	2 à 25 km	2,5 et 22,8 km	2,0 à 22,8 km	2,6 et 22,7 km	2,4 et 22,9 km	2,8 et 23,0 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	2,0-2,5 (2/2)	2,7-16,2 (2/2)	2,5-8,1 (2/2)	2,4-2,6 (2/2)	2,9-8,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	3,7-8,1 (2/2)	2,6-11,2 (2/2)	3,3-8,8 (2/2)	3,8-7,8 (2/2)	2,4-10,1 (4/4)	3,2-8,5 (2/2)	3,10-9,9 (2/2)	2,1-14,2 (2/2)	3,5-8,6 (2/2)	4,5-9,2 (2/2)
¹⁴ C	290-470 (2/2)	281-468 (2/2)	281-496 (2/2)	289-525 (2/2)	291-543 (4/4)	293-471 (2/2)	293-491 (2/2)	316-520 (2/2)	292-412 (2/2)	277-411 (2/2)

Espèces concernées : Bulot, Patelle

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 13 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	2 km	2 km	1,1 km	1,1 km	1,1 et 20,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,04-0,05 (2/3)	0,038 (1/3)	0,040 (1/3)	0,023 (1/3)	-	-	0,022 (1/1)	0,061 (1/1)	-	0,041 (1/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,07 (1/3)	0,02 (1/3)	0,015 (1/3)	-	-	-	-	-	-	0,082 (1/2)
^{110m} Ag	-	-	0,035 (1/3)	0,046 (1/3)	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	0,034 (1/3)	0,080 (1/3)	0,018 (1/3)	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	0,11 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	0,035 (1/3)	0,013 (1/3)	0,016 (1/3)	-	-	-	-	-	0,029 (1/2)
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	6,1-7,3 (2/2)	8,1-10,10 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	4,8-12,0 (2/2)	5,2-12,1 (2/2)	9,4-13,0 (2/2)	7,1 (1/1)	8,2 (1/1)	7,8 (1/1)	9,5 (1/1)	6,1-6,8 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	377 (1/1)	376 (1/1)	408 (1/1)	320-345 (2/2)

Espèces concernées : Araignée de mer, Homard gammarus, Tourteau

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 14 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018	2019	2020	2021	2022
Fraction	Muscle		Muscle	Muscle	Muscle	Muscle	Muscle								
Chronique	Flamanville - champ lointain	Flamanville - champ proche	Flamanville - champ lointain	Flamanville - champ proche	Flamanville - champ lointain	Flamanville - champ proche	Flamanville - champ lointain	Flamanville - champ proche	Flamanville - champ lointain	Flamanville - champ proche					
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>															
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0080 (1/1)	-	-
¹³⁷ Cs	0,058-0,153 (2/2)	0,0364-0,175 (2/2)	0,069-0,154 (2/2)	0,0555-0,193 (2/2)	0,086-0,093 (2/2)	0,0553-0,167 (2/2)	0,0629-0,140 (2/2)	0,0485-0,193 (2/2)	0,126 (1/1)	0,192 (1/1)	0,184 (1/1)	0,172 (1/1)	0,195 (1/1)	0,167 (1/1)	0,171 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>															
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,9 (1/1)	12,8 (1/1)	13,1 (1/1)	19,8 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,3 (1/1)	11,6 (1/1)	11,3 (1/1)	17,1 (1/1)	4,39 (1/1)	13,2 (1/1)	14,3 (1/1)	13,2 (1/1)	11,7 (1/1)	11,3 (1/1)	12,5 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	318 (1/1)	550 (1/1)	437 (1/1)	292 (1/1)	347 (1/1)	548 (1/1)	505 (1/1)	590 (1/1)	453 (1/1)	472 (1/1)	450 (1/1)

Espèces concernées : Plie commune ou Carrelet, Sole, Vieille

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 15 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	03/06/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,10	Matière organique	4,8±0,2
									Argile (< 2µm)	11,3±0,5
									Limons fins	10,4±0,6
									Limons grossiers	17,6±0,9
									Sables fins	25,7±1,0
Sables grossiers	35,0±1,2									
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	08/09/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,12	Matière organique	3,7±0,2
									Argile (< 2µm)	12,6±0,6
									Limons fins	17,3±0,8
									Limons grossiers	30,6±1,4
									Sables fins	24,8±1,0
Sables grossiers	14,7±0,8									

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique

Tableau 16 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	29/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	27,41	28/11/2022	1 900±150	≤ 0,58	≤ 1,5	≤ 19	11,9±2,1	153±13	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	13/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	3,38	31/08/2022	583±42	4,44±0,35	≤ 0,42	≤ 6,9	13,3±1,6	165±13	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (>5 km)	Siouville-Hague	31/01/2022	Mousses terrestres	Polytric	Entier	Frais	1,18	04/02/2022	223±13	≤ 1,5	n.a.	n.a.	n.a.	390±22	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	03/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	8,05	31/08/2022	44,9±3,4	≤ 0,017	≤ 0,040	≤ 0,55	≤ 0,055	≤ 0,071	Bq.L ⁻¹
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	07/09/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	8,07	28/11/2022	47,0±3,6	≤ 0,020	≤ 0,052	≤ 0,67	≤ 0,067	≤ 0,067	Bq.L ⁻¹
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	08/09/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,12	12/10/2022	487±34	44,7±4,9	38±7	41±11	50±15	≤ 1,7	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	03/06/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,10	12/10/2022	449±31	31,3±3,5	26±5	29±9	40±12	≤ 5,0	Bq.kg ⁻¹ sec

n.a. : non analysé.

Tableau 17 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁷ Co	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	¹³¹ I*	Unité
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	29/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	27,41	28/11/2022	≤ 0,12	≤ 0,12	≤ 0,059	≤ 0,31	≤ 0,17	≤ 0,19	≤ 0,15	≤ 0,27	≤ 0,27	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	13/06/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	3,38	31/08/2022	≤ 0,035	≤ 0,033	≤ 0,017	≤ 0,083	≤ 0,056	≤ 0,056	≤ 0,049	≤ 0,076	≤ 0,090	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (>5 km)	Siouville-Hague	31/01/2022	Mousses terrestres	Polytric	Entier	Frais	1,18	04/02/2022	≤ 0,35	2,59±0,59	≤ 0,15	≤ 0,35	≤ 0,47	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,82	≤ 0,38	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	03/06/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	8,05	31/08/2022	≤ 0,0038	0,0050±0,0019	≤ 0,0021	≤ 0,0095	≤ 0,0055	≤ 0,0055	≤ 0,0047	≤ 0,0087	≤ 0,0087	n.a.	Bq.L ⁻¹
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	07/09/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	8,07	28/11/2022	≤ 0,0037	0,0119±0,0026	≤ 0,0020	≤ 0,0096	≤ 0,0067	≤ 0,0059	≤ 0,0052	≤ 0,0089	≤ 0,0096	n.a.	Bq.L ⁻¹
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Sortosville-en-Beaumont	08/09/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,12	12/10/2022	≤ 0,14	4,26±0,32	≤ 0,11	≤ 0,18	≤ 0,16	≤ 0,19	≤ 0,19	≤ 0,19	≤ 0,42	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	03/06/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,10	12/10/2022	≤ 0,14	2,98±0,24	≤ 0,14	≤ 0,44	≤ 0,15	≤ 0,22	≤ 0,21	≤ 0,50	≤ 0,39	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 18 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	29/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	21,95	01/12/2022	2,7±0,9	2,58±0,86	Frais
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	17/05/2022	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	3,92	05/10/2022	1,8±0,8	1,34±0,60	Frais
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	17/05/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,36	05/10/2022	≤ 0,70	≤ 0,60	Liquide
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	07/09/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,63	01/12/2022	2,0±0,8	1,74±0,70	Liquide
Flamanville - Eau phréatique hors aval hydraulique	Siouville-Hague	03/06/2022	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	05/10/2022	≤ 0,70	≤ 0,70	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 19 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	29/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	21,95	10/01/2023	1,9±0,8	0,049±0,021	Frais
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Flamanville	17/05/2022	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	3,92	06/10/2022	2,9±0,8	0,47±0,13	Frais
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	17/05/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,36	24/10/2022	1,6±0,7	0,161±0,071	Liquide
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	07/09/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,63	10/01/2023	2,5±0,8	0,255±0,082	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 20 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou Bq.L ⁻¹ d'ECH)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Surtainville	29/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	21,95	03/06/2023	229±11	4,10±0,20	18	-27,53	101,8±4,9	Frais
Flamanville - zone sous les vents (<5 km)	Siouville-Hague	17/05/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,36	26/08/2022	228±11	16,03±0,77	70	-20,92	100,1±4,8	Liquide
Flamanville - zone hors vents dominants (>5 km)	Le Rozel	07/09/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,63	25/06/2023	231±11	16,02±0,76	69	-28,32	102,9±4,9	Liquide

Tableau 21 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Flamanville - champ proche	Flamanville	04/01/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	2,49	Matière organique	5,3±0,3
									Argile (< 2µm)	20,8±0,8
									Limons fins	31,6±1,3
									Limons grossiers	39,8±1,8
									Sables fins	6,9±0,6
									Sables grossiers	0,9±0,5
Flamanville - champ lointain ss influence edf et orano	Auderville	04/01/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,27	Matière organique	0,2±0,2
									Argile (< 2µm)	1,8±0,3
									Limons fins	0,3±0,2
									Limons grossiers	0,1±0,1
									Sables fins	1,1±0,5
									Sables grossiers	96,7±0,2
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	03/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,45	Matière organique	1,3±0,4
									Argile (< 2µm)	10,1±0,5
									Limons fins	6,7±0,4
									Limons grossiers	14,4±0,8
									Sables fins	62,0±1,7
									Sables grossiers	6,8±0,6

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

	Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
	Prélèvements en champ lointain et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE et situé à proximité de l'usine ORANO
	Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Tableau 22 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille de l' ²³² Th			⁷ Be	Unité	
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa			
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	03/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,45	09/05/2022	271±19	14,6±1,7	17,4±3	≤ 13	28±6	13,5±2,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain ss influence edf et orano	Auderville	04/01/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,27	06/07/2022	385±27	7,4±0,5	9,7±1,8	≤ 12	12,4±3	≤ 6,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville	04/01/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,49	06/05/2022	543±37	41±4,4	59±8	41±15	113±22	6,7±3,6	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,14	31/01/2022	1 388±54	6,2±3,7	n.a.	n.a.	n.a.	25,3±6,6	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,14	06/05/2022	1 360±110	5,81±0,49	18,8±2,1	22,6±7,2	5,1±1,1	26,5±2,3	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville	09/09/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,65	28/11/2022	882±69	5,91±0,51	14,5±1,8	24,0±8,4	4,20±0,94	14,3±1,6	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,71	03/02/2022	1 408±56	8,9±4,2	n.a.	n.a.	n.a.	15,1±6,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,71	06/05/2022	1 390±110	8,6±1,0	11,2±1,5	≤ 12	4,6±1,0	33,0±2,7	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	28/07/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja squinado	Entier	Cendre	2,38	18/11/2022	70,3±5,6	1,48±0,22	1,45±0,24	≤ 3,1	1,96±0,41	0,92±0,44	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Carteret au large	29/08/2022	Crustacés aquatiques	Homard Homarus gammarus	Entier	Cendre	3,23	28/11/2022	55,7±4,6	0,67±0,15	≤ 0,31	≤ 5,3	≤ 0,49	≤ 0,56	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	03/01/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	Cendre	5,01	17/10/2022	59,4±4,6	0,251±0,039	0,498±0,081	≤ 1,0	4,17±0,77	11,3±1,5	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	23/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,87	18/11/2022	111,6±8,7	≤ 0,030	0,276±0,032	≤ 0,92	0,52±0,10	0,365±0,099	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	02/02/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	Cendre	5,57	28/11/2022	52,5±4,2	0,464±0,075	0,97±0,15	1,59±0,94	1,59±0,33	≤ 3,8	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	22/07/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,61	28/11/2022	117,0±8,6	≤ 0,036	≤ 0,086	≤ 1,1	≤ 0,11	≤ 0,23	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 23 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	²⁴¹ Am	¹⁰⁶ Ru/Rh	^{108m} Ag	¹³¹ I	Unité
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	03/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,45	09/05/2022	≤ 0,11	0,76±0,09	≤ 0,23	0,28±0,07	≤ 0,15	≤ 0,14	≤ 0,28	≤ 0,30	0,91±0,14	≤ 1,2	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain ss influence edf et orano	Auderville	04/01/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,27	06/07/2022	≤ 0,100	0,29±0,06	≤ 0,50	≤ 0,12	≤ 0,17	≤ 0,13	≤ 0,60	≤ 0,25	0,65±0,12	≤ 1,1	≤ 0,11	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville	04/01/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,49	06/05/2022	≤ 0,19	3,71±0,3	≤ 0,50	3,28±0,28	≤ 0,28	≤ 0,25	≤ 0,70	≤ 0,50	1,96±0,35	≤ 2,2	≤ 0,21	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,14	31/01/2022	≤ 0,83	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 1,2	≤ 0,83	≤ 1,2	≤ 0,83	≤ 2,1	n.a.	≤ 7,0	n.a.	≤ 0,62	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,14	06/05/2022	≤ 0,095	0,237±0,054	≤ 0,26	0,370±0,069	≤ 0,15	≤ 0,12	≤ 0,23	≤ 0,23	≤ 0,13	2,60±0,57	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville	09/09/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,65	28/11/2022	≤ 0,092	0,189±0,057	≤ 0,22	0,393±0,081	≤ 0,14	≤ 0,12	≤ 0,20	≤ 0,24	≤ 0,098	1,14±0,57	≤ 0,14	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,71	03/02/2022	≤ 0,94	0,99±0,99	≤ 0,94	≤ 1,4	≤ 0,94	≤ 1,4	≤ 0,94	≤ 1,9	n.a.	≤ 15	n.a.	≤ 0,66	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,71	06/05/2022	≤ 0,087	0,180±0,047	≤ 0,22	≤ 0,12	≤ 0,12	≤ 0,11	≤ 0,20	≤ 0,22	≤ 0,11	≤ 0,95	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	28/07/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja squinado	Entier	Cendre	2,38	18/11/2022	≤ 0,027	0,041±0,015	≤ 0,070	0,082±0,019	≤ 0,044	≤ 0,031	≤ 0,082	≤ 0,078	0,029±0,017	≤ 0,31	≤ 0,039	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Carteret au large	29/08/2022	Crustacés aquatiques	Homard Homarus gammarus	Entier	Cendre	3,23	28/11/2022	≤ 0,029	≤ 0,031	≤ 0,068	≤ 0,038	≤ 0,045	≤ 0,034	≤ 0,068	≤ 0,082	≤ 0,030	≤ 0,31	≤ 0,044	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	03/01/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	Cendre	5,01	17/10/2022	≤ 0,0089	0,0259±0,0050	≤ 0,12	0,0154±0,0066	0,043±0,010	≤ 0,014	≤ 0,17	≤ 0,023	0,0127±0,0054	0,405±0,085	≤ 0,010	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	23/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,87	18/11/2022	≤ 0,0065	0,0162±0,0035	≤ 0,020	≤ 0,0094	0,0194±0,0050	≤ 0,0082	≤ 0,020	≤ 0,015	≤ 0,0092	0,181±0,040	0,0355±0,0042	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	02/02/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	Cendre	5,57	28/11/2022	≤ 0,014	0,0173±0,0070	≤ 0,21	≤ 0,020	≤ 0,033	≤ 0,021	≤ 0,33	≤ 0,038	0,0225±0,0089	≤ 0,19	0,0239±0,0061	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville au large	22/07/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,61	28/11/2022	≤ 0,0071	0,171±0,014	≤ 0,027	≤ 0,011	≤ 0,013	≤ 0,0100	≤ 0,027	≤ 0,017	≤ 0,0100	≤ 0,086	≤ 0,0100	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 24 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,01	17/05/2022	8,0±1,2	6,40±0,96
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	4,63	17/05/2022	2,7±0,8	2,12±0,63

Tableau 25 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	Unité
Flamanville - champ proche	Flamanville	04/01/2022	Sédiments	Sable de plage	Produits de tamisage Tamisé < 2000 µm	2,69	07/12/2022	3,5±3,6	0,23±0,23	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	03/02/2022	Sédiments	Sable de plage	Produits de tamisage Tamisé < 2000 µm	1,47	07/12/2022	H inf. 0,3%	0,14±0,14	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ proche	Tréauville	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,01	15/09/2022	10,4±1,4	0,93±0,14	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Jean-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,63	15/09/2022	2,5±0,7	0,238±0,068	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville	28/07/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja squinado	Chair	5,19	18/12/2022	6,1±0,9	0,76±0,12	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Les Moitiers-d'Allonne	29/08/2022	Crustacés aquatiques	Homard gammarus	Chair	5,04	10/01/2023	6,8±1,2	0,87±0,16	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	03/01/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	4,90	17/01/2023	9,2±1	1,09±0,13	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Jean-de-la-Rivière	02/02/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	5,44	17/01/2023	4,5±1,1	0,45±0,11	Bq.kg ⁻¹ frais
Flamanville - champ proche	Flamanville	22/07/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	4,67	10/01/2023	12,5±1,7	1,68±0,24	Bq.kg ⁻¹ frais

Tableau 26 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	$\delta^{12/13}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C TOT. (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	Unité
Flamanville - champ proche	Flamanville	04/01/2022	Sédiments	Sable de plage	Produits de tamisage Tamisé < 2000 μm	2,69	16/11/2022	269,7 \pm 3	-18,27	117,7 \pm 1,3	12,70 \pm 0,14	47	Sec
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	03/02/2022	Sédiments	Sable de plage	Produits de tamisage Tamisé < 2000 μm	1,47	16/11/2022	264,6 \pm 3	-2,02	111,7 \pm 1,3	15,61 \pm 0,18	59	Sec
Flamanville - champ proche	Tréauville	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Résidu sec obtenu après lyophilisation	5,01	16/11/2022	372,7 \pm 4	-19,65	163,1 \pm 1,8	25,75 \pm 0,28	69	Frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Jean-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Résidu sec obtenu après lyophilisation	4,63	16/11/2022	272,8 \pm 3	-16,79	118,7 \pm 1,3	19,19 \pm 0,21	70	Frais
Flamanville - champ proche	Flamanville	28/07/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja squinado	Chair	5,19	09/05/2023	320 \pm 16	-19,58	140,1 \pm 7,0	27,6 \pm 1,4	86	Frais
Flamanville - champ lointain	Les Moitiers-d'Allonne	29/08/2022	Crustacés aquatiques	Homard gammarus	Chair	5,04	20/05/2023	345 \pm 17	-19,4	150,9 \pm 7,4	30,2 \pm 1,5	88	Frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	03/01/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	4,90	21/03/2023	411 \pm 20	-18,9	179,6 \pm 8,7	34,0 \pm 1,7	83	Frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Jean-de-la-Rivière	02/02/2022	Mollusques aquatiques	Patelle Patella vulgata	Chair	5,44	21/03/2023	277 \pm 14	-14,44	120,0 \pm 6,1	20,0 \pm 1,0	72	Frais
Flamanville - champ proche	Flamanville	22/07/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	4,67	20/05/2023	450 \pm 22	-18,03	196,3 \pm 9,6	44,1 \pm 2,2	98	Frais

Tableau 27 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ^{63}Ni	^{63}Ni (Bq.kg ⁻¹ sec)	Ni (g.kg ⁻¹ sec)
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,14	26/10/2022	1,03±0,18	0,378
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,71	26/10/2022	0,49±0,10	0,376

Tableau 28 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{55}Fe	Unité
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	31/01/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,14	04/11/2022	≤ 10,5	Bq.kg ⁻¹ sec
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	03/02/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,71	12/12/2022	≤ 5,0	Bq.kg ⁻¹ sec

5. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL

5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Paluel est situé dans le Pays de Caux, sur le littoral de la Manche, à 6 km au sud-ouest de Saint-Valéry-en-Caux et à 21 km au nord-est de Fécamp (Figure 15 page 78). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Paluel est situé « en aval » du CNPE de Flamanville (185 km à vol d'oiseau) et de l'usine de traitement de combustible usé ORANO La Hague (185 km), et "en amont" des CNPE de Penly (43 km) et de Gravelines (167 km ; Figure 1 page 18). Le CNPE de Paluel se compose de quatre réacteurs de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) d'une puissance unitaire de 1300 MWe, couplés au réseau en juin 1984 (INB n°103), septembre 1984 (INB n°104), septembre 1985 (INB n°113) et avril 1986 (INB n°114).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel est présentée sur la Figure 14 page 74. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.



Figure 14 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.

5.2. État radiologique de l'environnement terrestre

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 15 page 78. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 29 page 76. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 42 page 106.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation des dépôts atmosphériques. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région, à savoir l'élevage laitier et le maraîchage. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur ouest-sud-ouest à sud-sud-ouest, qui dispersent principalement les effluents atmosphériques vers la mer. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE (ZI) se trouve dans le secteur est ou en champ proche (Paluel, Ingouville, Saint-Valéry-en-Caux). La zone hors vents dominants (ZNI) est située dans le secteur sud à sud-est. Depuis 2018, au vu du retour d'expérience, de la rose des vents moyenne sur la décennie précédente et de sa distance au CNPE, la station de Gueutteville-les-Grès, située en secteur est et auparavant considérée comme en ZI, est recatégorisée en ZNI.

En 2022, l'IRSN n'a rencontré aucune difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

En outre, l'herbe fait l'objet de quatre mesures de ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022.

Tableau 29 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Gamma (Cendre)	7,66	17,17
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	7,44	-
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	C élémentaire (Sec)	7,44	-
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	7,44	-
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	H-3 lié (Sec)	7,44	-
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	7,44	-
9,66 km E	Paluel - Zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	H-3 libre (Liquide)	7,44	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	04/04/2022	Gamma (Sec)	1,31	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	04/04/2022	Granulométrie (Sec)	1,31	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	04/04/2022	MO après combustion (Sec)	1,31	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	04/04/2022	Gamma (Cendre)	6,79	7,12
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	04/04/2022	H-3 lié (Sec)	6,22	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	04/04/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	6,22	-
0,92 km ENE	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Paluel	00,64606	49,86183	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	04/04/2022	H-3 libre (Liquide)	6,22	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	Gamma (Cendre)	8,39	5,23
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	8,08	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	C élémentaire (Sec)	8,08	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	8,08	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	H-3 lié (Sec)	8,08	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	8,08	-
1,64 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	00,65737	49,86066	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	H-3 libre (Liquide)	8,08	-
5,08 km E	Paluel - Zone sous les vents (<5 km)	Saint-Valery-en-Caux	00,70582	49,85607	Mousses terricoles	Polytric Polytrichum species	Entier	04/04/2022	Gamma (Frais)	1,16	-
9,66 km E	Paluel - Eau phréatique hors aval hydraulique	Gueutteville-les-Grès	00,76818	49,84410	Eaux boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	01/08/2022	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
	Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique



Figure 15 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres⁷ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

⁷ Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert foncé : stations sous les vents dominants (ZI). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

5.2.2. Résultats et interprétation

5.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés dans le Tableau 43 page 107.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Paluel est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Elles ont pour principale origine le ^{40}K et, dans une moindre mesure, les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans le sol, l'activité massique en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U est en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [23, 24, 28]. La seconde composante cosmogénique est due au ^7Be , présent principalement dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques. Dans le lait de vache, le ^{40}K est toujours proche de 50 Bq.L^{-1} , quels que soient l'année ou le lieu du prélèvement, car la teneur en potassium du lait est physiologiquement régulée chez l'animal.

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés dans le Tableau 44 page 108.

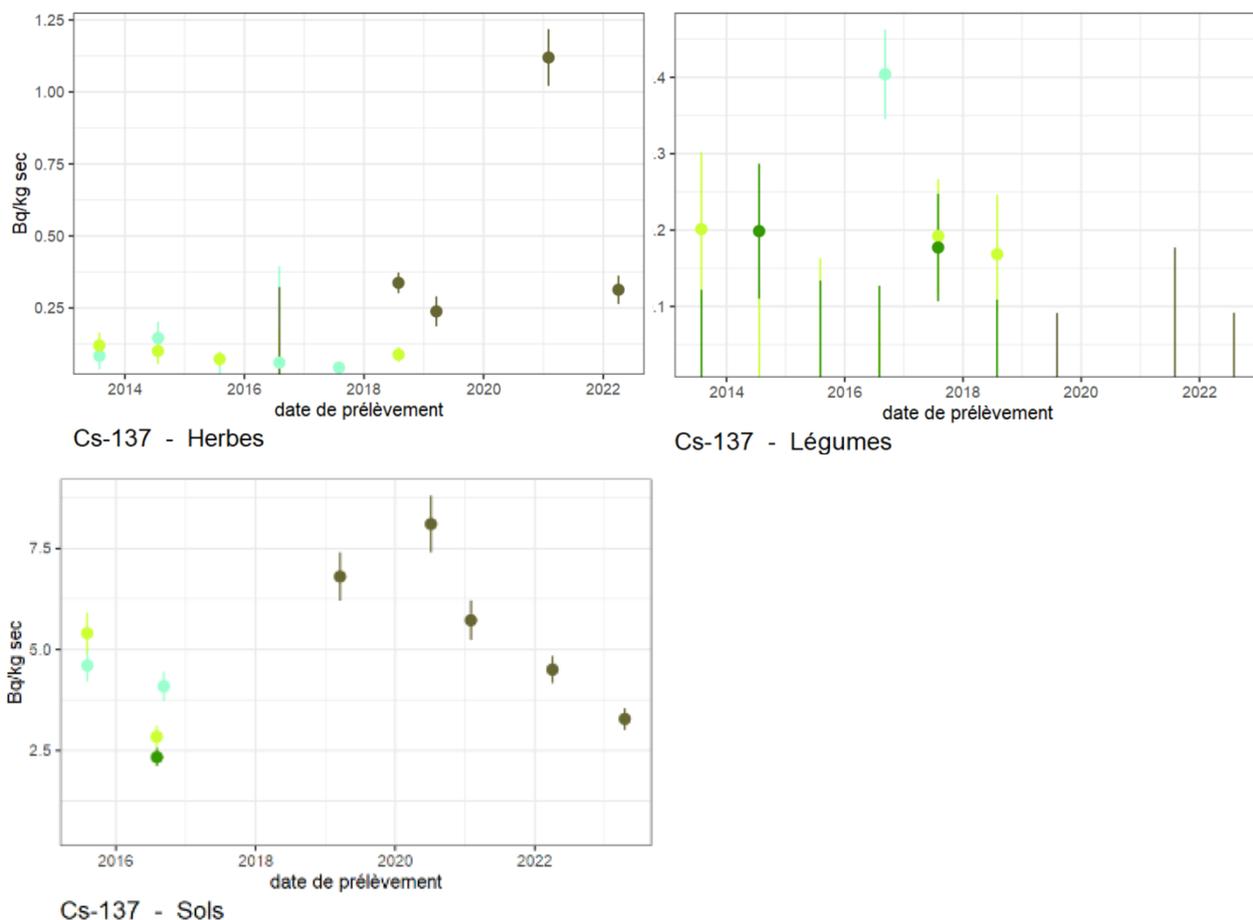
Dans le sol échantillonné dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide est également quantifié dans l'herbe, les mousses terrestres et le lait, mais il ne l'est pas dans les salades. Les analyses d' ^{131}I réalisées sur l'échantillon frais de mousses ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activité supérieurs au seuil de décision. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel en 2022 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 31 à Tableau 35 page 91 et suivantes ; et Figure 16 page 80) et aux niveaux de bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. L'activité γ détectée dans le cadre de cette étude ne met pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

5.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 45 et du Tableau 46 page 109, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est inférieure au seuil de décision. Les activités en tritium dans la salade (HTO) et le lait (HTO et TOL) sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local ($0,5$ à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et $0,34$ à $1,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ pour le TOL d'après [3]). Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'herbe ($8,2 \pm 1,2 \text{ Bq.L}^{-1}$ ED et $5,8 \pm 1,0 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC, respectivement) ainsi que dans la salade (tritium organiquement lié, $2,7 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ ED) sont en revanche supérieures à ce bruit de fond. Ces activités témoignent d'un apport local en champ proche du CNPE de Paluel pour l'herbe et la salade.



Légende pour les figures en milieu terrestre :

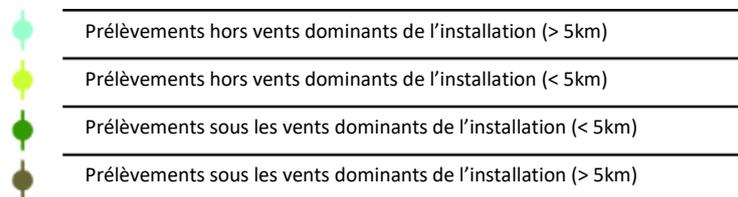


Figure 16 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sols (cultivés et non cultivés), des végétaux cultivés (légumes) et herbes échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 47 page 110.

L'activité en ^{14}C dans les salades échantillonnées ($238 \pm 12 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) n'est pas significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), et ne témoigne pas d'un apport local dans l'environnement du CNPE de Paluel par les rejets à l'atmosphère du CNPE. Dans le lait de vache, l'activité en ^{14}C ($228 \pm 11 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) n'est pas non plus significativement différente du bruit de fond. Les activités mesurées dans l'herbe ($226\text{-}233 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ de C}$) dans le cadre de la surveillance trimestrielle de l'année 2022 ne montrent pas non plus de marquage.

5.3. État radiologique de l'environnement aquatique

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 17 page 85. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 30 pages 82 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 48 page 111. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments et d'algues ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons, de crustacés et de mollusques (bulots) ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés (port de Saint-Valéry-en-Caux). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, le fort régime hydrodynamique le long de la côte d'Albâtre ne permet pas la sédimentation des particules les plus fines (limons et argiles) autour du CNPE de Paluel hormis dans les ports (cas de Saint-Valéry-en-Caux). Ainsi, aux stations de Sassetot-le-Mauconduit et de Veulettes-sur-Mer, seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local, dominé par des courants parallèles au trait de côte le long de la côte d'Albâtre et globalement orientés d'ouest en est. La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. A Paluel, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres à l'ouest et à l'est du CNPE, de Veulettes-sur-Mer à Saint-Valéry-en-Caux. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. A Paluel, le champ lointain désigne les stations situées au-delà d'une dizaine de kilomètres en « amont » du CNPE au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche [1, 2], de Saint-Pierre-en-Port à Sassetot-le-Mauconduit.

En 2022, concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme auparavant, les analyses sur les crustacés ont été réalisées sur l'animal entier pour ce qui est de la spectrométrie gamma, et sur la chair du corps et des pinces qui a été décortiquée pour la recherche du tritium organiquement lié. De plus, comme depuis 2018, pour des raisons de sécurité, les prélèvements de sédiment, d'algues et de mollusques (patelles) habituellement effectués à Saint-Pierre-en-Port en champ lointain, ont été remplacés par des prélèvements effectués à Sassetot-le-Mauconduit (algues et sédiment) et au large de Saint-Pierre-en-Port (mollusques : patelles remplacées par des bulots). L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.

Tableau 30 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Gamma (Cendre)	5,34	3,47
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Gamma (Frais)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	C élémentaire (Sec)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	H-3 lié (Sec)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	H-3 libre (Liquide)	5,30	-
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,34	3,47
8,69 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,34	3,47
8,7 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Gamma (Sec)	1,32	-
8,7 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Granulométrie (Sec)	1,32	-
8,7 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,52414	49,82613	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	MO après combustion (Sec)	1,32	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	12/03/2022	Gamma (Cendre)	2,25	1,73
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	12/03/2022	H-3 lié (Sec)	3,71	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	12/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,71	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	Gamma (Cendre)	3,94	9,79
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	3,62	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	C élémentaire (Sec)	3,62	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,62	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	H-3 lié (Sec)	3,62	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,62	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	3,94	9,79
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/07/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	3,94	9,79
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	Gamma (Cendre)	4,57	16,04
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,37	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	C élémentaire (Sec)	4,37	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,37	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	H-3 lié (Sec)	4,37	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	27/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,37	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	13/03/2022	Gamma (Cendre)	2,35	1,83
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	13/03/2022	H-3 lié (Sec)	3,83	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	13/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,83	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	Gamma (Cendre)	3,83	10,09
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	3,76	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	C élémentaire (Sec)	3,76	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,76	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	H-3 lié (Sec)	3,76	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	05/07/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,76	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	Gamma (Cendre)	4,56	16,11
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,28	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	C élémentaire (Sec)	4,28	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,28	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	H-3 lié (Sec)	4,28	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	26/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,28	-
1,44 km	Paluel - Champ proche	Paluel	00,61527	49,85988	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Gamma (Cendre)	5,23	3,81
2,2 km	Paluel - Champ proche	Veulettes-sur-Mer	00,60454	49,85582	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Gamma (Sec)	1,33	-
2,2 km	Paluel - Champ proche	Veulettes-sur-Mer	00,60454	49,85582	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Granulométrie (Sec)	1,33	-
2,2 km	Paluel - Champ proche	Veulettes-sur-Mer	00,60454	49,85582	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	MO après combustion (Sec)	1,33	-
5,74 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71256	49,87052	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Gamma (Sec)	2,03	-
5,74 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71256	49,87052	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	Granulométrie (Sec)	2,03	-
5,74 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71256	49,87052	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	05/04/2022	MO après combustion (Sec)	2,03	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Gamma (Cendre)	5,59	3,65
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	05/04/2022	Gamma (Frais)	5,68	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	C élémentaire (Sec)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	H-3 lié (Sec)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	H-3 libre (Liquide)	5,68	-
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,59	3,65
6,22 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,71967	49,86999	Algues brunes	Fucus Fucus serratus	Entier	05/04/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,59	3,65

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

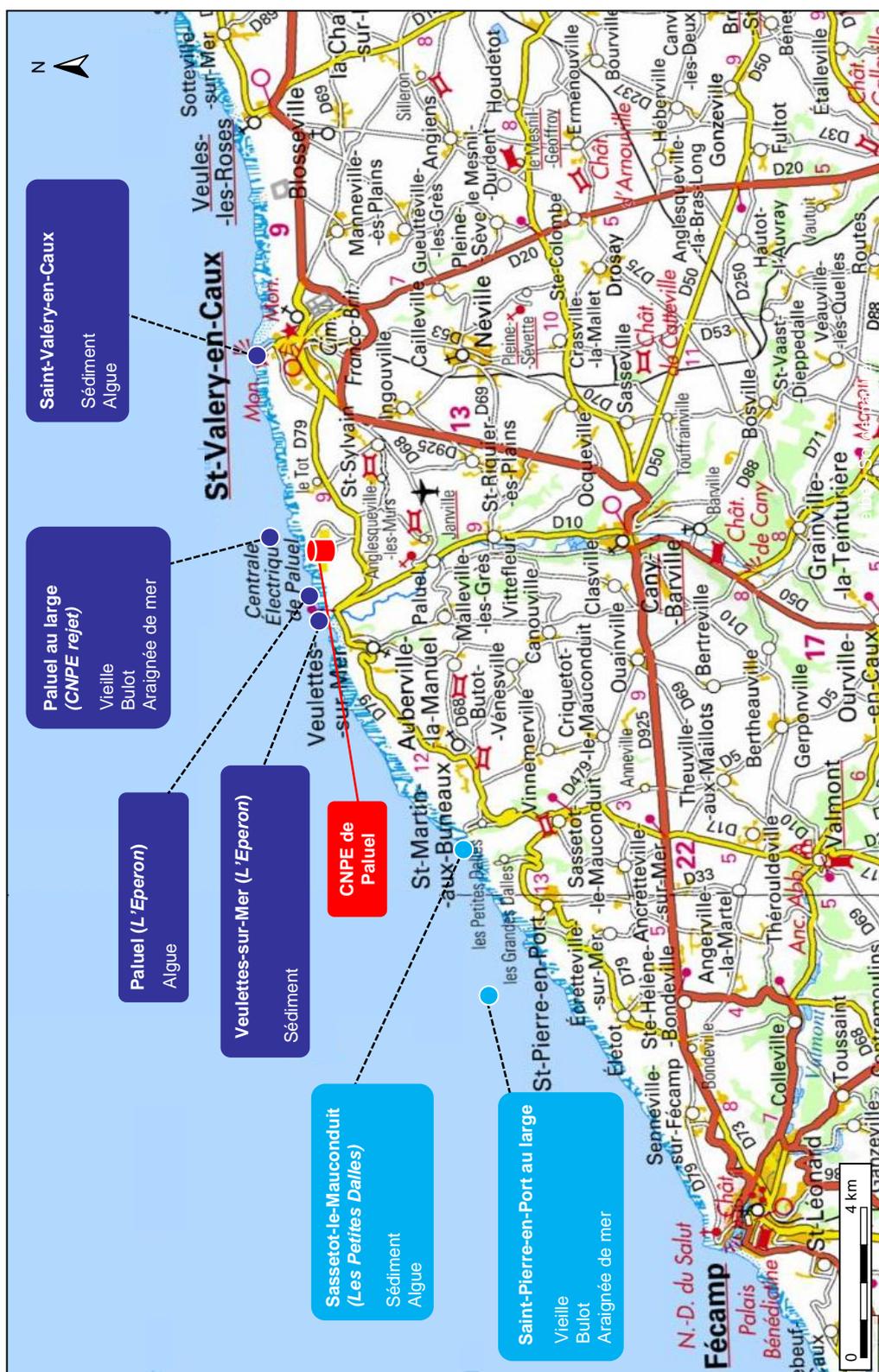


Figure 17 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines⁸ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

⁸ Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE (CL). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

5.3.2. Résultats et interprétation

5.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 49 page 112.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Paluel est qualitativement et quantitativement du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ frais). Le ^7Be est détecté dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée, c'est le cas notamment des algues, présentant des niveaux d'activité élevés du fait de leur capacité à capter les aérosols, ainsi que des sédiments fins du port de Saint-Valéry-en-Caux. Le ^7Be est également détecté à un niveau proche du seuil de décision dans les crustacés prélevés en champ lointain.

L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 50 page 113.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co , au ^{241}Am et à l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$. Le ^{137}Cs , qui trouve son origine à la fois dans les retombées des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl, ainsi que dans les rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et dans ceux des CNPE, est le plus fréquemment quantifié. Il l'est à des niveaux comparables en champ proche et en champ lointain pour les algues, les crustacés, les mollusques et les poissons. Pour les sédiments, ceux mesurés en champ proche à Saint-Valéry-en-Caux présentent un niveau d'activité en ^{137}Cs plus élevé que les deux autres sédiments (prélevés à Veulettes-sur-Mer en champ proche et à Sassetot-le-Mauconduit en champ lointain), qui s'explique par une granulométrie plus fine à Saint-Valéry-en-Caux qu'aux deux autres sites. Comme il le fut régulièrement au cours de la dernière décennie, l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ est détecté dans les bulots en champ proche et lointain du CNPE de Paluel en 2022, à un niveau comparable entre les deux et proche du seuil de décision. L'origine de ce radionucléide est incertaine. Le ^{60}Co , provenant à la fois des rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et de ceux des CNPE, est quant à lui détecté en champ proche du CNPE (sédiments et algues) mais toujours à des activités proches des seuils des décisions pour les algues. Les teneurs dans le sédiment sont un peu plus élevées du fait de la finesse du sédiment de Saint-Valéry-en-Caux, apte à retenir certains radionucléides dont le ^{60}Co . Le ^{241}Am , provenant des rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague, est détecté dans les sédiments fins du Port de Saint-Valéry-en-Caux, en champ proche du CNPE de Paluel. L' ^{131}I , présent dans les rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement ORANO de la Hague et dans ceux des CNPE, et recherché dans les algues, ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision.

Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2022 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Paluel (Tableau 37 à Tableau 41, pages 97 et suivantes ; et Figure 18 page 88). Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague en « amont » du CNPE de Paluel) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Paluel sur l'environnement marin.

5.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 51 et du Tableau 52 page 114, respectivement.

Les activités en tritium libre dans les algues correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L⁻¹, et comprises entre 3,7 et 5,9 Bq.L⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités en tritium libre mesurées dans les algues ne sont pas significativement différentes en champ proche et en champ lointain. Les activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés, toutes matrices confondues, sont également comparables en champ proche et en champ lointain. Néanmoins, les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié mesurées dans les algues en champ proche sont supérieures aux niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L⁻¹, et comprises entre 3,7 et 5,9 Bq.L⁻¹ à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]). Cette observation cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d'un marquage par le tritium de l'environnement proche de l'émissaire du CNPE pour les algues en 2022.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 53 page 115.

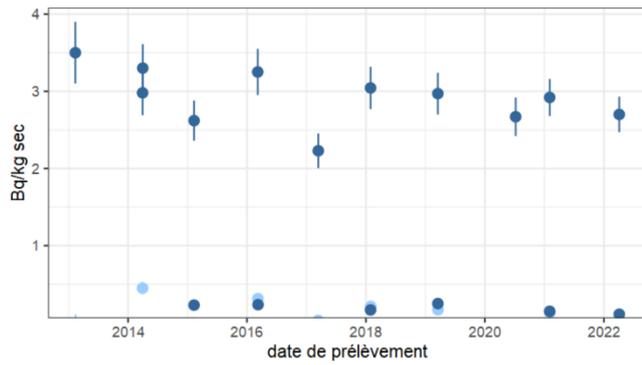
Les activités en ¹⁴C quantifiées au sein des algues, mollusques et poissons collectés en champ proche et/ou en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel sont supérieures au bruit de fond en ¹⁴C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (233±5 Bq.kg⁻¹ C en 2022 d'après nos mesures et d'après [3]). Dans les algues, les activités sont supérieures en champ lointain par rapport au champ proche. Dans les poissons et les mollusques, les activités sont comparables en champ proche et en champ lointain. Ces activités sont cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [3], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague.

Nickel 63 et Fer 55

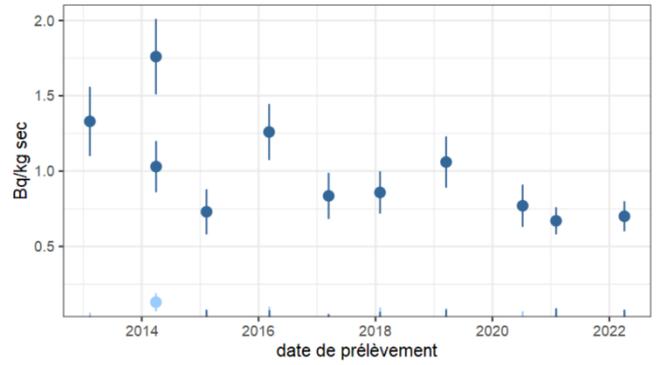
Les résultats d'analyse des activités en ⁶³Ni et en ⁵⁵Fe dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 54 et du Tableau 55 page 116, respectivement.

Le ⁶³Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel, avec des activités comparables en champ proche et lointain. Les activités mesurées dans l'environnement du CNPE de Paluel sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues.

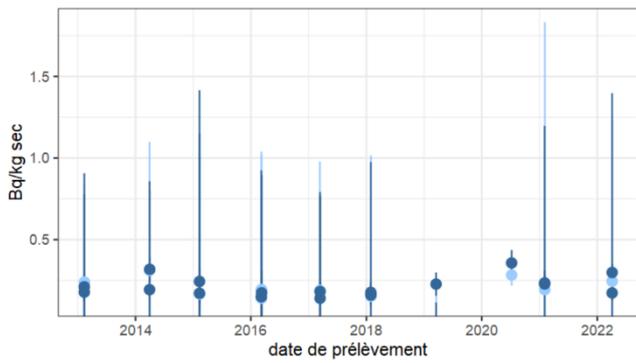
Le ⁵⁵Fe, recherché dans les algues et les bulots, n'y est pas décelable en 2022. La technique de mesure du ⁵⁵Fe fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents bilans décennaux et suivis annuels des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.



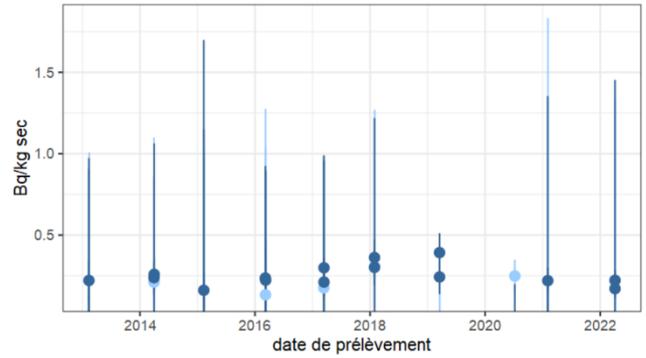
Cs-137 - Sédiments



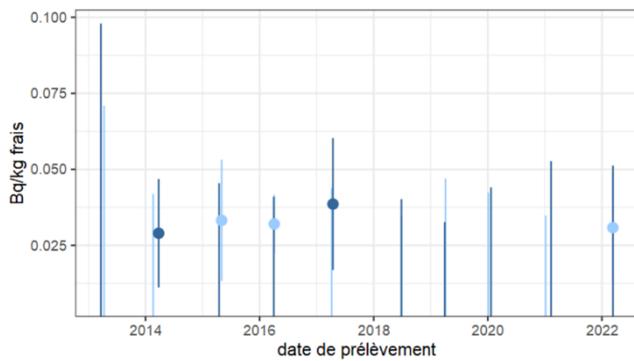
Co-60 - Sédiments



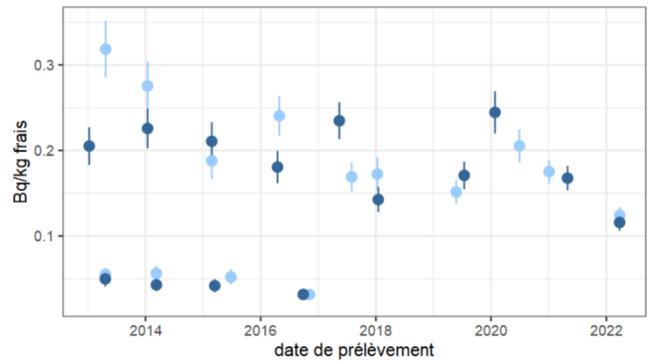
Cs-137 - Algues



Co-60 - Algues



Cs-137 - Crustacés aquatiques



Cs-137 - Poissons

Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :



Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Figure 18 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel.

5.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2022 dans l'environnement du CNPE de Paluel sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant.

La radioactivité gamma d'origine artificielle dans le sol, l'herbe, les mousses terrestres et le lait est exclusivement imputable au ^{137}Cs . La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la Normandie. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins, quelle qu'en soit l'origine, n'est également pas à exclure pour expliquer la présence de ce radionucléide au sein des matrices terrestres échantillonnées à proximité immédiate de la côte (herbe et salade notamment). L'activité en tritium libre et en tritium organiquement lié met en évidence un marquage lié aux rejets d'effluents à l'atmosphère pour l'herbe et la salade. L'activité en ^{14}C dans les salades est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2022, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère ne donnent pas lieu à un marquage quantifiable de l'environnement terrestre du site, si ce n'est pour le ^{14}C et le ^3H dans les salades et le ^3H dans l'herbe.

En 2022, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont essentiellement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (sédiments, algues), le ^{241}Am (sédiments), et l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ (mollusques) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , les radionucléides artificiels quantifiés dans les matrices marines ont parfois une double origine : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Paluel (hormis pour le ^{241}Am , présent uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague). L' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, est uniquement quantifié dans les bulots en champ proche et en champ lointain, à des niveaux comparables, sans que son origine ne soit clairement établie. En 2022, le ^{60}Co est quantifié dans les sédiments et les algues prélevés en champ proche uniquement. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Paluel, notamment dans les produits de consommation (mollusques, crustacés et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont dans la gamme des valeurs attendues considérant les niveaux d'activité mesurables dans l'eau de mer principalement liés à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, hormis pour les algues en champ proche, et mettent en évidence un marquage en tritium par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel dans les algues. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], sans que l'influence des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel ne puisse être mise en évidence.

5.5. Tableaux de résultats

Tableau 31 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	10 km	10 km	10 km	1,6 à 10,3 km	0,8 et 10,0 km	0,7 km	0,7 km	0,8 km	0,9 km	0,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	5,7 (1/1)	4,2 (1/1)	4,6 (1/1)	2,1-4,7 (4/4)	3,87-6,60 (2/2)	6,6 (1/1)	6,8 (1/1)	8,1 (1/1)	5,72 (1/1)	4,5 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-

n.a : non analysé ; - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et de lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018	2019	2021	2022
Fraction	Entier		Entier	Entier	Entier	Entier								
Chronique	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (<5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (<5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (<5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (<5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (<5 km)	Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>														
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,41-9,7 (2/2)	0,78 (1/1)	1,14 (1/1)	0,48-1,87 (2/2)	-	0,21 (1/2)	0,76 (1/1)	0,42 (1/2)	0,45-1,72 (2/2)	0,45 (1/1)	0,50-0,75 (2/2)	0,40 (1/1)	-	0,91 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Espèces concernées : *Eurhynchium species*, *Polytric*, *Polytric formosum*, Ramaline des Rochers

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 33 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹³⁷ Cs	0,08 (1/1)	0,15 (1/1)	-	0,06 (1/3)	0,04 (1/1)	0,34 (1/1)	0,24 (1/1)	n.a.	1,119 (1/1)	0,313 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	3,0 (1/1)	1,8-5,8 (2/2)	2,4 (1/1)	2,5 (1/1)	4,1 (1/1)	2,8 (1/1)	2,3 (1/1)	8,2 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,4-3,6 (2/2)	3,1 (1/1)	2,5 (1/1)	3,5 (1/1)	2,7 (1/1)	3,6 (1/1)	5,8 (1/1)
¹⁴ C	232 (1/1)	229-244 (2/2)	230-252 (5/5)	231-278 (6/6)	232-272 (5/5)	226-242 (4/4)	244-259 (4/4)	232-264 (4/4)	221-233 (4/4)	226-233 (3/3)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 34 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	-	1,6 km	1,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹³⁷ Cs	-	0,20 (1/1)	-	0,40 (1/2)	0,18 (1/1)	-	-	n.a.	-	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	-	1,6 km	1,6 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	1,2-1,6 (2/2)	1,6 (1/1)	2,2 (1/1)	1,7 (1/1)	n.a.	2,7 (1/1)	2,5 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	2,5 (1/1)	2,7-3,2 (2/2)	2,6 (1/1)	2,4 (1/1)	2,2 (1/1)	n.a.	3,5 (1/1)	2,7 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	236-257 (2/2)	n.a.	235 (1/1)	239 (1/1)	n.a.	272 (1/1)	238 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 35 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km	9,6 km	9,7 km	9,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L ⁻¹)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹³⁷ Cs	-	-	-	0,009 (1/1)	-	0,006 (1/1)	0,004 (1/1)	n.a.	-	0,0068 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km	9,6 km	9,7 km	9,7 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	-	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	0,9 (1/1)	-	-	-	-	0,9 (1/1)	-
³ H lié	1,2 (1/1)	1,7 (1/1)	1,8 (1/1)	0,9 (1/1)	0,9 (1/1)	1,4 (1/1)	0,6 (1/1)	n.a.	1,2 (1/1)	1,5 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	230-233 (4/4)	227-235 (5/5)	234 (1/1)	243 (1/1)	229 (1/1)	246 (1/1)	227 (1/1)	228 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 36 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,6 km	10 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	-	9,7 km	9,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)										
¹³⁴ Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³⁷ Cs	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁷ Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁶⁰ Co	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{110m} Ag	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁰⁶ Ru/Rh	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹)										
³ H libre	1,1 (1/1)	-	-	-	-	0,7 (1/1)	-	n.a.	-	-

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 37 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	2021		2022		
Fraction	≤ 2 mm		Produits de tamisage		Produits de tamisage	Produits de tamisage		Produits de tamisage												
Chronique	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	-	3,5 (1/2)	0,45 (1/1)	2,98-3,3 (2/2)	-	0,23-2,62 (2/2)	0,313 (1/1)	0,235-3,25 (2/2)	0,032 (1/1)	2,23 (1/2)	0,213 (1/1)	0,167-3,04 (2/2)	0,17 (1/1)	0,25-2,97 (2/2)	-	2,67 (1/1)	0,133 (1/1)	0,15-2,92 (2/2)	-	0,112-2,7 (2/2)
²⁴¹ Am	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	1,49 (1/2)	n.d.	1,17 (1/2)										
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	1,33 (1/2)	0,13 (1/1)	1,03-1,76 (2/2)	-	0,73 (1/2)	-	1,26 (1/2)	-	0,84 (1/2)	-	0,86 (1/2)	-	1,06 (1/2)	-	0,77 (1/1)	-	0,67 (1/2)	-	0,7 (1/2)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	-	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,6 (1/1)	6,5-6,9 (2/2)	n.a.	n.a.												
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	34-44 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,13	4,8	n.a.	n.a.
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	95,6 (1/1)	135-206,6 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	340,9 (1/1)	n.a.	n.a.
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	1,99 (1/2)	n.a.	n.a.										

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	2021	2022	
Fraction	≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		≤ 2 mm		Produits de tamisage		Produits de tamisage	Produits de tamisage	Produits de tamisage	
<i>Emetteurs alpha (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																		
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0955 (1/1)	0,970 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²³⁸ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0287 (1/1)	0,332 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,1069 (1/1)	1,660 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Sable de plage, Sédiments

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 38 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 22 km	0,8 à 12 km	1,6 à 8,8 km	1,6 à 8,8 km	6,3 et 9,7 km	1,4 à 8,7 km	1,4 à 8,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,18-0,24 (3/3)	0,19-0,32 (3/3)	0,17-0,24 (3/3)	0,15-0,19 (4/4)	0,14-0,19 (3/3)	0,15-0,18 (3/3)	0,23 (1/3)	0,28-0,36 (2/2)	0,193-0,235 (3/3)	0,172-0,299 (3/3)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,22 (1/3)	0,21-0,26 (3/3)	0,16 (1/3)	0,13-0,24 (3/4)	0,18-0,30 (3/3)	0,30-0,36 (3/3)	0,24-0,39 (2/3)	0,25 (1/2)	0,220 (1/3)	0,171-0,222 (2/3)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁹ I	-	-	-	4,6-10,8 (4/4)	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C ; ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ sec)										
³ H libre	n.a.	n.a.	5,2-6,5 (3/3)	4,0-6,8 (4/4)	n.a.	5,6-6,9 (2/2)	4,6-9,5 (2/2)	n.a.	3,4-5,4 (2/2)	5,5-6,9 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	4,8-7,3 (4/4)	n.a.	6,0-7,1 (2/2)	6,5-7,3 (2/2)	n.a.	5,1-5,3 (2/2)	6,7-8,1 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	288-302 (3/3)	n.a.	286-290 (2/2)	269-278 (2/2)	n.a.	274,5-284,1 (2/2)	253,8-277,8 (2/2)
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	0,462-0,91 (2/2)	0,36-1,32 (3/3)	1,08-1,53 (2/2)	1,00-1,92 (3/3)	1,10-1,16 (2/2)	n.a.	0,86-1,13 (2/2)	0,71-0,72 (2/2)
Émetteurs α (Bq.kg ⁻¹ sec)										
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	87,8-172,0 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²³⁸ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	32,8-61,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	18,8-26,2 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
²⁴⁴ Cm	n.a.	n.a.	n.a.	0,94-1,58 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 39 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022										
Fraction	Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair	
Chronique	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,0172-0,037 (2/2)	0,0220-0,076 (2/2)	0,0357 (1/2)	0,0214-0,128 (2/2)	0,0196-0,0290 (2/2)	0,0184-0,0745 (2/2)	0,0147-0,0209 (2/2)	0,0180-0,0208 (2/2)	0,0177 (1/1)	0,0393 (1/1)	0,0175 (1/1)	0,0214-0,049 (2/2)	0,0235 (1/1)	0,0163 (1/1)	-	0,0136 (1/1)	0,0111 (1/1)	0,0154 (1/1)	0,0187 (1/1)	0,0181 (1/1)
²⁴¹ Am	n.a.	0,027 (1/2)	n.a.	0,051 (1/2)	n.a.	0,0318 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0192 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	0,0150 (1/2)	0,023-0,031 (2/2)	0,071 (1/2)	-	0,0432 (1/2)	-	-	-	0,0118 (1/1)	0,0142 (1/2)	-	-	-	-	0,0087 (1/1)	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	0,025 (1/2)	0,0137 (1/2)	0,0169 (1/2)	0,025 (1/2)	0,054 (1/2)	-	-	0,0127 (1/1)	0,0119 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.										
¹⁰⁶ Rh	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,155 (1/1)	0,100 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{108m} Ag	0,0199 (1/1)	0,0191 (1/1)	0,026 (1/1)	n.a.	0,0185-0,0220 (2/2)	0,0217 (1/2)	0,0180-0,0332 (2/2)	0,0184 (1/2)	n.a.	0,0141 (1/1)	0,0519 (1/1)	0,0510 (1/2)	0,0276 (1/1)	0,0137 (1/1)	0,047 (1/1)	0,0159 (1/1)	n.a.	0,0240 (1/1)	0,0417 (1/1)	0,0453 (1/1)
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.kg⁻¹ frais)</i>																				
³ H libre	5,8 (1/1)	7,4 (1/1)	5 (1/1)	4,8 (1/1)	7,6 (1/1)	5,3 (1/1)	7 (1/1)	7,8 (1/1)	5,93 (1/1)	5,53 (1/1)	n.a.	n.a.								
³ H lié	4,6 (1/1)	5,1 (1/1)	5,2 (1/1)	4,1 (1/1)	5,8 (1/1)	5,1 (1/1)	6,3 (1/1)	7,5 (1/1)	5,35 (1/1)	5,40 (1/1)	5,22 (1/1)	6,2 (1/1)	5,3 (1/1)	4,6 (1/1)	4,6 (1/1)	4,1 (1/1)	5,1 (1/1)	5,3 (1/1)	6,3 (1/1)	6,4 (1/1)

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022										
Fraction	Chair																			
Chronique	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche																		
¹⁴ C	267,3 (1/1)	301,3 (1/1)	270,1 (1/1)	278,1 (1/1)	273,9 (1/1)	266 (1/1)	281 (1/1)	287,4 (1/1)	296 (1/1)	280 (1/1)	368 (1/1)	287 (1/1)	330,6 (1/1)	333,2 (1/1)	n.a.	n.a.	334,7 (1/1)	335 (1/1)	331 (1/1)	336,6 (1/1)
⁵⁵ Fe	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.														
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,028 (1/1)	0,036 (1/1)	0,013 (1/1)	0,019 (1/1)	0,0500 (1/1)	0,0598 (1/1)	-	0,079 (1/1)	0,0227 (1/1)	0,0124 (1/1)	n.a.	n.a.	-	0,0138	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs alpha (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																				
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00730 (1/1)	0,00767 (1/1)	n.a.	n.a.										
²³⁸ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00249 (1/1)	0,00272 (1/1)	n.a.	n.a.										
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00932 (1/1)	0,00905 (1/1)	n.a.	n.a.										

Espèces concernées : Bulot, Patelle

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 40 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022																
	Fracti on	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Chair																												
Chronique	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche					
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																																			
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
¹³⁷ Cs	-	-	-	0,029 (1/1)	0,033 (1/1)	-	0,0320 (1/1)	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,039 (1/1)	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	0,031 (1/1)	-	n.a.	n.a.												
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	0,053 (1/1)	0,0224 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	0,042 (1/1)	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.																	
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.																				
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>																																			
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,7 (1/1)	4,9 (1/1)	n.a.	n.a.	5,2-5,6 (2/2)	6,6 (1/1)	4,9 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.																

Tableau 41 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		
Fraction	Muscle																				
Chronique	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	Paluel - champ lointain	Paluel - champ proche	
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																					
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹³⁷ Cs	0,0551-0,318 (2/2)	0,0498-0,205 (2/2)	0,0561-0,275 (2/2)	0,0429-0,226 (2/2)	0,0521-0,188 (2/2)	0,0418-0,211 (2/2)	0,0315-0,241 (2/2)	0,0317-0,181 (2/2)	0,169 (1/1)	0,235 (1/1)	0,172 (1/1)	0,143 (1/1)	0,152 (1/1)	0,171 (1/1)	0,205 (1/1)	0,245 (1/1)	0,175 (1/1)	0,168 (1/1)	0,1241 (1/1)	0,1158 (1/1)	
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.											
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>																					
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,1 (1/1)	3,9-6,9 (2/2)	5,5-9,5 (2/2)	6,6-8,6 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.										
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,4 (1/1)	4,1-4,2 (2/2)	4,9-5,5 (2/2)	5,09-7,5 (2/2)	6,04 (1/1)	3,75 (1/1)	9,0 (1/1)	7,88 (1/1)	11,3 (1/1)	4,7 (1/1)	2,3 (1/1)	5,2 (1/1)	4,2 (1/1)	4,0 (1/1)	3,8 (1/1)	3,9 (1/1)	
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	369 (1/1)	290-322 (2/2)	314-390 (2/2)	324-447,6 (2/2)	343 (1/1)	319 (1/1)	346 (1/1)	338 (1/1)	346 (1/1)	371 (1/1)	308 (1/1)	315 (1/1)	322 (1/1)	294 (1/1)	326 (1/1)	325 (1/1)	
<i>Emetteurs alpha (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																					
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,000012 (1/1)	n.a.	n.a.											
²³⁸ Pu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.											
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0000104 (1/1)	0,000024 (1/1)	n.a.	n.a.											

Espèces concernées : Bar ou Loup, Sole, Vieille. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 42 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,31	Matière organique	5,6±0,2
									Argile (< 2µm)	16,0±0,7
									Limons fins	9,5±0,5
									Limons grossiers	27,7±1,3
									Sables fins	31,9±1,1
									Sables grossiers	14,9±0,8

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
	Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique

Tableau 43 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^7Be	Unité
										^{228}Ac	^{234}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{210}Pb		
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,31	14/10/2022	251 \pm 18	21,7 \pm 1,4	23,8 \pm 2	≤ 16	35 \pm 10	≤ 11	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	8,39	17/10/2022	1 890 \pm 150	0,78 \pm 0,27	$\leq 1,1$	≤ 15	4,40 \pm 0,96	35,6 \pm 3,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	6,79	07/09/2022	740 \pm 56	1,29 \pm 0,25	$\leq 0,70$	≤ 14	32,0 \pm 4,1	333 \pm 27	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Saint-Valery-en-Caux	04/04/2022	Mousses terrestres	Polytric	Entier	Frais	1,16	08/04/2022	168 \pm 12	$\leq 1,6$	n.a.	n.a.	n.a.	306 \pm 17	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	7,66	01/12/2022	44,0 \pm 3,4	$\leq 0,025$	$\leq 0,053$	$\leq 0,91$	$\leq 0,061$	$\leq 0,14$	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé.

Tableau 44 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	^{123m} Te	¹³¹ I*	Unité
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,31	14/10/2022	≤ 0,14	4,50±0,34	≤ 0,70	≤ 0,15	≤ 0,25	≤ 0,23	≤ 1,0	≤ 0,39	≤ 0,30	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	8,39	17/10/2022	≤ 0,094	≤ 0,092	≤ 0,21	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,11	≤ 0,19	≤ 0,23	≤ 0,069	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	6,79	07/09/2022	≤ 0,067	0,313±0,049	≤ 0,31	≤ 0,098	≤ 0,13	≤ 0,098	≤ 0,32	≤ 0,17	≤ 0,084	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Saint-Valery-en-Caux	04/04/2022	Mousses terrestres	Polytric	Entier	Frais	1,16	08/04/2022	≤ 0,30	0,91±0,45	≤ 0,35	≤ 0,45	≤ 0,30	≤ 0,35	≤ 0,31	≤ 0,81	n.a.	≤ 0,38	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	7,66	01/12/2022	≤ 0,0053	0,0068±0,0029	≤ 0,018	≤ 0,0084	≤ 0,0091	≤ 0,0068	≤ 0,018	≤ 0,013	≤ 0,0046	n.a.	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 45 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	8,08	05/10/2022	2,5±0,8	2,19±0,70	Frais
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	6,22	23/05/2022	8,2±1,2	6,9±1,0	Frais
Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,44	20/12/2022	≤ 0,80	≤ 0,69	Liquide
Paluel - Eau phréatique hors aval hydraulique	Gueutteville-les-Grès	01/08/2022	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	05/10/2022	≤ 0,70	≤ 0,70	Liquide

Tableau 46 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	8,08	22/11/2022	2,7±0,8	0,165±0,050	Frais
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Paluel	04/04/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	6,22	04/09/2022	5,8±1,0	0,501±0,090	Frais
Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,44	10/01/2023	1,5±0,8	0,156±0,083	Liquide

Tableau 47 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou sec ou Bq.L ⁻¹ d'ECH)	C _{tot} (g.kg ⁻¹ frais ou sec ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Paluel - zone hors vents dominants (>5 km)	Gueutteville-les-Grès	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,44	25/06/2023	228±11	15,97±0,77	70	-25,77	101,0±4,9	Liquide
Paluel - zone sous les vents (<5 km)	Ingouville	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	8,08	25/06/2023	238±12	11,13±0,56	47	-30,08	106,4±5,4	Frais

Tableau 48 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	2,03	Matiere organique	1,9±0,5
									Argiles (<2µm)	31,9±1,2
									Limons Fins	36,0±1,5
									Limons Grossiers	26,6±1,3
									Sables Fins	5,4±0,6
									Sables Grossiers	0,1±0,1
Paluel - champ proche	Veulettes-sur-Mer	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,33	Matiere organique	0,2±0,2
									Argiles (<2µm)	3,2±0,3
									Limons Fins	0,5±0,2
									Limons Grossiers	0,3±0,2
									Sables Fins	40,4±1,3
									Sables Grossiers	55,6±1,6
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,32	Matiere organique	0,3±0,3
									Argiles (<2µm)	3,6±0,3
									Limons Fins	0,1±0,1
									Limons Grossiers	0,5±0,2
									Sables Fins	20,4±0,9
									Sables Grossiers	75,4±0,2

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Tableau 49 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	2,03	12/10/2022	228±19	12,3±1,5	16,3±2,7	18±10	51±10	60±8	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Veulettes-sur-Mer	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,33	14/10/2022	86±6	3,15±0,25	6,6±0,7	≤ 8,0	10,5±2,4	≤ 6,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	14/10/2022	52,3±4,2	1,75±0,19	4,5±1	≤ 7,0	8,4±2	≤ 5,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	5,59	06/04/2022	1 442±67	≤ 5,6	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 8,4	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,59	08/07/2022	1 410±120	4,85±0,41	4,68±0,74	≤ 14	2,49±0,71	9,8±1,2	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Paluel	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,23	07/09/2022	1 333±100	5,06±0,42	4,46±0,76	≤ 12	2,20±0,73	9,4±2,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	5,34	07/04/2022	1 410±64	≤ 5,9	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 8,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,34	11/07/2022	1 430±110	5,53±0,46	5,6±1,1	≤ 17	2,10±0,98	10,4±2,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,35	01/12/2022	54,5±4,7	1,00±0,14	≤ 0,51	≤ 5,6	1,16±0,40	≤ 9,3	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	12/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,25	05/09/2022	54,7±4,4	1,16±0,18	0,56±0,18	≤ 3,9	0,85±0,26	2,2±1,0	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	05/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,83	28/11/2022	118,4±9,6	≤ 0,047	≤ 0,18	≤ 1,6	0,47±0,13	≤ 0,39	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,94	28/11/2022	112,7±8,8	≤ 0,044	0,168±0,067	≤ 1,6	0,43±0,11	≤ 0,36	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,56	07/09/2022	121,3±9,5	≤ 0,027	≤ 0,068	≤ 0,95	≤ 0,095	≤ 0,29	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	27/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,57	29/07/2022	121,4±9,5	≤ 0,023	≤ 0,065	≤ 0,68	≤ 0,082	≤ 0,15	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 50 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	²⁴¹ Am	^{108m} Ag	^{123m} Te	¹³¹ I*	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	2,03	12/10/2022	≤ 0,12	2,7± 0,23	≤ 0,70	0,7± 0,1	≤ 0,21	≤ 0,16	≤ 0,80	≤ 0,34	1,17± 0,15	≤ 0,13	≤ 0,26	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Veulettes-sur-Mer	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,33	14/10/2022	≤ 0,080	0,112± 0,046	≤ 0,39	≤ 0,080	≤ 0,12	≤ 0,100	≤ 0,60	≤ 0,20	≤ 0,16	≤ 0,080	≤ 0,17	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	14/10/2022	≤ 0,060	≤ 0,060	≤ 0,35	≤ 0,070	≤ 0,100	≤ 0,090	≤ 0,47	≤ 0,18	≤ 0,12	≤ 0,070	≤ 0,14	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	5,59	06/04/2022	≤ 1,1	≤ 1,4	≤ 1,2	≤ 1,5	≤ 1,1	≤ 1,3	≤ 1,1	≤ 2,8	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 0,95	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,59	08/07/2022	≤ 0,082	0,299± 0,052	≤ 0,22	0,222± 0,060	≤ 0,13	≤ 0,10	≤ 0,19	≤ 0,19	≤ 0,093	≤ 0,11	≤ 0,068	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Paluel	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,23	07/09/2022	≤ 0,084	0,173± 0,045	≤ 0,37	0,171 ±0,055	≤ 0,16	≤ 0,11	≤ 0,39	≤ 0,18	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,087	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	5,34	07/04/2022	≤ 0,96	≤ 1,2	≤ 1,2	≤ 1,3	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 1,0	≤ 2,7	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 1,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,34	11/07/2022	≤ 0,12	0,245± 0,072	≤ 0,32	≤ 0,17	≤ 0,20	≤ 0,14	≤ 0,29	≤ 0,29	≤ 0,14	≤ 0,17	≤ 0,092	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,35	01/12/2022	≤ 0,054	≤ 0,051	≤ 0,51	≤ 0,068	≤ 0,12	≤ 0,077	≤ 0,84	≤ 0,14	≤ 0,051	≤ 0,065	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	12/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,25	05/09/2022	≤ 0,033	0,031± 0,018	≤ 0,15	≤ 0,041	≤ 0,056	≤ 0,039	≤ 0,18	≤ 0,082	≤ 0,028	≤ 0,039	≤ 0,036	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	05/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,83	28/11/2022	≤ 0,011	0,0181± 0,0057	≤ 0,041	≤ 0,016	≤ 0,018	≤ 0,013	≤ 0,047	≤ 0,026	≤ 0,016	0,0453± 0,0067	≤ 0,011	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,94	28/11/2022	≤ 0,0098	0,0187± 0,0054	≤ 0,041	≤ 0,016	≤ 0,016	≤ 0,013	≤ 0,044	≤ 0,023	≤ 0,013	0,0417± 0,0057	≤ 0,0098	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,56	07/09/2022	≤ 0,0061	0,1158± 0,0095	≤ 0,030	≤ 0,0095	≤ 0,011	≤ 0,0082	≤ 0,033	≤ 0,015	≤ 0,0082	≤ 0,0082	≤ 0,0068	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	27/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	Cendre	4,57	29/07/2022	≤ 0,0052	0,1241± 0,0095	≤ 0,018	≤ 0,0082	≤ 0,0082	≤ 0,0067	≤ 0,018	≤ 0,012	≤ 0,0068	≤ 0,0068	≤ 0,0052	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 51 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ frais ⁻¹)
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,68	13/07/2022	6,9±1,1	5,69±0,91
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,30	13/07/2022	5,5±1,0	4,46±0,81

Tableau 52 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,68	23/11/2022	8,1±1,0	0,645±0,088	Frais
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,30	23/11/2022	6,7±0,9	0,574±0,084	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Chair	3,83	22/11/2022	5,4±0,9	1,02±0,17	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	06/01/2021	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Chair	3,71	11/04/2023	6,2±1,0	1,15±0,19	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	05/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	3,76	10/01/2023	6,4±1,2	1,11±0,21	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	3,62	17/01/2023	6,3±1,1	1,05±0,19	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	4,28	24/10/2022	3,9±0,8	0,64±0,13	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	27/03/2022	Poissons	Vieille Labrus bergylta	Muscle	4,37	24/10/2022	3,8±0,8	0,59±0,13	Frais

Tableau 53 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C _{tot} (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,68	16/11/2022	253,8±2,8	15,44±0,17	61	-19,88	111,2±1,2	Frais
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,30	16/11/2022	277,8±3,1	18,31±0,20	66	-19,7	121,6±1,4	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	05/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,76	10/03/2023	336,6±3,7	39,06±0,43	120	-17,08	146,6±1,6	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2022	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,62	08/11/2023	331±20	38,7±2,3	120	-17,13	144,2±8,7	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/03/2022	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,28	26/08/2022	325±16	36,3±1,8	110	-17,4	141,6±7,0	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	27/03/2022	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i>	Muscle	4,37	27/08/2022	326±16	35,0±1,7	110	-18,04	142,2±7,0	Frais

Tableau 54 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,59	Cendre	29/05/2023	0,71±0,14	0,415	Sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,34	Cendre	29/05/2023	0,72±0,14	0,401	Sec

Tableau 55 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe	Unité
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,59	21/05/2023	≤ 6,8	Bq.kg ⁻¹ sec
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	05/04/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,34	21/05/2023	≤ 6,6	Bq.kg ⁻¹ sec

6. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY

6.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Penly est situé sur le littoral de la Manche à 10 km de Dieppe et 14 km du Tréport (Figure 20 page 122). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Penly est situé "en aval" du CNPE de Flamanville (230 km à vol d'oiseau), de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague (230 km) et du CNPE de Paluel (43 km), et "en amont" du CNPE de Gravelines (130 km). Le CNPE de Penly est équipé de deux tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 1300 MWe, respectivement couplées au réseau en mai 1990 (INB n°136) et février 1992 (INB n°140).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly est présentée sur la Figure 19 page 118. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.

Évènements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement du CNPE

Études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly

- Début des essais nucléaires atmosphériques : 1945
- Mise en service de l'usine de traitement UP2 de la Hague : 1967
- Mise en service du site de stockage de la Manche : 1969
- 6 essais nucléaires aériens chinois : janv.1976 - déc. 1978
- Dernier essai nucléaire aérien chinois : 16 oct.1980
- Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981
- Couplage des tranches 1 à 4 du CNPE de Paluel juin 1984 à avril 1986
- Accident de Tchernobyl : 26 avril 1986
- Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990
- Couplage tranche 1 : mai 1990**
- Couplage tranche 2 : février 1992**
- Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994
- Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994
- Accident de Fukushima : 11 mars 2011

1985-1986	État de référence
1988	Réactualisation
1991	Étude de la radioactivité des moules
1992	Bilan bibliographique + Suivi annuel
1993-1999	Suivis annuels
2000	Suivi annuel + Bilan décennal
2001-2010	Suivis annuels
2011	Suivi annuel + Bilan décennal
2012-2020	Suivis annuels
2021	Suivi annuel + Bilan décennal
2022	Suivi annuel

Figure 19 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly.

6.2. État radiologique de l'environnement terrestre

6.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 20 page 122. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 56 page 120 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique du sol de pâturage échantillonné sont présentées dans le Tableau 69 page 147. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation des dépôts atmosphériques. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région, à savoir l'élevage laitier et le maraîchage. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants. Une production agricole est prélevée hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur ouest-sud-ouest à sud-sud-ouest. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE (ZI) se trouve ainsi dans le secteur sud-est à nord-est ou en zone proche (Petit-Caux, Penly et Petit-Caux, Guilmécourt). La zone terrestre hors vents dominants (ZNI) est située dans le secteur sud (Petit-Caux, Glicourt).

En 2022, l'IRSN n'a rencontré aucune difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly.

En outre, l'herbe fait l'objet de quatre mesures de ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022.

Tableau 56 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais /Sec	Sec/ Cendres
3,79 km SE	Penly - Zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	01,23697	49,94655	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	Gamma (Cendre)	15,59	6,63
3,79 km SE	Penly - Zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	01,23697	49,94655	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	15,56	-
3,79 km SE	Penly - Zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	01,23697	49,94655	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	C élémentaire (Sec)	15,56	-
3,79 km SE	Penly - Zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	01,23697	49,94655	Légumes	Salade	Parties aériennes	02/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	15,56	-
1,18 km E	Penly - Zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	01,22750	49,97544	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	21/03/2022	Gamma (Cendre)	4,55	4,98
1,18 km E	Penly - Zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	01,22750	49,97544	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	21/03/2022	H-3 lié (Sec)	4,74	-
1,18 km E	Penly - Zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	01,22750	49,97544	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	21/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,74	-
1,18 km E	Penly - Zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	01,22750	49,97544	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	21/03/2022	H-3 libre (Liquide)	4,74	-
1,18 km ENE	Penly - Zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	01,22411	49,98245	Mousses terricoles	Mousse non identifiée	Entier	21/03/2022	Gamma (Frais)	1,17	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Gamma (Cendre)	7,89	16,39
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	C élémentaire (Sec)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	H-3 lié (Sec)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	02/08/2022	H-3 libre (Liquide)	8,01	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	01/08/2022	Gamma (Sec)	1,10	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	01/08/2022	Granulométrie (Sec)	1,10	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm Strate 0-5 cm	01/08/2022	MO après combustion (Sec)	1,10	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	Gamma (Cendre)	16,29	6,48
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	16,88	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	C élémentaire (Sec)	16,88	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	16,88	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	H-3 lié (Sec)	16,88	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	16,88	-
6,96 km E	Penly - Zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Légumes	Salade	Parties aériennes	01/08/2022	H-3 libre (Liquide)	16,88	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais / Sec	Sec/ Cendres
6,96 km E	Penly - Eau phréatique hors aval hydraulique	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Eaux boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	02/08/2022	H-3 libre (Liquide)	-	-

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique



Figure 20 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres⁹ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

⁹ Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert foncé : stations sous les vents dominants (ZI). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

6.2.2. Résultats et interprétation

6.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 70 page 148.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Penly est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols, les végétaux et le lait, représentée par le ^{40}K et, dans une moindre mesure, par les familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K , en fils du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 23, 24]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques.

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du tableau 71 page 149.

Le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié dans le sol et le lait est le ^{137}Cs . En revanche, ce radionucléide n'est pas quantifiable dans les salades, l'herbe et la mousse terrestre. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly en 2022 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 58 à Tableau 63, pages 135 et suivantes ; et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** page **Erreur ! Signet non défini.**) et aux niveaux de bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. Les activités γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents liquide du CNPE.

6.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 72 page 150 et du Tableau 73 page 150, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est proche du seuil de décision ($0,7 \pm 0,6 \text{ Bq.L}^{-1}$). Les activités en tritium libre et/ou organiquement lié sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local ($0,5$ à 2 Bq.L^{-1} ED pour l'HTO et $0,34$ à $1,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade, l'herbe et le lait. Les activités mesurées ne mettent pas en évidence d'apport local en champ proche du CNPE de Penly.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 74 page 151.

L'activité en ^{14}C dans le lait et les salades échantillonnées en 2022 sous les vents et hors vents du CNPE (223 ± 11 à 232 ± 11 Bq.kg $^{-1}$ C), est proche du bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (222 ± 7 Bq.kg $^{-1}$ C d'après [3]). Les prélèvements d'herbe collectés à l'occasion de la surveillance trimestrielle de l'année 2021 étaient pour l'essentiel en accord avec le bruit de fond de l'année. En revanche, l'activité de celui collecté en octobre 2021 était la plus élevée et se plaçait dans la partie la haute du bruit de fond.

6.3. État radiologique de l'environnement aquatique

6.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 21 page 129. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 57 pages 126 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 75 page 152. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments et d'algues ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons, de crustacés et de mollusques (bulots, et exceptionnellement, coquilles Saint-Jacques pour le bilan décennal du site) ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés (port de Dieppe et du Tréport). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, le fort régime hydrodynamique le long de la côte d'Albâtre ne permet pas la sédimentation des particules les plus fines (limons et argiles) autour du CNPE de Penly hormis dans les ports (cas de Dieppe et du Tréport). Ainsi, à la station de Petit-Caux (Penly Digue Nord), seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

La circulation générale des masses d'eaux le long du littoral Cauchois assure la dispersion des effluents liquides vers le nord-est en direction de la mer du Nord. En vives-eaux et en mortes-eaux, la tache thermique, qui peut être assimilée à la zone d'influence des rejets d'effluents liquides du site, est contenue dans un cercle de 5 km de rayon environ. L'échauffement à la station de rejet est évident en vives-eaux et en mortes-eaux (supérieur à +3°C ; [29, 30]).

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local, dominé par des courants parallèles au trait de côte le long de la côte d'Albâtre et globalement orientés d'ouest en est. La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. A Penly, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au sud-ouest, au nord-ouest et au nord-est du CNPE, de Berneval au Tréport. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. A Penly, le champ lointain désigne les stations situées au-delà d'une dizaine de kilomètres en « amont » du CNPE au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche [1, 2], à l'ouest de Dieppe (Dieppe et Sainte-Marguerite-sur-Mer).

En 2022, concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme auparavant, les analyses sur les crustacés ont été réalisées sur l'animal entier pour ce qui est de la spectrométrie gamma, et sur la chair du corps et des pinces qui a été décortiquée pour la recherche du tritium organiquement lié. De plus, comme depuis 2018, pour des raisons de sécurité, les prélèvements de sédiment, d'algues et de mollusques (patelles) habituellement effectués à Sainte-Marguerite-sur-Mer en champ lointain, ont dû être annulés. Ils ont été remplacés par des prélèvements effectués à Dieppe (sédiment et algues) et au large de Sainte-Marguerite-sur-Mer (mollusques : patelles remplacées par des bulots). L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Penly.

Tableau 57 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Gamma (Cendre)	5,90	3,78
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Gamma (Frais)	5,90	3,78
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	C élémentaire (Sec)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	H-3 lié (Sec)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	H-3 libre (Liquide)	5,63	-
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,90	3,78
10,38 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08599	49,92857	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	22/03/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,90	3,78
10,39 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08581	49,92864	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Gamma (Sec)	1,69	-
10,39 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08581	49,92864	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Granulométrie (Sec)	1,69	-
10,39 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08581	49,92864	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	MO après combustion (Sec)	1,69	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	14/03/2022	Gamma (Cendre)	2,32	1,76
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	14/03/2022	H-3 lié (Sec)	3,59	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	14/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,59	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	Gamma (Cendre)	4,32	8,80
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,39	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	C élémentaire (Sec)	4,39	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,39	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	H-3 lié (Sec)	4,39	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	22/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,39	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	Gamma (Cendre)	3,89	18,15
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	3,93	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	C élémentaire (Sec)	3,93	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,93	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	H-3 lié (Sec)	3,93	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,93	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Entier	25/04/2022	Gamma (Cendre)	2,32	1,83
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	25/04/2022	H-3 lié (Sec)	3,88	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer <i>Maja brachydactyla</i>	Chair	25/04/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,88	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	Gamma (Cendre)	3,83	9,85
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	3,80	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	C élémentaire (Sec)	3,80	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,80	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	H-3 lié (Sec)	3,80	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	01/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,80	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	Gamma (Cendre)	4,65	16,41
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,54	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	C élémentaire (Sec)	4,54	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,54	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	H-3 lié (Sec)	4,54	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	20/06/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,54	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Gamma (Cendre)	4,22	3,67
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Gamma (Frais)	4,22	3,67
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	C élémentaire (Sec)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	H-3 lié (Sec)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	H-3 libre (Liquide)	5,50	-
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	4,22	3,67
1,82 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	4,22	3,67
1,68 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Gamma (Sec)	1,35	-
1,68 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Granulométrie (Sec)	1,35	-
1,68 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux	01,22593	49,98928	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	MO après combustion (Sec)	1,35	-
15,03 km	Penly - Champ proche	Le Tréport	01,37051	50,06410	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Gamma (Sec)	1,86	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
15,03 km	Penly - Champ proche	Le Tréport	01,37051	50,06410	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	Granulométrie (Sec)	1,86	-
15,03 km	Penly - Champ proche	Le Tréport	01,37051	50,06410	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/03/2022	MO après combustion (Sec)	1,86	-
15,08 km	Penly - Champ proche	Le Tréport	01,37153	50,06408	Algues brunes	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	22/03/2022	Gamma (Cendre)	5,88	4,20

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE



Figure 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines¹⁰ échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

¹⁰ Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d’effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d’effluents liquides du CNPE (CL). Les anciens noms des stations (jusqu’en 2018) sont indiqués en italique lorsqu’ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

6.3.2. Résultats et interprétation

6.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 76 page 153.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Penly est qualitativement et quantitativement équivalente à celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Le ^7Be est détecté dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée, les algues et les sédiments ; à des teneurs élevées dans les algues du fait de leur capacité à capter les aérosols, et dans les sédiments fins, aptes à retenir les radionucléides.

L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 77 page 154.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co , à ^{241}Am et à $^{108\text{m}}\text{Ag}$. Le ^{137}Cs est quantifié dans tous les échantillons, hormis les crustacés. Le ^{60}Co est détecté dans les sédiments fins échantillonnés en champ proche et lointain du CNPE de Penly. ^{241}Am est détecté dans les crustacés échantillonnés en champ proche du CNPE de Penly ainsi que dans les 2 sédiments fins échantillonnés. $^{108\text{m}}\text{Ag}$ est détecté dans les bulots échantillonnés en champ proche et lointain du CNPE de Penly. ^{131}I recherché dans les algues échantillonnées en champ proche et lointain du CNPE de Penly n'y est pas détecté ($\leq 0,89 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2022 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Penly (Tableau 64 à Tableau 68, pages 141 et suivantes ; et Figure 22 et Figure 23 pages 132 et 133), avec des valeurs comparables en champ proche et en champ lointain. Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et du CNPE de Paluel, en « amont » du CNPE de Penly) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Penly sur l'environnement marin (hormis pour le ^{241}Am , spécifique des rejets d'ORANO).

6.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 78 page 155 et du Tableau 79 page 155, respectivement.

Les activités en tritium libre et organiquement lié dans les Fucus correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L^{-1} , et comprises entre 3,7 et $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités sont comparables en champ proche et en champ lointain. Dans les araignées de mer, les bulots et les bars, les activités en tritium organiquement lié sont également comparables en champ proche et en champ lointain ($5,3 \pm 0,9$ à $7,6 \pm 1,0 \text{ Bq.L}^{-1} \text{ EC}$). Les activités en champ proche dans les bulots

et les bars sont en revanche supérieures au bruit de fond, et témoignent d'un marquage par le tritium en champ proche du CNPE de Penly, sans que la contribution des rejets du site ne puisse être démontrée. Ces observations sont cohérentes avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, et témoignent de l'absence de marquage spécifique par le tritium attribuable aux rejets du CNPE.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 80 page 156.

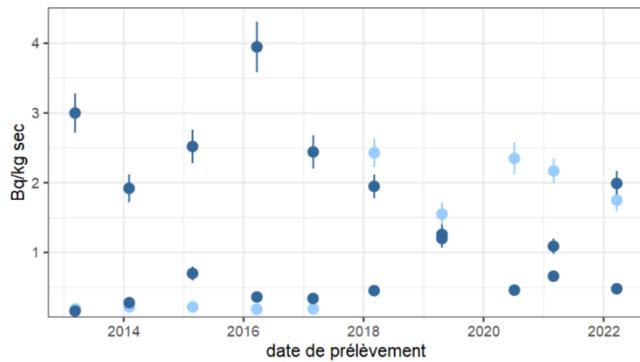
L'activité en ^{14}C mesurée au sein des algues, des bulots et des poissons échantillonnés en champ proche et en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly est supérieure au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche ($233\pm 5 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en 2021 d'après nos mesures et d'après [3]), hormis pour les algues échantillonnées en champ lointain ($231,0\pm 2,6 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ de C}$). Les activités mesurées sont cependant cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [27], et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague [3]. Ce marquage en ^{14}C est plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly pour les algues échantillonnées en 2022.

Nickel 63 et Fer 55

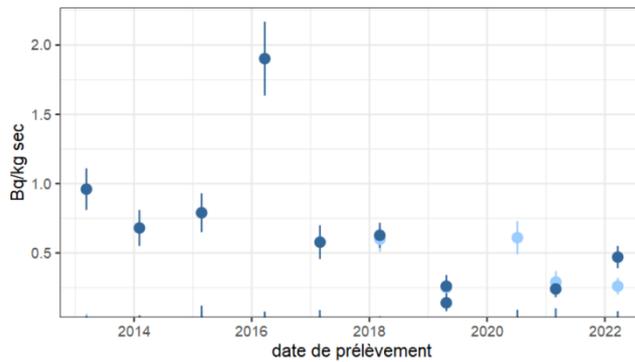
Les résultats d'analyse des activités en ^{63}Ni et en ^{55}Fe dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 81 et du Tableau 82 page 157, respectivement.

Le ^{63}Ni est détectable dans les algues échantillonnées en champ proche et lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly, avec une activité supérieure en champ proche du CNPE. Son origine est potentiellement double, avec une contribution possible à la fois des rejets des CNPE et des rejets de l'usine ORANO La Hague. Les activités mesurées dans l'environnement du CNPE de Penly sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues.

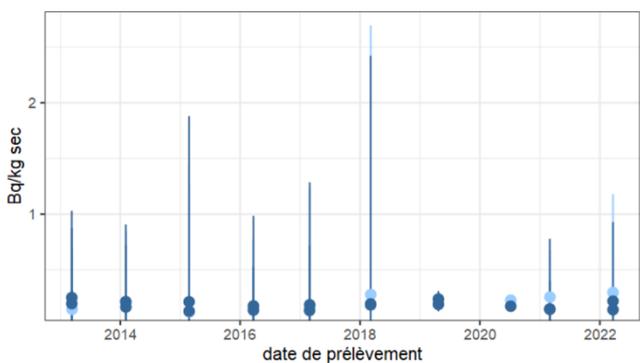
Le ^{55}Fe , recherché dans les algues, n'y est pas décelable en 2022. La technique de mesure du ^{55}Fe fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents bilans décennaux des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.



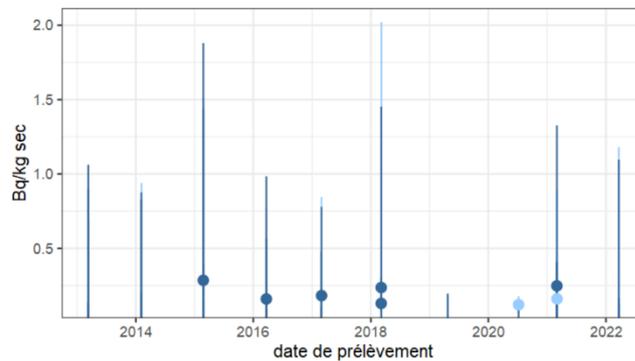
Cs-137 - Sédiments



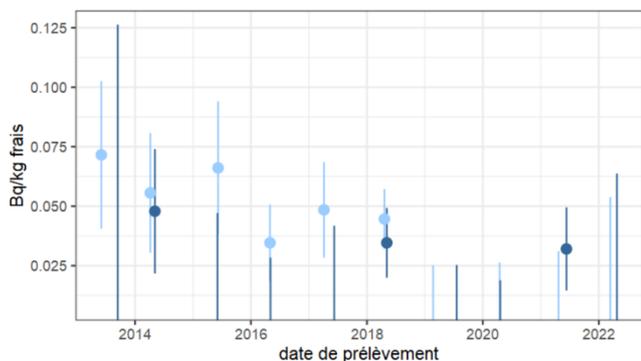
Co-60 - Sédiments



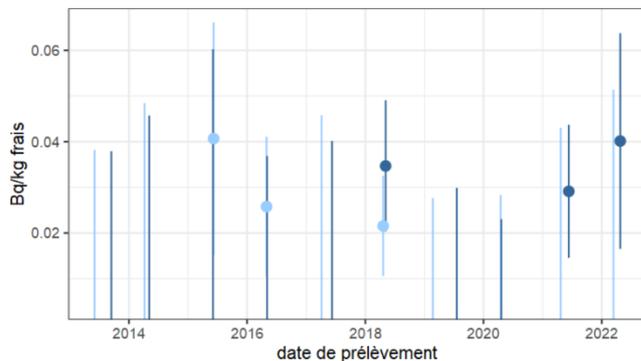
Cs-137 - Algues



Co-60 - Algues



Cs-137 - Crustacés aquatiques



Am-241 - Crustacés aquatiques

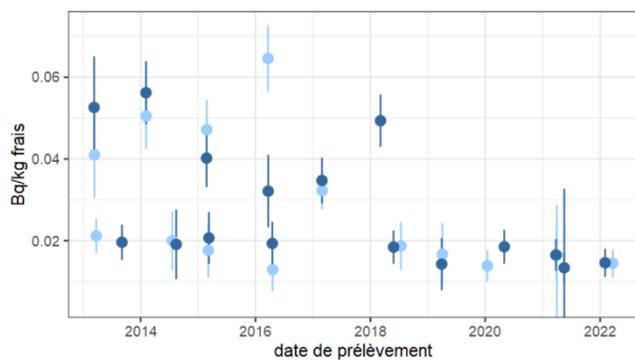
Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :



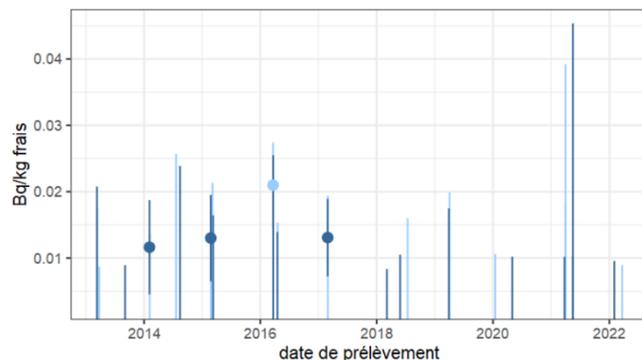
Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

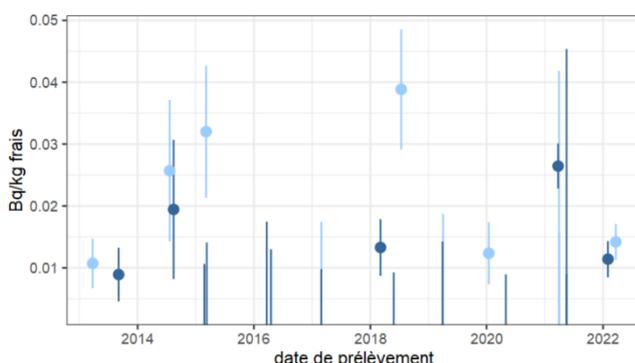
Figure 22 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments, des algues et des crustacés échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Penly.



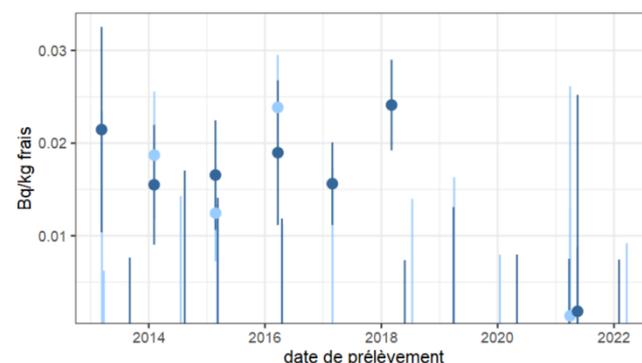
Cs-137 - Mollusques aquatiques



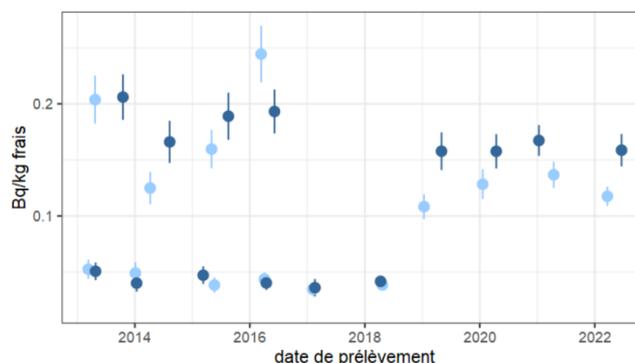
Co-60 - Mollusques aquatiques



Ag-108m - Mollusques aquatiques



Am-241 - Mollusques aquatiques



Cs-137 - Poissons

Figure 23 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Penly.

6.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2022 dans l'environnement du CNPE de Penly sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du sol et du lait est exclusivement imputable au ^{137}Cs , sans que la contribution des rejets du site ne soit mesurée. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la Normandie. Les activités en tritium libre et lié ne mettent pas en évidence de marquage spécifique lié aux activités du CNPE. L'activité en ^{14}C dans le lait et les salades en champ proche, est comparable au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]).

En 2022, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Penly révèlent principalement la présence de ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (sédiments), l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$ (mollusques) et l' ^{241}Am (sédiments et crustacés) sont également quantifiés, en champ lointain et proche, sans différence significative entre le champ proche et le champ lointain. Le ^{60}Co quantifié dans les matrices marines a une triple origine potentielle : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Penly, voire ceux du CNPE de Paluel distant de 43 km. L' ^{241}Am quant à lui est présent uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague. L' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, est uniquement quantifié dans les bulots en champ proche et en champ lointain, sans que son origine ne soit clairement établie. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Penly, notamment dans les produits de consommation (mollusques, arthropode et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont comparables en champ proche et lointain en 2022, et sont dans la gamme des valeurs attendues considérant les niveaux d'activité mesurables dans l'eau de mer principalement liés à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO et sont. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], avec un marquage plus prononcé au voisinage du point des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly dans les algues.

6.5. Tableaux de résultats

Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	6,9 km	6,9 km	7,0 km	3,8 et 7,0 km	7,0 km				
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	6,0 (1/1)	5,5 (1/1)	5,4 (1/1)	2,8 (1/1)	4,6 (1/1)	3,8 (1/1)	3,5 (1/1)	3,0 (1/1)	2,45-5,69 (4/4)	2,83 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	-	-							

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 59 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses et lichens collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2021		2022	
Fraction	Entier																	
Chronique	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)	Penly - zone hors vents dominants (>5 km)	Penly - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																		
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	2,83 (1/1)	0,69-3,34 (2/2)	3,44 (1/1)	1,49 (1/2)	2,20 (1/1)	0,76 (1/2)	1,39 (1/1)	0,76 (1/2)	1,56 (1/1)	1,53 (1/2)	1,11 (1/1)	1,47 (1/1)	0,55 (1/1)	0,25 (1/1)	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Espèces concernées : *Eurhynchium species*, Mousse terrestre, *Polytric*, *Polytric formosum*, Ramaline des Rochers

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 60 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	7 km	7 km	0,8 et 7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	1,2 km	1,2 et 3,8 km	1,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹³⁷ Cs	0,1 (1/1)	0,1 (1/1)	0,07 (1/1)	-	-	0,09 (1/1)	0,04 (1/1)	n.a.	0,275-0,451 (2/2)	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	3,9 (1/1)	1,7-7,6 (2/2)	3,2 (1/1)	1,2 (1/1)	2,0 (1/1)	3,3 (1/1)	0,7-2,5 (2/2)	1,5 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,3 (1/1)	1,4 (1/1)	1,5 (1/1)	2,1 (1/1)	1,7-2,2 (2/2)	2,1 (1/1)
¹⁴ C	233 (1/1)	230 (1/1)	212-238 (5/5)	222-247 (5/5)	227-242 (5/5)	224-246 (4/4)	232-239 (4/4)	233-243 (4/4)	223,2-255 (5/5)	222-232 (3/3)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 61 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 6,9 km	3,8 et 6,9 km	6,4 km	3,8 et 7,0 km	3,8 et 7,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,2 (1/1)	-	-	-	0,2 (1/2)	0,1-0,2 (2/2)	0,1 (1/2)	-	-	-
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 7 km	3,9 et 6,9 km	3,8 et 6,9 km	6,4 km	3,8 et 7,0 km	3,8 et 7,0 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	n.a.	n.a.	1,0 (1/1)	1,3 (1/1)	1,2 (1/1)	1,5 (1/1)	1,5 (1/1)	-	1,2-1,5 (2/2)	2,3 (1/1)
³ H lié	n.a.	n.a.	3,0 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	2,1 (1/1)	1,2 (1/1)	1,7-2,1 (2/2)	1,9 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	224-228 (2/2)	238-244 (2/2)	228-235 (2/2)	238-241 (2/2)	225-245 (2/2)	227 (1/1)	224-236 (2/2)	223-230 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 62 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	7,0 km	5,2 et 7,0 km	7,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹³⁷ Cs	0,01 (1/1)	-	0,005 (1/1)	0,005 (1/1)	-	-	0,003 (1/1)	n.a.	0,0054 (1/2)	0,0038 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.
Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	7,0 km	5,2 et 7,0 km	7,0 km
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)										
³ H libre	0,7 (1/1)	1,0 (1/1)	-	1,0 (1/1)	1,0 (1/1)	0,9 (1/1)	0,9 (1/1)	0,7 (1/1)	0,7-1,0 (2/2)	-
³ H lié	1,5 (1/1)	1,5 (1/1)	1,7 (1/1)	3,2 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,3 (1/1)	n.a.	1,0-1,3 (2/2)	0,9 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	228-231 (4/4)	228-235 (4/4)	238 (1/1)	237 (1/1)	230 (1/1)	244 (1/1)	224,0-237 (2/2)	232 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 63 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	7 km	6,9 km	6,9 km	-	7,0 km	7,0 km				
Émetteurs β (^3H libre : Bq.L ⁻¹)										
^3H libre	-	-	-	-	0,9 (1/1)	-	0,8 (1/1)	n.a.	-	0,7 (1/1)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 64 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Fraction	≤ 2 mm		Produits de tamisage																	
Chronique	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,19 (1/1)	0,16-3 (2/2)	0,22 (1/1)	0,28-1,92 (2/2)	0,22 (1/1)	0,7-2,52 (2/2)	0,185 (1/1)	0,362-3,95 (2/2)	0,192 (1/1)	0,341-2,44 (2/2)	2,43 (1/1)	0,453-1,95 (2/2)	1,55 (1/1)	1,2-1,26 (2/2)	2,35 (1/1)	0,46 (1/1)	2,17 (1/1)	0,66-1,09 (2/2)	1,75 (1/1)	0,48-1,99 (2/2)
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	0,73 (1/1)	0,27-0,52 (2/2)	1,04 (1/1)	0,92 (1/2)														
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	0,96 (1/2)	-	0,68 (1/2)	-	0,79 (1/2)	-	1,90 (1/2)	-	0,58 (1/2)	0,600 (1/1)	0,627 (1/2)	0,25 (1/1)	0,14-0,26 (2/2)	0,61 (1/1)	-	0,29 (1/1)	0,24 (1/2)	0,26 (1/1)	0,47 (1/2)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,7 (1/1)	3,2 (1/1)	n.a.	n.a.	9,7 (1/1)	3,4 (1/1)	n.a.	n.a.								
¹⁴ C	n.a.	n.a.	235,8 (1/1)	329,4 (1/1)	n.a.	n.a.														
⁹⁰ Sr	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.														
⁵⁵ Fe	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.														
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	0,65 (1/1)	0,58 (1/1)	n.a.	n.a.														
<i>Emetteurs alpha (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Fraction	≤ 2 mm		Produits de tamisage																	
Chronique	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	n.a.	n.a.	0,498 (1/1)	0,413 (1/1)	n.a.	n.a.														
²³⁸ Pu	n.a.	n.a.	0,153 (1/1)	0,1302 (1/1)	n.a.	n.a.														
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	0,819 (1/1)	0,716 (1/1)	n.a.	n.a.														

Espèces concernées : Sable de plage, Sédiments

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 65 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 15,0 km	1,9 à 15,1 km	1,8 et 10,4 km	1,7 à 15,0 km	1,8 et 15,1 km				
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,15-0,25 (3/3)	0,17-0,21 (3/3)	0,12-0,21 (3/3)	0,14-0,18 (3/3)	0,14-0,19 (3/3)	0,19-0,28 (3/3)	0,19-0,24 (3/3)	0,17-0,23 (2/2)	0,145-0,255 (3/5)	0,142-0,297 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	0,29 (1/3)	0,16 (1/3)	0,18 (1/3)	0,13-0,24 (2/3)	-	0,12 (1/2)	0,161-0,25 (2/3)	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	2,25 (1/2)	-	1,56 (1/2)	-
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C ; ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ sec)										
³ H libre	n.a.	n.a.	2,4-2,7 (2/2)	3,8-5,1 (2/2)	n.a.	2,5-6,3 (2/2)	4,2-6,2 (2/2)	n.a.	1,7-3,9 (2/2)	2,9-4,1 (2/2)
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,2-6,2 (2/2)	4,8-6,9 (2/2)	n.a.	2,2-3,7 (2/2)	5,0-6,4 (2/2)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	288-305 (2/2)	235-285 (2/2)	n.a.	223,9-288,0 (2/2)	231-289,6 (2/2)
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,414-1,01 (2/2)	0,29-0,76 (2/2)	n.a.	0,357-0,82 (2/2)	0,426-0,76 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 66 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Fraction	Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair		Chair	
Chronique	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,0212-0,041 (2/2)	0,0196-0,053 (2/2)	0,0200-0,0505 (2/2)	0,0191-0,0562 (2/2)	0,0176-0,0472 (2/2)	0,0207-0,0402 (2/2)	0,0129-0,0646 (2/2)	0,0193-0,0321 (2/2)	0,0322 (1/1)	0,0347 (1/1)	0,0187 (1/1)	0,0184-0,0494 (2/2)	0,0167 (1/1)	0,0143 (1/1)	0,0138 (1/1)	0,0185 (1/1)	0,0165 (1/1)	0,0134-0,0165 (2/2)	0,0145 (1/1)	0,0146 (1/1)
²⁴¹ Am	n.a.	0,021 (1/2)	0,0187 (1/2)	0,0155 (1/2)	0,0124 (1/2)	0,0166 (1/2)	0,0238 (1/2)	0,0190 (1/2)	n.a.	0,0156 (1/1)	n.a.	0,0241 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	0,0116 (1/2)	-	0,0130 (1/2)	0,0210 (1/2)	-	-	0,0131 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0128 (1/2)	-	-	-	-	-	0,0165 (1/2)	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{108m} Ag	0,0107 (1/1)	0,0089 (1/1)	0,026 (1/1)	0,019 (1/1)	0,032 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0388 (1/1)	0,0133 (1/2)	n.a.	n.a.	0,0124 (1/1)	n.a.	-	0,0264 (1/2)	0,0142 (1/1)	0,0114 (1/1)
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.kg⁻¹ frais)</i>																				
³ H libre	5,8 (1/1)	5,9 (1/1)	5,6 (1/1)	8,2 (1/1)	3,9 (1/1)	5,3 (1/1)	7,2 (1/1)	7,1 (1/1)	7,62 (1/1)	9,59 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	4 (1/1)	4,6 (1/1)	4,8 (1/1)	5,6 (1/1)	4,1 (1/1)	4,7 (1/1)	6,8 (1/1)	6,7 (1/1)	4,41 (1/1)	6,77 (1/1)	8,9 (1/1)	5,2 (1/1)	5,6 (1/1)	8,5 (1/1)	5,3 (1/1)	6,1 (1/1)	5,2 (1/1)	4,9 (1/1)	6,2 (1/1)	7,6 (1/1)
¹⁴ C	271,7 (1/1)	322,2 (1/1)	269,9 (1/1)	299 (1/1)	267 (1/1)	298 (1/1)	271 (1/1)	293 (1/1)	265 (1/1)	291 (1/1)	382 (1/1)	313 (1/1)	436,4 (1/1)	485,7 (1/1)	n.a.	n.a.	413,1 (1/1)	403 (1/1)	424,2 (1/1)	426 (1/1)
⁵⁵ Fe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.
⁶³ Ni	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	0,0082 (1/1)	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Bulot, Patelle, Coquille Saint-Jacques. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 67 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022															
	Entier	Chair																																
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)																																		
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.					
¹³⁷ Cs	0,072	-	0,056	0,048	0,066	-	0,035	-	n.a.	n.a.	0,048	-	n.a.	n.a.	0,045	0,035	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	0,032	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.			
	(1/1)		(1/1)	(1/1)	(1/1)		(1/1)				(1/1)			(1/1)	(1/1)									(1/1)										
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,041	n.a.	0,026	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,022	0,035	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,029	n.a.	n.a.	-	0,040	n.a.	n.a.				
					(1/1)		(1/1)						(1/1)	(1/1)									(1/1)				(1/1)							
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	0,050	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.
																	(1/1)																	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.	
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.																			
Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)																																		
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,8	5,7	n.a.	n.a.	3,1	5,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.									
					(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)																								
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,4	5,6	n.a.	n.a.	4,78	4,88	n.a.	n.a.	4,16	4,31	n.a.	n.a.	4,6	4,5	n.a.	n.a.	4,5	5,6	n.a.	n.a.	3,8	3,2	n.a.	n.a.	6,0	5,5	
								(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)			(1/1)	(1/1)	

Espèces concernées : Araignée de mer. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. Penly - champ lointain : blanc, Penly - champ proche : gris foncé

Tableau 68 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Fraction	Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle		Muscle	
Chronique	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche	Penly - champ lointain	Penly - champ proche
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,0525-0,204 (2/2)	0,0507-0,206 (2/2)	0,0492-0,125 (2/2)	0,0401-0,166 (2/2)	0,0384-0,160 (2/2)	0,0472-0,189 (2/2)	0,0437-0,244 (2/2)	0,0403-0,193 (2/2)	0,0348 (1/1)	0,0361 (1/1)	0,0385 (1/1)	0,0417 (1/1)	0,108 (1/1)	0,158 (1/1)	0,128 (1/1)	0,158 (1/1)	0,137 (1/1)	0,167 (1/1)	0,1176 (1/1)	0,159 (1/1)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-	n.a.	n.a.										
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>																				
³ H libre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7 (1/1)	5,8 (1/1)	6,5 (1/1)	8,7 (1/1)	n.a.	n.a.										
³ H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,4 (1/1)	4,8 (1/1)	3,68 (1/1)	5,5 (1/1)	4,85 (1/1)	4,86 (1/1)	4,14 (1/1)	3,76 (1/1)	4,5 (1/1)	7,2 (1/1)	4,5 (1/1)	7,1 (1/1)	4,1 (1/1)	3,2 (1/1)	5,3 (1/1)	7,2 (1/1)
¹⁴ C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	321 (1/1)	349 (1/1)	513 (1/1)	342 (1/1)	489 (1/1)	440 (1/1)	412 (1/1)	408 (1/1)	334 (1/1)	351 (1/1)	298 (1/1)	358 (1/1)	332 (1/1)	326 (1/1)	362 (1/1)	342 (1/1)

Espèces concernées : Bar ou Loup, Sole

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 69 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,10	Matière organique	8,2±0,3
									Argile (< 2µm)	16,7±0,1
									Limons fins	16,3±0,8
									Limons grossiers	40,3±1,8
									Sables fins	25,0±1,0
									Sables grossiers	1,7±0,5

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique

Tableau 70 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de l' ^{238}U			^7Be	Unité
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb		
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,10	11/10/2022	399 \pm 27	31,5 \pm 3,4	35 \pm 6	28 \pm 10	48 \pm 14	$\leq 2,5$	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	16,29	19/10/2022	1 820 \pm 140	$\leq 0,63$	$\leq 1,5$	≤ 19	3,5 \pm 1,1	25,4 \pm 2,5	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	15,59	28/11/2022	1 430 \pm 120	0,83 \pm 0,24	$\leq 1,1$	≤ 14	3,92 \pm 0,90	40,3 \pm 3,5	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	4,55	13/07/2022	1 710 \pm 120	2,31 \pm 0,22	$\leq 1,0$	≤ 14	31,7 \pm 4,0	263 \pm 20	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Mousses terrestres	Mousse	Entier	Frais	1,17	25/03/2022	117 \pm 19	$\leq 3,2$	n.a.	n.a.	n.a.	286 \pm 19	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	7,89	19/10/2022	43,8 \pm 3,3	$\leq 0,018$	n.a.	$\leq 0,54$	$\leq 0,046$	$\leq 0,054$	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé.

Tableau 71 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{134}Cs	^{137}Cs	^{58}Co	^{60}Co	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{54}Mn	^{124}Sb	^{125}Sb	$^{131}\text{I}^*$	Unité
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,10	11/10/2022	$\leq 0,14$	$2,83 \pm 0,23$	$\leq 0,25$	$\leq 0,15$	$\leq 0,19$	$\leq 0,19$	$\leq 0,28$	$\leq 0,39$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	16,29	19/10/2022	$\leq 0,12$	$\leq 0,12$	$\leq 0,28$	$\leq 0,20$	$\leq 0,19$	$\leq 0,15$	$\leq 0,26$	$\leq 0,29$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	15,59	28/11/2022	$\leq 0,090$	$\leq 0,075$	$\leq 0,29$	$\leq 0,14$	$\leq 0,15$	$\leq 0,12$	$\leq 0,29$	$\leq 0,20$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	Cendre	4,55	13/07/2022	$\leq 0,096$	$\leq 0,088$	$\leq 0,28$	$\leq 0,14$	$\leq 0,14$	$\leq 0,12$	$\leq 0,30$	$\leq 0,22$	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Mousses terrestres	Mousse	Entier	Frais	1,17	25/03/2022	$\leq 0,70$	$\leq 0,82$	$\leq 0,70$	$\leq 0,82$	$\leq 0,70$	$\leq 0,82$	$\leq 0,70$	$\leq 1,5$	$\leq 0,82$	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Cendre	7,89	19/10/2022	$\leq 0,0036$	$0,0038 \pm 0,0020$	$\leq 0,0077$	$\leq 0,0054$	$\leq 0,0054$	$\leq 0,0039$	$\leq 0,0077$	$\leq 0,0085$	n.a.	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l' ^{131}I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 72 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	16,88	20/12/2022	2,3±0,9	2,16±0,85	Frais
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,74	13/07/2022	1,5±0,8	1,18±0,63	Frais
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	03/08/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,01	20/12/2022	≤ 0,80	≤ 0,70	Liquide
Penly - Eau phréatique hors aval hydraulique	Petit-Caux, Guilmécourt	02/08/2022	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	05/10/2022	0,7±0,6	0,7±0,6	Liquide

Tableau 73 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	16,88	12/01/2023	1,9±0,8	0,054±0,023	Frais
Penly - zone sous les vents (<5 km)	Petit-Caux, Penly	21/03/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	4,74	23/11/2022	2,1±1,1	0,24±0,13	Frais
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	03/08/2021	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,01	12/01/2023	0,9±0,7	0,079±0,062	Liquide

Tableau 74 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou sec ou Bq.L ⁻¹ d'ECH)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou sec ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	01/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	16,88	25/06/2023	230±11	5,66±0,27	25	-28,4	102,5±4,9	Frais
Penly - zone hors vents dominants (<5 km)	Petit-Caux, Glicourt	02/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	15,56	03/06/2023	223±11	5,70±0,28	26	-28,88	99,4±4,9	Frais
Penly - zone sous les vents (>5 km)	Petit-Caux, Guilmécourt	02/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,01	25/06/2023	232±11	14,41±0,68	62	-25,37	102,7±4,9	Liquide

Tableau 75 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,35	Matière organique	0,2±0,2
									Argiles (<2µm)	3,1±0,3
									Limons Fins	0,1±0,1
									Limons Grossiers	0,4±0,2
									Sables Fins	66,1±1,8
									Sables Grossiers	30,3±1,1
Penly - champ proche	Le Tréport	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,86	Matière organique	1,9±0,5
									Argile (< 2µm)	23,9±0,9
									Limons fins	25,3±1,1
									Limons grossiers	21,4±1,1
									Sables fins	27,9±1,1
									Sables grossiers	1,5±0,5
Penly - Champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,69	Matière organique	1,8±0,4
									Argile (< 2µm)	18,4±0,8
									Limons fins	17,9±0,8
									Limons grossiers	31,4±1,5
									Sables fins	31,3±1,1
									Sables grossiers	1,0±0,5

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Tableau 76 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,35	20/07/2022	137±10	3,21±0,48	5,5±1,1	≤ 9,0	15,7±3,5	3,6±1,4	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Le Tréport	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,86	11/10/2022	203±14	12,1±1,5	16,7±2,8	≤ 14	46±9	≤ 11	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,69	21/07/2022	231±17	13,8±1,6	21±3,4	25±7	40±9	25,9±2,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,22	23/03/2022	1 261±51	≤ 4,2	n.a.	n.a.	n.a.	10,5±5,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,22	12/07/2022	1 254±95	4,79±0,41	6,18±0,71	≤ 16	2,15±0,93	7,6±1,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Le Tréport	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,88	26/07/2022	1 113±86	3,73±0,52	2,83±0,74	≤ 12	1,62±0,81	6,7±1,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	5,90	24/03/2022	1 086±53	≤ 4,7	n.a.	n.a.	n.a.	≤ 7,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,90	21/07/2022	1 139±87	4,64±0,40	3,42±0,87	≤ 16	3,2±1,1	9,0±1,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	25/04/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,32	28/11/2022	53,1±4,5	1,09±0,21	≤ 0,68	≤ 4,2	1,30±0,38	≤ 3,8	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	14/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,32	29/11/2022	44,5±3,9	0,95±0,24	≤ 0,56	≤ 10	0,98±0,42	≤ 9,8	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/02/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,83	18/11/2022	107,2±9,0	≤ 0,027	0,194±0,042	≤ 0,88	0,215±0,058	≤ 1,6	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	4,32	29/07/2022	111,4±8,9	≤ 0,026	0,187±0,050	≤ 1,1	0,231±0,068	≤ 0,21	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/06/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	4,65	21/11/2022	119,3±9,2	≤ 0,045	≤ 0,10	≤ 1,4	≤ 0,12	≤ 0,39	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	3,89	29/07/2022	121,8±9,9	≤ 0,023	≤ 0,062	≤ 0,71	≤ 0,085	≤ 0,17	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 77 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁷ Co	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	²⁴¹ Am	¹⁰⁶ Ru/Rh	^{108m} Ag	¹³¹ I*	Unité
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,35	20/07/2022	≤ 0,070	0,48±0,07	≤ 0,060	≤ 0,21	≤ 0,080	≤ 0,100	≤ 0,080	≤ 0,23	≤ 0,19	≤ 0,17	≤ 0,80	≤ 0,080	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Le Tréport	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,86	11/10/2022	≤ 0,12	1,99±0,18	≤ 0,12	≤ 0,70	0,47±0,08	≤ 0,21	≤ 0,16	≤ 1,0	≤ 0,33	0,92±0,14	≤ 1,4	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,69	21/07/2022	≤ 0,100	1,75±0,16	≤ 0,090	≤ 0,28	0,26±0,06	≤ 0,15	≤ 0,14	≤ 0,33	≤ 0,29	1,04±0,21	≤ 1,1	≤ 0,11	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Frais	4,22	23/03/2022	≤ 0,72	≤ 0,93	≤ 0,38	≤ 0,89	≤ 1,1	≤ 0,76	≤ 0,89	≤ 0,72	≤ 2,1	n.a.	≤ 7,2	n.a.	≤ 0,67	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,22	12/07/2022	≤ 0,11	0,142±0,060	≤ 0,057	≤ 0,35	≤ 0,13	≤ 0,16	≤ 0,14	≤ 0,30	≤ 0,24	≤ 0,14	≤ 1,2	≤ 0,14	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Le Tréport	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	5,88	26/07/2022	≤ 0,088	0,219±0,055	≤ 0,050	≤ 0,31	≤ 0,17	≤ 0,14	≤ 0,12	≤ 0,31	≤ 0,21	≤ 0,12	≤ 1,0	≤ 0,12	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	5,90	24/03/2022	≤ 0,83	≤ 1,2	≤ 0,47	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 0,89	≤ 1,1	≤ 0,89	≤ 2,4	n.a.	≤ 8,3	n.a.	≤ 0,89	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,90	21/07/2022	≤ 0,11	0,297±0,034	≤ 0,069	≤ 0,37	≤ 0,16	≤ 0,19	≤ 0,16	≤ 0,37	≤ 0,29	≤ 0,16	≤ 1,3	≤ 0,16	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	25/04/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,32	28/11/2022	≤ 0,045	≤ 0,064	≤ 0,024	≤ 0,31	≤ 0,052	≤ 0,083	≤ 0,059	≤ 0,40	≤ 0,10	0,040±0,024	≤ 0,57	≤ 0,054	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	14/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Entier	Cendre	2,32	29/11/2022	≤ 0,064	≤ 0,054	≤ 0,044	≤ 0,59	≤ 0,059	≤ 0,12	≤ 0,078	≤ 0,95	≤ 0,15	≤ 0,051	≤ 0,76	≤ 0,073	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/02/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	3,83	18/11/2022	≤ 0,0069	0,0146±0,0034	≤ 0,0048	≤ 0,098	≤ 0,0095	≤ 0,016	≤ 0,011	≤ 0,13	≤ 0,016	≤ 0,0074	≤ 0,090	0,0114±0,0029	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	Cendre	4,32	29/07/2022	≤ 0,0063	0,0145±0,0034	≤ 0,0042	≤ 0,021	≤ 0,0089	≤ 0,010	≤ 0,0079	≤ 0,024	≤ 0,016	≤ 0,0092	≤ 0,068	0,0142±0,0029	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/06/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	4,65	21/11/2022	≤ 0,0092	0,159±0,014	≤ 0,0055	≤ 0,043	≤ 0,014	≤ 0,017	≤ 0,013	≤ 0,046	≤ 0,024	≤ 0,010	≤ 0,10	≤ 0,012	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	3,89	29/07/2022	≤ 0,0051	0,1176±0,0085	≤ 0,0028	≤ 0,018	≤ 0,0085	≤ 0,0085	≤ 0,0067	≤ 0,018	≤ 0,013	≤ 0,0067	≤ 0,055	≤ 0,0067	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 78 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,50	23/05/2022	4,1±0,9	3,35±0,74	Frais
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,63	23/05/2022	2,9±0,8	2,39±0,66	Frais

Tableau 79 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Penly - champ proche	Petit-Caux	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	5,50	29/09/2022	5±1,3	0,41±0,11	Frais
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,63	04/09/2022	6,4±1,0	0,539±0,090	Frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	25/04/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Chair	3,88	14/05/2023	5,5±1,0	0,97±0,18	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	14/03/2022	Crustacés aquatiques	Araignée de mer Maja brachydactyla	Chair	3,59	22/11/2022	6,0±0,9	1,19±0,18	Frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/02/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	3,80	18/12/2022	7,6±1,0	1,21±0,17	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Mollusques aquatiques	Bulot Buccinum undatum	Chair	4,39	06/10/2022	6,2±0,9	0,81±0,12	Frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/06/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	4,54	18/12/2022	7,2±1,2	1,02±0,17	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	22/03/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	3,93	24/10/2022	5,3±0,9	0,90±0,16	Frais

Tableau 80 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ de C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Penly - champ proche	Penly	22/03/2022	Algues	Fucus <i>Fucus serratus</i>	Entier	5,50	16/11/2022	289,6±3,2	18,14±0,20	63	-19,18	126,7±1,4	Frais
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	5,63	16/11/2022	231±2,6	14,15±0,16	61	-23,77	102,0±1,1	Frais
Penly - champ proche	Saint-Martin-en-Campagne	01/02/2022	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	3,80	09/11/2023	426±26	47,6±2,9	110	-16,69	185±11	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer	22/03/2022	Mollusques aquatiques	Bulot <i>Buccinum undatum</i>	Chair	4,39	22/11/2022	424,2±4,6	39,34±0,43	93	-17,75	185,0±2,0	Frais
Penly - champ proche	Saint-Martin-en-Campagne	20/06/2022	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	4,54	09/05/2023	342±17	35,3±1,8	100	-17,53	149,1±7,4	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer	22/03/2022	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,93	27/08/2022	362±18	44,2±2,2	120	-17,73	157,8±7,8	Frais

Tableau 81 - Activités en ^{63}Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ^{63}Ni	^{63}Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Penly - champ proche	Penly	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	4,22	Cendre	26/10/2022	0,76±0,14	0,422	Sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,90	Cendre	26/10/2022	0,426±0,095	0,362	Sec

Tableau 82 - Activités en ^{55}Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{55}Fe	Unité
Penly - champ proche	Penly	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus serratus	Entier	Cendre	4,22	04/11/2022	≤ 9,3	Bq.kg ⁻¹ sec
Penly - champ lointain	Dieppe	22/03/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,90	04/11/2022	≤ 8,2	Bq.kg ⁻¹ sec

7. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES

7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures

Le CNPE de Gravelines est situé sur le littoral de la mer du Nord, entre Calais et Dunkerque, à 2 km à l'est de Petit-Fort-Philippe et à 3 km au nord de Gravelines, au voisinage de l'avant-port ouest de Dunkerque (Figure 25 page 163). Au regard de la circulation résiduelle générale des masses d'eau en Manche, dont la résultante est orientée vers l'est, le CNPE de Gravelines est situé "en aval" de l'usine de traitement de combustibles usés ORANO La Hague (320 km à vol d'oiseau) et des CNPE de Flamanville (330 km), Paluel (167 km) et Penly (130 km). Le CNPE de Gravelines se compose de six tranches de la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MWe, couplées au réseau en mars et août 1980 (réacteurs 1 et 2 ; INB n° 96), en novembre 1980 et mai 1981 (réacteurs 3 et 4 ; INB n° 97) et en août 1984 et juillet 1985 (réacteurs 5 et 6 ; INB n° 122).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines est présentée sur la Figure 24 page 159. Les références bibliographiques sont présentées en pages 205 et suivantes.

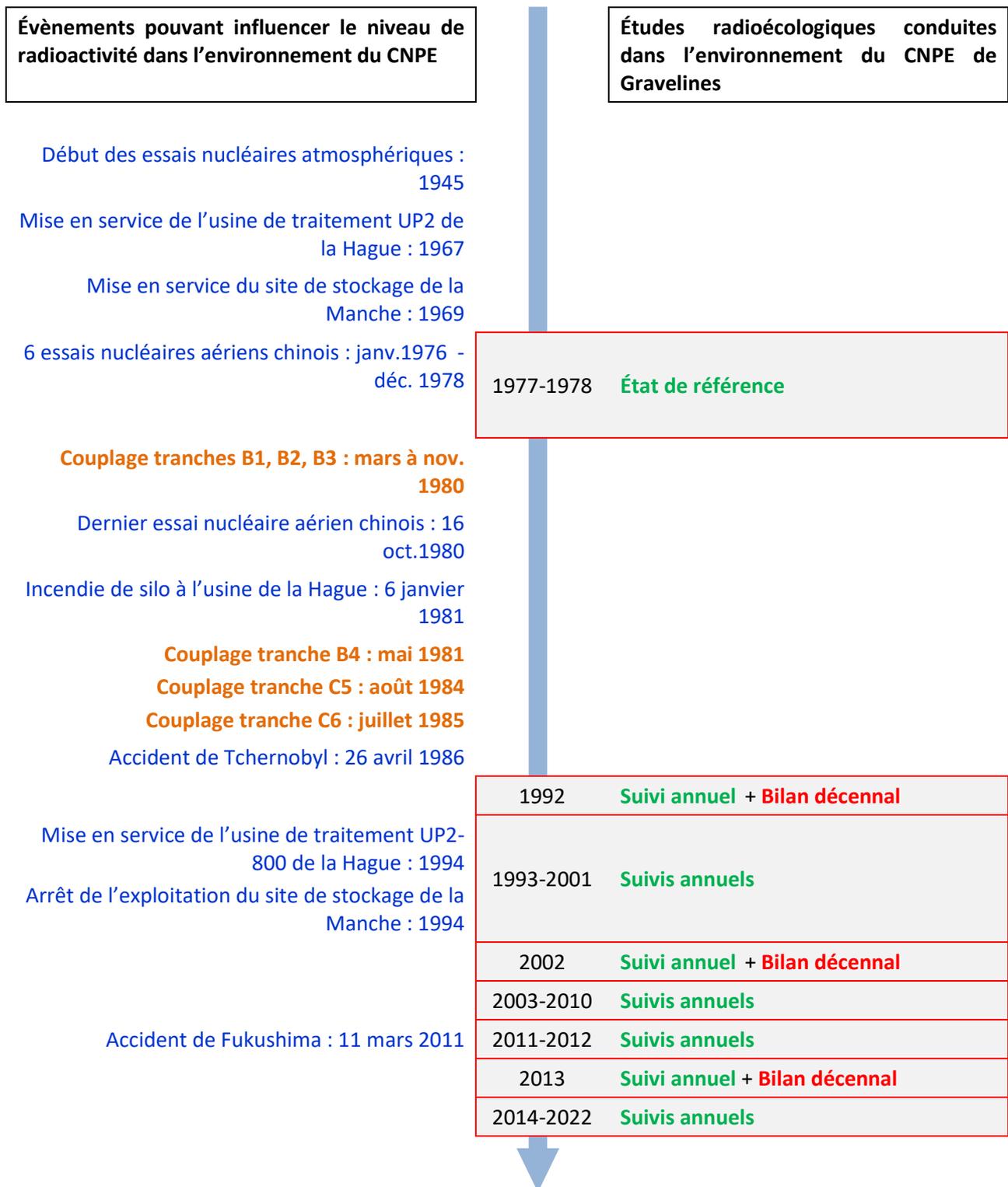


Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

7.2. État radiologique de l'environnement terrestre

7.2.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 25 page 163. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 83 page 161. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sols de pâturage échantillonnés sont présentées dans le Tableau 97 page 188.

Pour l'essentiel, la stratégie de prélèvement et d'analyse est commune à l'ensemble des sites (Annexes). Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les sols échantillonnés sont des sols non cultivés sur lesquels les cultures, pluriannuelles, ne demandent aucun remaniement (pâturages). Ce type de sol est privilégié dans l'objectif de mesurer l'accumulation potentielle des dépôts atmosphériques sur plusieurs années. Les échantillons sont, en dehors des indicateurs végétaux (mousses terricoles, herbe et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme : le lait et des légumes-feuilles comme les salades. Les végétaux cultivés (salade et herbe) sont communs sur l'ensemble du territoire français. Leur cycle végétatif annuel et leur grande surface d'interception en font d'assez bons indicateurs de marquage. De l'eau de boisson et du lait de vache sont collectés, dans la mesure du possible, sur une commune à proximité du site. Dans la stratégie générale, une mousse terricole, une production agricole, un sol de prairie, de l'herbe, un lait et une eau de boisson sont prélevés sous les vents dominants. Du sol de prairie et une production agricole sont prélevés hors vents dominants.

Les stations de prélèvements ont été définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteurs ouest-sud-ouest à sud-sud-ouest portant les effluents atmosphériques en majorité vers la mer. La zone terrestre potentiellement la plus influencée par les rejets d'effluents à l'atmosphère du CNPE (ZI) se trouve majoritairement sous les vents à l'est-nord-est du CNPE (Gravelines AS1, Loon-Plage et Dunkerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud à sud-sud-ouest (Saint-Georges-sur-l'Aa, et Vieille-Eglise).

En 2022, comme cela est régulièrement le cas, l'analyse gamma demandée sur les feuilles de lierre échantillonnées en champ proche du CNPE a été reportée sur de l'herbe prélevée à la même station, du fait de la difficulté de récolter suffisamment de matière pour réaliser une analyse gamma en cendres sur le lierre. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever une des trois salades demandées dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2022. Le lait a été prélevé en ZNI, comme c'est le cas depuis 2015 du fait de l'absence de ferme laitière en ZI. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

En outre, les feuilles de lierre font l'objet de quatre mesures de ^{14}C (une par trimestre) dont les résultats seront présentés dans le rapport simplifié exigé au titre de la réglementation 2022.

Tableau 83 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Gamma (Cendre)	8,27	16,05
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	28,18	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	Gamma (Sec)	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	Granulométrie (Sec)	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13879	50,95220	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	23/08/2022	MO après combustion (Sec)	1,16	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Gamma (Cendre)	19,20	5,54
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	19,14	-
10,56 km SO	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	02,05504	50,93252	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	19,14	-
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	21/02/2022	Gamma (Cendre)	1,45	18,56
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	Gamma (Sec)	1,11	-
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,11	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
1,19 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14682	51,02012	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm State 0-5 cm	21/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,11	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	H-3 lié (Sec)	2,86	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,86	-
1,38 km ENE	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	02,14831	51,02173	Autres végétaux	Lierre commun Hedera helix	Feuilles annuelles	21/02/2022	H-3 libre (Liquide)	2,86	-
4,12 km E	Gravelines - Zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	02,19016	51,02331	Mousses terricoles	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	21/02/2022	Gamma (Frais)	1,15	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Gamma (Cendre)	12,00	4,21
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	C élémentaire (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 lié (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	10,77	-
9,8 km E	Gravelines - Zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	02,27298	51,00794	Légumes	Salade	Parties aériennes	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	10,77	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/Sec	Sec/Cendres
9,8 km E	Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	02,27298	51,00794	Eaux boisson	Eau de boisson	Entier	23/08/2022	H-3 libre (Liquide)	-	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique



7.2.2. Résultats et interprétation

7.2.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 98 page 189.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans les matrices terrestres environnant le CNPE de Gravelines est du même ordre de grandeur que celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. La radioactivité d'origine naturelle présente une composante tellurique prépondérante dans les sols et les végétaux. Elle est liée principalement à la présence de ^{40}K et, dans une moindre mesure, aux radionucléides des familles du ^{232}Th et de ^{238}U . Dans les sols, les activités massiques en ^{40}K , en descendants du ^{232}Th et du ^{238}U sont en accord avec les valeurs observées en France métropolitaine [3, 23, 24]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^7Be , présent dans les végétaux dont la surface foliaire est propice à la captation des retombées atmosphériques.

Ces résultats de mesure attestent de l'absence de biais dans les étapes de préparation et de mesure des échantillons.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 99 page 190.

Dans les sols, les mousses terrestres, le lait, et la salade échantillonnée à Dunkerque, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs . Ce radionucléide ne l'est pas dans les salades échantillonnées à Vieille-Eglise. Dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE, du ^{137}Cs , du ^{60}Co et de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ sont détectés. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2022 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 85 à Tableau 91, pages 175 et suivantes ; et Figure 26 page 165) et avec le bruit de fond attendu en milieu continental [3]. L'évolution temporelle des niveaux d'activité du ^{137}Cs dans l'environnement terrestre du CNPE témoigne de niveaux relativement stables de cet élément au cours des dix dernières années. Le ^{60}Co détecté dans l'herbe échantillonnée à proximité de la côte, le fut également en 2016, 2017, 2019 et 2021, de même que le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ en 2019. Ce marquage provient potentiellement des embruns et aérosols marins marqués par les rejets d'effluents liquides des INB de la Manche et de la Mer du Nord. Les analyses d' ^{131}I réalisées sur l'échantillon frais de mousses ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activité supérieurs au seuil de décision. Les activités γ détectées dans le cadre de cette étude ne mettent pas en évidence de marquage de l'environnement par les rejets d'effluents atmosphériques du CNPE.

7.2.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 100 et du Tableau 101 page 191, respectivement.

L'activité en tritium libre dans l'eau de boisson est de $1,4 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1}$. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié sont proches du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence d'un apport industriel local (0,5 à 2 Bq.L^{-1} ED pour l'HTO et 0,34 à $1,7 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade et le lait. L'activité en tritium libre et lié dans les feuilles de lierre est en revanche supérieure à ce bruit de fond ($3,2 \pm 0,8 \text{ Bq.L}^{-1}$ ED et

3,7±0,9 Bq.L⁻¹ EC), et met en évidence une contribution locale en champ proche du CNPE de Gravelines pour le lierre.

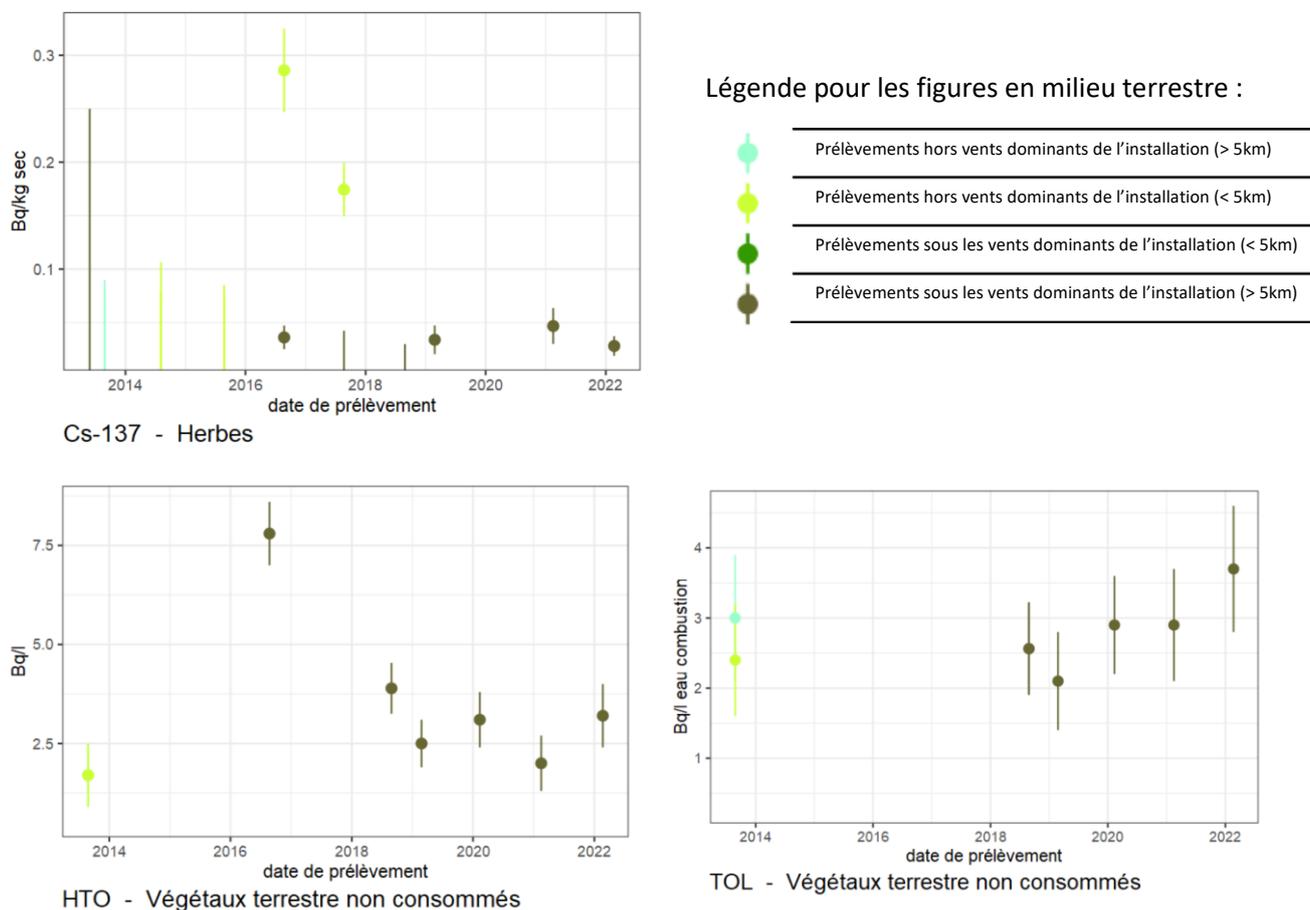


Figure 26 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein de l'herbe et du lierre échantillonnés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ¹⁴C dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 102 page 192.

Les activités en ¹⁴C dans le lait échantillonné en champ lointain (230±11 Bq.kg⁻¹ de C) et dans les salades échantillonnées sous et hors vents (219±11 et 220±11 respectivement) sont comparables au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (223±7 Bq.kg⁻¹ de C d'après [3]), et ne mettent en évidence aucun apport local dans l'environnement du site de Gravelines. En revanche, les résultats des quatre prélèvements trimestriels de feuilles de lierre de l'année 2021 (251±12 à 264±13 Bq.kg⁻¹ de C, Tableau 88 page 179) démontrent l'occurrence d'un apport local par les rejets à l'atmosphère du CNPE.

7.3. État radiologique de l'environnement aquatique

7.3.1. Stratégie d'échantillonnage

La localisation des stations de prélèvements ainsi que la nature des échantillons collectés sont reportées sur la Figure 27 page 170. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 84 pages 166 et suivantes. L'analyse granulométrique et la teneur en matière organique des sédiments échantillonnés sont présentées dans le Tableau 103 page 193. Le choix des stations et de la nature des prélèvements permet la comparaison des résultats avec ceux des études antérieures. Les matrices biologiques échantillonnées sont les plus abondantes localement et/ou caractéristiques de l'économie locale. Elles correspondent également, pour la plupart, aux espèces prélevées lors de l'état de référence et au cours de la dernière décennie. Au niveau des stations côtières, accessibles à marée basse, les prélèvements de sédiments, d'algues et de mollusques (moules) ont été effectués à la main, tandis que les prélèvements de poissons et de crustacés ont été confiés à un pêcheur professionnel. Dans la mesure du possible, des sédiments fins, ayant une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides, ont été privilégiés (port de Grand-Fort-Philippe). De même, des sédiments de granulométrie proche ont été recherchés afin de mieux comparer les résultats des différents points de prélèvement. Cependant, la configuration des plages locales n'a pas toujours rendu ces buts atteignables, notamment aux autres stations de Gravelines (prise d'eau, Jetée des Huttes) et à Audinghen, où seuls des sédiments relativement grossiers ont pu être récoltés.

La circulation résiduelle générale des masses d'eaux le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est. Cependant, le modèle TRANSMER développé par l'IFREMER et l'IRSN a permis de mettre en évidence que sous certaines conditions météorologiques, associées à des vents persistants de nord-est, le régime de dispersion des masses d'eau vers le nord-est peut être freiné, voire inversé et orienté vers le Cap Gris-Nez [2, 31]. En vives-eaux, la tâche thermique, qui peut être assimilée à l'influence des rejets d'effluents liquides du site, est contenue dans un cercle de 6 km de rayon. En mortes-eaux, la tâche thermique est contenue dans un cercle de 7 km de rayon. L'échauffement à la station de rejet est évident en vives-eaux comme en mortes-eaux (supérieur à +3°C ; [32]). Les stations de prélèvements ont été définies en fonction de l'hydrodynamisme local le long de la côte d'Opale et des dunes de Flandre (cf. paragraphe 7.1 page 158). La zone marine potentiellement la plus influencée est située en champ proche (CP), un terme qui désigne des stations situées à proximité du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE, et/ou dans la zone d'excursion du panache des rejets d'effluents liquides du CNPE, et qui sont donc potentiellement influencées par ces rejets. A Gravelines, le champ proche désigne les stations situées à quelques kilomètres au sud-ouest et au nord-est du CNPE, soit d'Oye-Plage à Dunkerque. Les stations de référence sont situées en champ lointain (CL), un terme qui désigne des stations situées suffisamment à distance du ou des points de rejets d'effluents liquides du CNPE pour être considérées comme n'étant que peu influencées par ces rejets. Cette distance s'apprécie en fonction des conditions hydrodynamiques locales moyennes. A Gravelines, où la dérive des eaux côtières peut s'inverser temporairement vers l'ouest en période de vents de secteur est à nord-est persistant [1, 2], le champ lointain désigne les stations situées au-delà de quelques dizaines de kilomètres à l'ouest du CNPE, soit au niveau du Cap Gris-Nez (Audinghen).

En 2022, il n'a pas été possible de récolter de moules à la Jetée des Huttes, la ressource étant exceptionnellement absente. Le prélèvement de mollusques réglementaire à cette station a été remplacé par un prélèvement d'huîtres, abondantes en 2022. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

Tableau 84 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2022 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Gamma (Cendre)	3,24	23,91
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	3,10	-
0,31 km	Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	02,13283	51,01648	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	3,10	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Gamma (Cendre)	4,00	12,73
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	C élémentaire (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	H-3 lié (Sec)	4,69	-
41,12 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59162	50,87130	Mollusques	Moule	Chair	18/08/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,69	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Gamma (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Gamma (Frais)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	C élémentaire (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	H-3 lié (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	H-3 libre (Liquide)	4,83	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Algues brunes	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	23/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	6,08	3,96
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	Gamma (Sec)	1,25	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,25	-
41,23 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,58969	50,87154	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	23/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,25	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
44,59 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen au large	01,52472	50,89583	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	09/03/2022	Gamma (Cendre)	4,84	15,24
1,53 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15142	51,02141	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	5,50	4,10
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	1,32	-
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,32	-
1,61 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15314	51,02106	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,32	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	Gamma (Cendre)	3,13	1,85
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	H-3 lié (Sec)	2,51	-
1,7 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12361	51,02778	Crustacés	Crabe	Entier	25/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	2,51	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	2,38	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	2,38	-
2,18 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10905	51,00139	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	2,38	-
2,27 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10318	51,00615	Algues brunes	Fucus Fucus ceranoides	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	9,11	4,47
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Gamma (Cendre)	6,38	5,70
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	5,79	-
2,5 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15105	51,03321	Mollusques	Huître japonaise Crassostrea gigas	Chair	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,79	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Gamma (Sec)	1,23	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	Granulométrie (Sec)	1,23	-
2,6 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15138	51,03409	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	22/02/2022	MO après combustion (Sec)	1,23	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Cendre)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Gamma (Frais)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	C-14 par MS (spectrométrie de masse) (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	C élémentaire (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	5,47	-

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	H-3 lié (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	H-3 libre (Liquide)	5,47	-
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Fe-55 par SL (Cendre)	5,82	3,80
2,63 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15066	51,03473	Algues brunes	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	22/02/2022	Ni-63 par Sc. Liq. (Cendre)	5,82	3,80
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Gamma (Cendre)	4,71	15,35
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	C-14 par SL (Benzène) (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	C élémentaire (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Rapport relatif C13/C12 (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	H-3 lié (Sec)	4,67	-
3,11 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,12056	51,04056	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	25/05/2022	Pourcentage massique de l'hydrogène (Sec)	4,67	-

- : absence de traitement. Distance au site calculée en ligne droite entre les coordonnées d'un point de référence du site et celles du point de prélèvement
 Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements à la Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE



Figure 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines¹² échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2022.

¹² Bleu foncé : stations en champ proche (sous influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ; CP). Bleu clair : station en champ lointain et hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE (CL). Bleu très clair : Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle des rejets d'effluents liquides du CNPE ou de toute installation nucléaire.

7.3.2. Résultats et interprétation

7.3.2.1. Radionucléides émetteurs gamma

Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine naturelle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 104 page 195.

En 2022, la radioactivité d'origine naturelle détectée dans les matrices marines environnant le CNPE de Gravelines est qualitativement et quantitativement équivalente à celle mesurée lors de l'état de référence et depuis le début des suivis radioécologiques annuels. Les activités détectées sont en accord avec les valeurs habituelles pour ces matrices [3]. Le ^{40}K est le radionucléide prépondérant en termes d'activité. Les activités en ^{40}K dans les poissons sont en accord avec les valeurs attendues pour ces animaux dont la teneur en potassium est physiologiquement régulée (activité massique toujours proche de 100 Bq.kg^{-1} frais). Le ^7Be est détecté dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée, c'est notamment le cas des algues, du fait de leur capacité à capter les aérosols, des sédiments fins, présentant des teneurs élevées car ils sont aptes à retenir les radionucléides, et des mollusques (à des niveaux proches du seuil de détection pour ces derniers).

L'ensemble des résultats obtenus permet d'assurer que les échantillons n'ont pas subi de biais au cours des étapes de préparation et d'analyse par spectrométrie gamma.

Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Les résultats d'analyse par spectrométrie γ des activités en radionucléides d'origine artificielle dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 105 page 196.

La radioactivité d'origine artificielle au sein des sédiments et des organismes marins végétaux et animaux est essentiellement imputable au ^{137}Cs , et dans une moindre mesure, au ^{60}Co (dans les sédiments fins et les algues en champ proche), au $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (en champ proche dans les mollusques et les sédiments fins) et à l' ^{241}Am (en champ proche dans les mollusques et les sédiments fins). Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié, et les activités mesurées sont comparables entre le champ proche et le champ lointain, hormis pour les sédiments où les activités les plus élevées sont mesurées à Grand-Fort-Philippe, en champ proche. Les sédiments fins de cette station ont une surface spécifique importante plus propice au piégeage des radionucléides. L' ^{131}I recherché dans les algues mesurées en frais ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2022 confirment ceux des années précédentes quant à la stabilité des niveaux d'activités en radionucléides artificiels mesurés dans les matrices environnementales marines proches du CNPE de Gravelines (Tableau 92 à Tableau 96, pages 183 et suivantes ; et Figure 28 et Figure 29 pages 172 et 173). Par ailleurs, le contexte régional (dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague en « amont » du CNPE de Gravelines) et hydrologique local rend difficile une discrimination du marquage spécifique par les rejets du CNPE de Gravelines sur l'environnement marin, les radionucléides observés ayant parfois une double origine : ORANO La Hague (^{60}Co , ^{241}Am , voire $^{110\text{m}}\text{Ag}$ parfois) et rejets des CNPE (^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$)

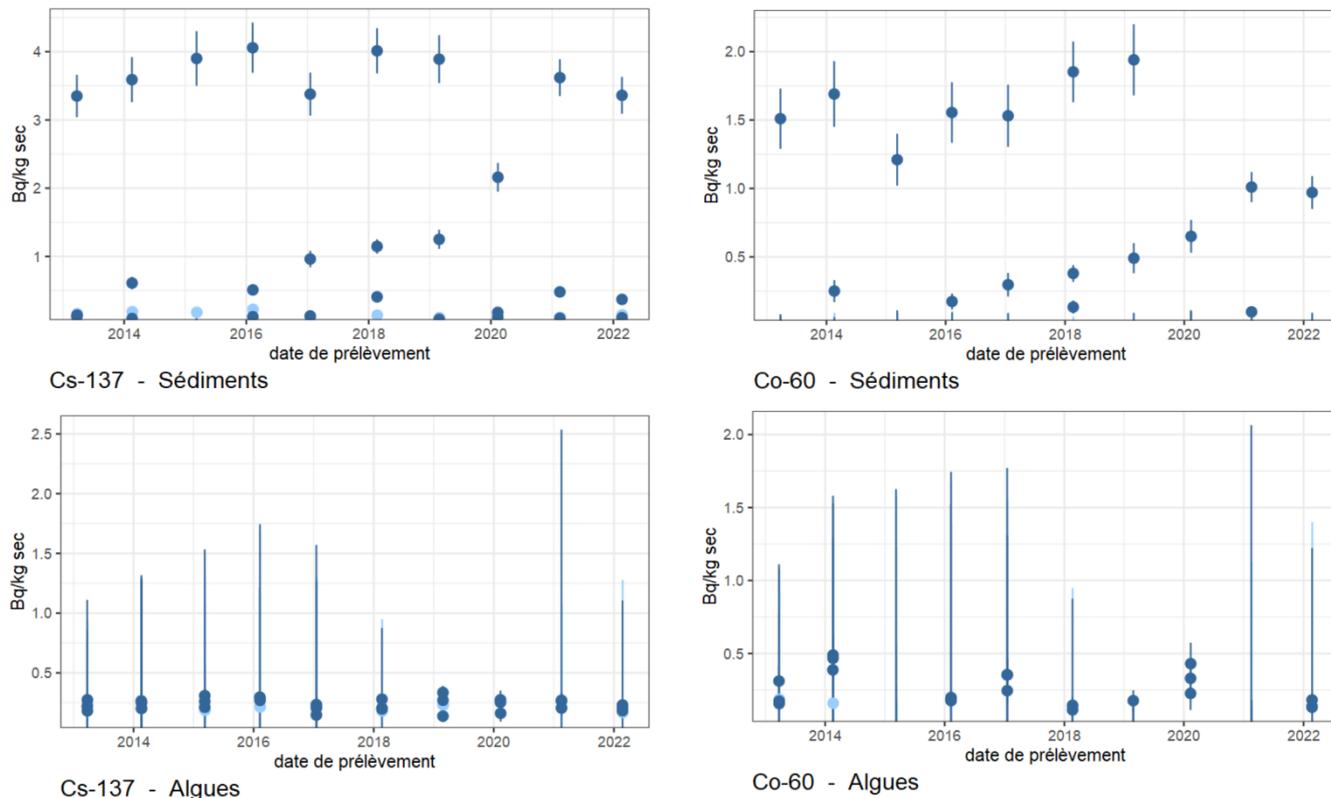
7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium libre et en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 106 et du Tableau 107 page 198.

Les activités en tritium libre dans les algues et les activités en tritium organiquement lié dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 Bq.L^{-1} EC, et comprises entre 3,7 et $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ EC à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents

liquides de l'usine ORANO La Hague. Ces résultats ne témoignent pas d'un marquage observable par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Gravelines en 2022.



Légende pour les figures des pages suivantes en milieu marin :

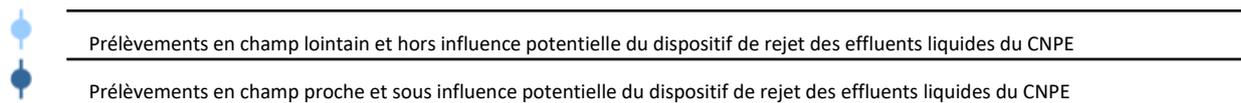


Figure 28 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des activités des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des sédiments et des algues échantillonnés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines.

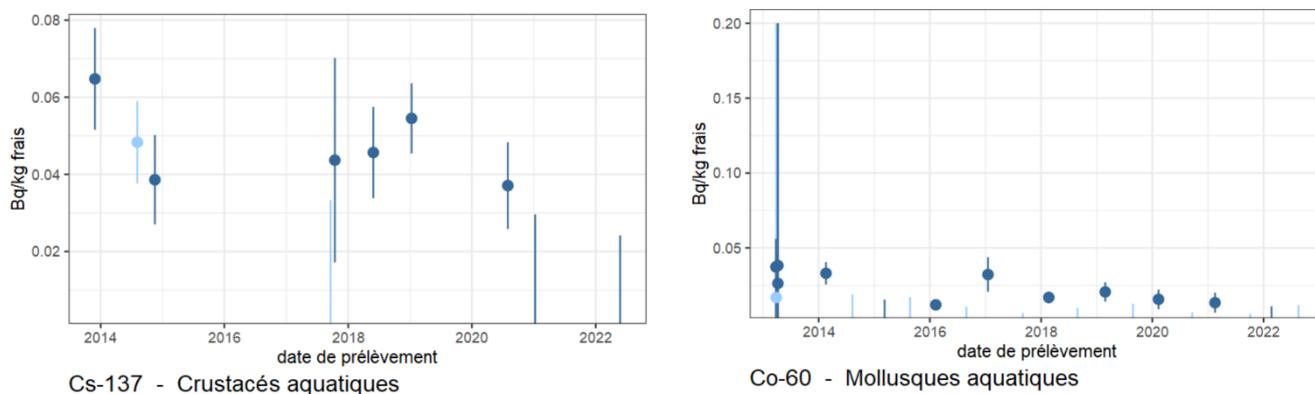


Figure 29 – Variation temporelle de 2013 à 2022 des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma au sein des mollusques et des crustacés échantillonnés dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines.

Carbone 14

Les résultats d’analyse des activités en ^{14}C dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 108 page 199.

L’activité en ^{14}C mesurée au sein des poissons prélevés à la Ferme Aquacole est comparable au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche ($230 \pm 10 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$ en 2021 d’après nos mesures et d’après [3]). L’activité en ^{14}C quantifiée au sein des poissons échantillonnés en champ proche des rejets d’effluents liquides du CNPE de Gravelines, des mollusques et des algues échantillonnés en champ proche et en champ lointain ($255,4 \pm 2,9$ à $393,7 \pm 4,3 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ C}$) est en revanche supérieure à ce bruit de fond, avec des activités significativement plus élevées en champ proche qu’en champ lointain au sein des algues et des mollusques. Elle est cependant cohérente avec la gamme des valeurs enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [3], et notamment de la proximité de l’usine ORANO La Hague.

Nickel 63 et Fer 55

Les résultats d’analyse des activités en ^{63}Ni et en ^{55}Fe dans l’environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 109 et du Tableau 110 page 200, respectivement.

Le ^{63}Ni est détectable dans les algues en champ proche et lointain des rejets d’effluents liquides du CNPE de Gravelines, avec des activités comparables en champ proche et en champ lointain en 2022. Les activités mesurées dans l’environnement du CNPE de Gravelines sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 dans les algues.

Le ^{55}Fe , recherché dans les algues, n’y est pas décelable en 2022. La technique de mesure du ^{55}Fe fournit pour ces échantillons des limites de détection trop élevées pour affiner le diagnostic, comme ce fut le cas pour les précédents bilans décennaux des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord depuis 2011.

7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2022 dans l'environnement du CNPE de Gravelines sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés depuis l'instauration des suivis radioécologiques. Le ^{40}K est le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans tous les échantillons.

La radioactivité gamma d'origine artificielle du milieu terrestre est majoritairement imputable au ^{137}Cs , présent dans la quasi-totalité des échantillons récoltés, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. La présence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement terrestre est essentiellement liée aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué la côte d'Opale. La dispersion de ^{137}Cs depuis le milieu marin vers l'environnement terrestre *via* les aérosols marins n'est également pas à exclure pour expliquer la présence de ce radionucléide au sein des matrices terrestres échantillonnées à proximité immédiate de la côte. Du ^{60}Co et du $^{110\text{m}}\text{Ag}$ sont également quantifiés dans l'herbe échantillonnée à proximité immédiate du CNPE de Gravelines, et l'apport des aérosols marins marqués par les rejets de ^{60}Co et/ou de $^{110\text{m}}\text{Ag}$ d'ORANO La Hague (^{60}Co) et du CNPE (^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) peut également expliquer ces marquages. Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié mettent en évidence un apport local en tritium organiquement lié pour le lierre. L'activité en ^{14}C dans le lait et les salades est proche du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($222\pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2022, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère ne donnent pas lieu à un marquage quantifiable de l'environnement terrestre du site de Gravelines, hormis pour le tritium dans le lierre, ainsi que pour le ^{14}C dans l'un des échantillons trimestriels de lierre.

En 2022, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont essentiellement marquées par le ^{137}Cs . À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels tels le ^{60}Co (dans les sédiments et les algues), le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ (dans les mollusques et les sédiments) et le ^{241}Am (dans les mollusques et les sédiments) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs , le ^{60}Co et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$ quantifiés dans les matrices marines ont une double origine potentielle : les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague et ceux du CNPE de Gravelines. L' ^{241}Am , caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les sédiments en champ proche et les mollusques prélevés en champ proche du CNPE en 2022. L' ^{131}I ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision dans les algues mesurées à l'état frais. Les niveaux d'activité en radionucléides artificiels émetteurs gamma quantifiés dans l'environnement marin proche du CNPE de Gravelines, notamment dans les produits de consommation (crustacés, mollusques et poissons) restent très faibles. Les activités en tritium organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont dans la gamme des valeurs attendues considérant les niveaux d'activité mesurables dans l'eau de mer principalement liés à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, sans qu'un marquage spécifique aux activités du CNPE de Gravelines ne soit démontré en 2022. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3], avec un marquage en ^{14}C dans les algues et les mollusques échantillonnés en champ proche du CNPE de Gravelines. Les activités en ^{63}Ni dans les algues sont dans la même gamme que les valeurs mesurées depuis 2016 et ne mettent pas en évidence de marquage spécifique lié aux activités du CNPE de Gravelines. Le ^{63}Ni est un radionucléide émetteur bêta rejeté à la fois par les CNPE en fonctionnement normal, par les sites en démantèlement et par l'usine de retraitement de la Hague.

7.5. Tableaux de résultats

Tableau 85 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13 km	6,9 à 13 km	6,9 à 13 km	1,2 à 6,9 km	1,2 à 6,9 km	1,1 et 6,9 km	1,4 et 6,9 km	1,4 et 6,8 km	1,2 et 6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	3,1-8,7 (8/8)	3,4-3,5 (2/2)	2,3-5,9 (3/3)	1,9-7,1 (3/3)	0,99-11,80 (3/3)	1,03-6,20 (3/3)	1,57-1,98 (2/2)	0,58-3,30 (2/2)	1,41-2,26 (2/2)	1,29-3,15 (2/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	1,1-3,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	1,9-2,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	236-240 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 86 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	4,4 km	4,0 km	4,2 km	4,1 km	4,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,8-3,7 (3/3)	8,7 (1/3)	1,5-6,3 (2/3)	0,4-4,1 (2/3)	0,5-6,8 (2/3)	-	0,45 (1/1)	-	-	0,17 (1/1)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 87 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021	2022				
Fraction	Parties aériennes		Parties aériennes	Parties aériennes		Parties aériennes	Parties aériennes	Entier	Parties aériennes				
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)				
Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)													
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
¹³⁷ Cs	-	-	-	-	0,286 (1/1)	0,036 (1/1)	0,174 (1/1)	-	0,034 (1/1)	0,047 (1/1)	0,028 (1/1)		
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	0,072 (1/1)	-	0,105 (1/1)	-	0,058 (1/1)	0,038 (1/1)	0,641 (1/1)	
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)	-	-	0,076 (1/1)	
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
¹³¹ I	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, autres : Bq.kg⁻¹ sec)													
³ H libre	1,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	1,6 (1/1)	n.a.	6,7 (1/1)	n.a.	1,89 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	1,7-2,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,08 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
¹⁴ C	229-233,5 (3/3)	n.a.	227 (1/1)	n.a.	222-271,2 (2/2)	n.a.	272,2 (1/1)	n.a.	268 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
⁹⁰ Sr	0,41 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emetteurs alpha (Bq.kg⁻¹ sec)													
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,00077-0,00144	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

	(2/2)												
²³⁸ Pu	-	n.a.											
²⁴¹ Am	0,00040- 0,00073	n.a.											
	(2/2)												

Espèces concernées : Herbe de prairie permanente. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 88 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fraction	Feuilles annuelles		Feuilles annuelles							
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines - zone sous les vents (<5 km)
<i>Emetteurs beta (^3H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ^3H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ^{14}C : Bq.kg⁻¹ C)</i>										
^3H libre	1,70 (1/1)	1,70 (1/1)	n.a.	7,80 (1/1)	n.a.	3,89 (1/1)	2,50 (1/1)	3,10 (1/1)	2,00 (1/1)	3,2 (1/1)
^3H lié	3,00 (1/1)	2,40 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	2,56 (1/1)	2,10 (1/1)	2,90 (1/1)	2,90 (1/1)	3,7 (1/1)
^{14}C	228,8 (1/1)	227,8 (1/1)	263-265 (3/3)	248-263 (4/4)	252-263 (4/4)	242-264 (4/4)	243-261 (4/4)	251-264 (5/5)	237-249 (4/4)	237-241 (3-3)

Espèces concernées : Lierre commun.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 89 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades, choux-fleurs et pommes de terre) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	6,9 à 11,6 km	11,6 et 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,5 à 13,0 km	3,7 à 11,1 km	8,1 km	3,5 et 9,8 km	9,8 et 10,6 km
Nature	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,2-0,5 (2/5)	0,48 (1/2)	0,1-0,5 (3/3)	0,1-0,4 (3/3)	-	0,11-0,30 (2/3)	0,13-0,31 (2/3)	-	-	0,143 (1/2)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)										
³ H libre	1,0-1,8 (3/3)	n.a.	1,2 (1/1)	1,6 (1/1)	1,4 (1/1)	1,6 (1/1)	1,8-2,4 (3/3)	-	2,1-2,4 (2/2)	1,9-2,0 (2/2)
³ H lié	1,7-2,7 (3/3)	n.a.	1,3 (1/1)	1,6 (1/1)	1,5 (1/1)	2,2 (1/1)	1,1-2,3 (3/3)	1,4 (1/1)	2,3-2,4 (2/2)	1,8 (2/2)
¹⁴ C	229-232 (3/3)	n.a.	224-229 (3/3)	228-233 (3/3)	233-234 (3/3)	231-243 (3/3)	237-243 (3/3)	225 (1/1)	220-222 (2/2)	219-220 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 90 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Fraction	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	Entier	
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.L⁻¹)</i>											
¹³⁴ Cs	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
¹³⁷ Cs	-	n.a.	0,0077 (1/1)	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	0,0052 (1/1)	
⁵⁸ Co	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
⁶⁰ Co	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
^{110m} Ag	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
⁵⁴ Mn	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
¹²⁴ Sb	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
¹²⁵ Sb	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	
¹³¹ I	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C ; ⁹⁰Sr : Bq.L⁻¹)</i>											
³ H libre	0,70-0,80 (2/3)	n.a.	-	n.a.	-	1,03 (1/1)	0,84 (1/1)	0,80 (1/1)	-	0,70 (1/1)	1,8 (1/1)
³ H lié	0,90-2,10 (3/3)	n.a.	1,00 (1/1)	n.a.	1,50 (1/1)	0,87 (1/1)	3,63 (1/1)	1,30 (1/1)	n.a.	1,00 (1/1)	0,7 (1/1)
¹⁴ C	232,8-255 (4/4)	276 (1/1)	224 (1/1)	229-237 (5/5)	227-240 (5/5)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)	229 (1/1)	231 (1/1)	230 (1/1)
⁹⁰ Sr	0,0090 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Lait de vache.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 91 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson et d'irrigation collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Fraction	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m	Filtrat à 0.2 μ m
Chronique	Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)
<i>Emetteurs beta (3H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, 14C : Bq.kg⁻¹ C)</i>										
3 H libre	0,9 (1/1)	0,7 (1/1)	0,93 (1/1)	-	0,79 (1/1)	-	-	-	-	1,4 (1/1)
14 C	165,3 (1/1)	n.a.								

Espèces concernées : Eau de boisson.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 92 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Fraction	≤ 2 mm																			
Chronique	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ sec)</i>																				
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,16 (1/1)	0,12-3,35 (3/3)	0,19 (1/1)	0,09-3,59 (3/3)	0,18 (1/1)	3,9 (1/2)	0,225 (1/1)	0,117-4,06 (3/3)	0,095 (1/1)	0,127-3,38 (3/3)	0,138 (1/1)	0,408-4,01 (3/3)	0,102 (1/1)	0,078-3,89 (3/3)	0,11-2,16 (3/3)	0,105 (1/1)	0,094-3,62 (3/3)	0,143 (1/1)	0,101-3,36 (3/3)	
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	0,19-1,86 (3/3)	n.a.	0,18-2,04 (2/3)															
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	1,51 (1/2)	-	0,25-1,69 (2/3)	-	1,21 (1/2)	-	0,174-1,55 (2/3)	-	0,296-1,53 (2/3)	-	0,133-1,85 (3/3)	-	0,49-1,94 (2/3)	0,65 (1/2)	-	0,098-1,01 (2/3)	-	0,97 (1/2)	
^{110m} Ag	-	0,22 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2 (1/2)	-	-	-	-	-	0,28 (1/2)
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.																		
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>																				
³ H libre	3,4 (1/1)	3,8-5,9 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	4-5,3 (3/3)	n.a.	n.a.												
³ H lié	-	8,1 (1/2)	n.a.	n.a.																
¹⁴ C	n.d.	304,7 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232,1 (1/1)	307,3 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Sable de plage, Sédiments non identifiés. n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 93 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 41,0 km	1,5 à 41,1 km	1,5 à 41,2 km			
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ sec)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,2-0,3 (4/4)	0,20-0,27 (4/4)	0,19-0,31 (4/4)	0,22-0,30 (4/4)	0,15-0,23 (4/4)	0,18-0,28 (4/4)	0,14-0,34 (4/4)	0,16-0,28 (3/4)	0,211-0,264 (4/4)	0,169-0,231 (4/4)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,2-0,3 (4/4)	0,16-0,49 (4/4)	-	0,18-0,20 (3/4)	0,25-0,35 (3/4)	0,11-0,15 (3/4)	0,18 (1/4)	0,23-0,43 (3/4)	-	0,132-0,0182 (3/4)
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)	-	-	-
¹²⁹ I	1,8 (1/4)	n.a.	n.a.							
¹³¹ I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C ; ⁶³ Ni : Bq.kg ⁻¹ sec)										
³ H libre	2,8-3,0 (3/3)	n.a.	1,8-4,4 (3/3)	2,2-3,2 (3/3)	n.a.	5,7-6,6 (2/2)	4,9-5,3 (2/2)	n.a.	3,6-4,4 (2/2)	3,4-5,5 (2/2)
³ H lié	2,6-4,2 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,5-6,0 (2/2)	6,0-6,7 (2/2)	n.a.	3,8-3,9 (2/2)	3,9-5,4 (2/2)
¹⁴ C	238-286 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	241-270 (2/2)	255-270 (2/2)	n.a.	252,6-266,1 (2/2)	255,4-271,1
⁶³ Ni	0,23-0,50 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,56-0,68 (2/2)	0,39-0,41 (2/2)	n.a.	0,34-0,54 (2/2)	0,55-0,67 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 94 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	1,1 et 41 km	2,5 et 40,7 km	2,4 et 41,1 km	2,5 et 41,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,01-0,03 (5/5)	0,02-0,03 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,02-0,03 (2/2)	0,01 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)	0,0084-0,0166 (2/2)	0,0107-0,0135 (2/2)
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	0,02-0,04 (4/5)	0,03 (1/2)	-	0,01 (1/2)	0,03 (1/2)	0,02 (1/2)	0,02 (1/2)	0,02 (1/2)	0,0134 (1/2)	-
^{110m} Ag	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-	-	0,199 (1/2)	0,204 (1/2)
^{108m} Ag	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-	-	-
²⁴¹ Am	0,008-0,014 (3/5)	0,01-0,02 (2/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,0055 (1/2)
Émetteurs β (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C, ⁶³Ni : Bq.kg⁻¹ sec)										
³ H libre	1,6-2,7 (3/3)	4,2-7,0 (2/2)	3,4-3,7 (2/2)	4,6-6,9 (2/2)	4,9-6,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	4,0-5,6 (3/3)	4,4-5,7 (2/2)	4,4-5,8 (2/2)	3,6-6,6 (2/2)	4,3 (2/2)	3,9-7,1 (2/2)	4,3-9,5 (2/2)	3,5-6,3 (2/2)	4,4-4,8 (2/2)	4,4 (2/2)
¹⁴ C	330-393 (3/3)	318-399 (2/2)	342-373 (2/2)	321-454 (2/2)	337-390 (2/2)	314-420 (2/2)	323-363 (2/2)	n.a.	316,1-402,1 (2/2)	319,5-393,7 (2/2)
⁶³ Ni	0,19 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,016-0,021 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 95 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Année	2013	2014		2017			2018		2019	2020	2021	2022
Fraction	Entier	Entier		Entier		Chair	Entier	Chair	Entier	Entier	Entier	Entier
Chronique	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche	Gravelines - champ lointain	Gravelines - champ proche							
<i>Emetteurs gamma d'origine artificielle (Bq.kg⁻¹ frais)</i>												
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,065 (1/1)	0,048 (1/1)	0,039 (1/1)	-	0,044 (1/1)	n.a.	0,046 (1/1)	n.a.	0,0545 (1/1)	0,037 (1/1)	-	-
²⁴¹ Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,025 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
^{110m} Ag	0,245 (1/1)	-	0,050 (1/1)	-	-	n.a.	-	n.a.	0,063 (1/1)	0,035 (1/1)	-	-
⁵⁴ Mn	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
¹²⁴ Sb	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
¹²⁵ Sb	-	-	-	-	-	n.a.	-	n.a.	-	-	-	-
¹³¹ I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Emetteurs beta (³H libre : Bq.L⁻¹ d'eau de dessiccation, ³H lié : Bq.L⁻¹ d'eau de combustion, ¹⁴C : Bq.kg⁻¹ C)</i>												
³ H libre	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	n.a.	3,92 (1/1)	5,1 (1/1)	3 (1/1)	4,2 (1/1)	3,3 (1/1)
¹⁴ C	561,5 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Espèces concernées : Araignée de mer, Crabe non identifié, Crevette grise.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 96 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2013 à 2022 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,2 à 41 km	0,5 et 2,2 km	0,5 à 45 km	0,3 et 45 km						
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg ⁻¹ frais)										
¹³⁴ Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	0,06-0,28 (6/6)	0,07-0,26 (5/5)	0,05-0,21 (5/5)	0,06-0,24 (5/5)	0,07-0,12 (3/3)	0,05-0,14 (4/4)	0,08-0,21 (3/3)	0,08-0,12 (2/2)	0,05-0,06 (3/3)	0,0581-0,0692 (3/3)
⁵⁷ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁵⁸ Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⁶⁰ Co	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-
^{110m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m} Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
¹⁰⁶ Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
²⁴¹ Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Distance au site	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,2 et 2,0 km	0,5 et 2,2 km	0,5 et 3,1 km	0,3 et 45 km
Émetteurs β (³ H libre : Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation, ³ H lié : Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion ; ¹⁴ C : Bq.kg ⁻¹ C)										
³ H libre	2,8-3,5 (3/3)	n.a.	3,8-5,5 (3/3)	5,0-6,9 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
³ H lié	1,0-4,7 (3/3)	n.a.	2,5-4,8 (3/3)	2,6-5,1 (3/3)	1,8-6,0 (3/3)	1,7-4,9 (3/3)	4,0-6,5 (2/2)	4,0-6,4 (2/2)	3,4-4,8 (2/2)	2,0-4,2 (2/2)
¹⁴ C	240-312 (3/3)	n.a.	233-440 (3/3)	237-408 (3/3)	239-477 (3/3)	236-433 (3/3)	248-353 (2/2)	223-342 (2/2)	236-389 (2/2)	230-328 (2/2)

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision.

Tableau 97 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sol collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,11	Matière organique	1,5±0,2
									Argile (< 2µm)	8,4±0,5
									Limons fins	5,5±0,4
									Limons grossiers	5,7±0,4
									Sables fins	33,9±1,2
									Sables grossiers	46,5±1,4
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,16	Matière organique	5,2±0,3
									Argile (< 2µm)	22,6±0,9
									Limons fins	16,8±0,8
									Limons grossiers	19,2±1,0
									Sables fins	35,1±1,2
									Sables grossiers	6,3±0,6

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation (> 5km)
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (> 5km)
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation (< 5km)
	Prélèvement d'eau phréatique hors aval hydraulique

Tableau 98 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	^{40}K	Famille du ^{232}Th	Famille de ^{238}U			^7Be	Unité
										^{228}Ac	^{234}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{210}Pb		
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,11	06/07/2022	235 \pm 17	9,4 \pm 1,2	7,6 \pm 1,8	≤ 13	16 \pm 5	$\leq 3,9$	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,16	11/10/2022	334 \pm 24	19,2 \pm 2,2	19,7 \pm 3,8	28 \pm 8	28 \pm 8	$\leq 1,6$	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	12,00	18/11/2022	2 330 \pm 170	$\leq 0,50$	$\leq 1,1$	≤ 19	3,61 \pm 0,86	38,3 \pm 3,3	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	19,20	18/11/2022	1 860 \pm 140	0,56 \pm 0,13	$\leq 0,83$	≤ 11	4,51 \pm 0,90	42,0 \pm 3,6	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	1,45	22/07/2022	92,1 \pm 7,0	0,679 \pm 0,097	$\leq 0,19$	$\leq 2,1$	93,2 \pm 9,7	383 \pm 26	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	21/02/2022	Mousses terrestres	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	Frais	1,15	24/02/2022	156 \pm 14	3,69 \pm 0,92	n.a.	n.a.	n.a.	460 \pm 36	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,27	17/10/2022	47,8 \pm 3,7	$\leq 0,017$	$\leq 0,045$	$\leq 0,53$	$\leq 0,053$	$\leq 0,038$	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé.

Tableau 99 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	¹³¹ I	Unité
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,11	06/07/2022	≤ 0,100	1,29±0,12	≤ 0,34	≤ 0,11	≤ 0,15	≤ 0,13	≤ 0,41	≤ 0,28	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	≤ 2 mm	Sec	1,16	11/10/2022	≤ 0,11	3,15±0,25	≤ 0,16	≤ 0,14	≤ 0,15	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,32	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	12,00	18/11/2022	≤ 0,10	0,143±0,055	≤ 0,26	≤ 0,17	≤ 0,17	≤ 0,12	≤ 0,24	≤ 0,24	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Eglise	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Cendre	19,20	18/11/2022	≤ 0,072	≤ 0,067	≤ 0,18	≤ 0,11	≤ 0,11	≤ 0,087	≤ 0,16	≤ 0,16	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines, AS1	21/02/2022	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	Cendre	1,45	22/07/2022	≤ 0,016	0,0280±0,0092	≤ 0,065	0,641±0,054	0,076±0,017	≤ 0,022	≤ 0,075	≤ 0,043	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Loon-Plage	21/02/2022	Mousses terrestres	Tortula ruralis Tortula ruralis	Entier	Frais	1,15	24/02/2022	≤ 0,14	0,17±0,17	≤ 0,16	≤ 0,28	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,15	≤ 0,46	≤ 0,23	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Aliments liq. Non transformés	Lait de vache	Entier	Cendre	8,27	17/10/2022	≤ 0,00350,0052±0,0019	≤ 0,0060	≤ 0,0053	≤ 0,0045	≤ 0,0045	≤ 0,0038	≤ 0,0060	≤ 0,0083	n.a.	Bq.L ⁻¹

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 100 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	10,77	01/12/2022	1,9±0,8	1,72±0,73	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	19,14	01/12/2022	2,0±0,8	1,90±0,76	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	21/02/2022	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,86	23/05/2022	3,2±0,8	2,08±0,52	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Àa	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,16	01/12/2022	1,8±0,8	1,58±0,70	Liquide
Gravelines - Eau phréatique hors aval hydraulique	Dunkerque	23/08/2022	Eaux de boisson	Eau de boisson	Filtrée 0,2µm	-	01/12/2022	1,4±0,8	1,4±0,8	Liquide

Tableau 101 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	10,77	18/12/2022	1,8±0,8	0,083±0,037	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	19,14	18/12/2022	1,8±0,7	0,050±0,019	Frais
Gravelines - zone sous les vents (<5 km)	Gravelines	21/02/2022	Végétaux terrestre non consommés	Lierre commun <i>Hedera helix</i>	Feuilles annuelles	2,86	04/09/2022	3,7±0,9	0,78±0,19	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Àa	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	8,16	12/01/2023	0,7±0,7	0,060±0,060	Liquide

Tableau 102 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure du ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ frais ou sec ou Bq.L ⁻¹ d'ECH)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ frais ou sec ou g.L ⁻¹ d'ECH)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - zone sous les vents dominants (>5 km)	Dunkerque	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	10,77	09/05/2023	219±11	7,60±0,38	35	-30,02	97,9±4,9	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Vieille-Église	23/08/2022	Légumes	Salades	Parties aériennes	Sec	19,14	09/05/2023	220±11	4,58±0,23	21	-28,87	98,1±4,9	Frais
Gravelines - zone hors vents dominants (>5 km)	Saint-Georges-sur-l'Aa	23/08/2022	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	Sec	8,16	25/06/2023	230±11	14,21±0,68	62	-21,02	101,0±4,8	Liquide

Tableau 103 - Teneur en matière organique et caractéristiques granulométriques des échantillons de sédiment collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Date de mesure	Qualité	Frais/sec	Fractions	%
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	1,32	Matière organique	0,5±0,2
									Argile (< 2µm)	4,4±0,3
									Limons fins	0,0±0,2
									Limons grossiers	1,4±0,3
									Sables fins	32,7±1,1
									Sables grossiers	61,5±1,7
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	sec	1,23	Matière organique	0,1±0,1
									Argile (< 2µm)	1,7±0,3
									Limons fins	0,1±0,1
									Limons grossiers	0,0±0,2
									Sables fins	15,2±0,8
									Sables grossiers	83,0±2,2
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	2,38	Matière organique	4,1±0,5
									Argile (< 2µm)	35,0±1,3
									Limons fins	35,0±1,5
									Limons grossiers	21,8±1,1
									Sables fins	7,9±0,7
									Sables grossiers	0,3±0,3
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	12/12/2022	Sec	1,25	Matière organique	0,2±0,2
									Argile (< 2µm)	1,7±0,3
									Limons fins	0,0±0,2
									Limons grossiers	0,2±0,2
									Sables fins	30,0±1,1
									Sables grossiers	68,1±1,9

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu marin :

Prélèvements à la Ferme Aquacole de Gravelines, hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ lointain et hors influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE
Prélèvements en champ proche et sous influence potentielle du dispositif de rejet des effluents liquides du CNPE

Tableau 104 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine naturelle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus ceranoides	Entier	Cendre	9,11	08/07/2022	1 240±110	4,63±0,38	1,36±0,31	≤ 8,9	4,29±0,94	17,9±1,8	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	5,82	24/02/2022	1 158±52	≤ 4,7	n.a.	n.a.	n.a.	18,6±7,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,82	06/05/2022	1 222±95	4,64±0,40	6,8±1,0	≤ 11	3,40±0,97	16,6±1,6	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	5,50	08/07/2022	1 123±100	4,12±0,34	8,2±1,1	9,7±4,6	3,68±0,85	15,8±1,7	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Frais	6,08	25/02/2022	1 313±61	≤ 5,5	n.a.	n.a.	n.a.	18,2±7,9	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	Cendre	6,08	06/05/2022	1 152±93	5,03±0,63	8,9±1,2	≤ 11	1,89±0,73	9,0±1,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	3,13	28/11/2022	63,5±5,2	1,04±0,10	0,41±0,17	≤ 3,1	0,50±0,22	≤ 1,4	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	Cendre	6,38	05/09/2022	49,8±3,9	0,039±0,017	0,383±0,063	≤ 0,80	0,336±0,080	0,55±0,25	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,00	29/11/2022	55,4±4,3	≤ 0,035	0,300±0,061	≤ 0,98	0,65±0,12	0,275±0,098	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	11/07/2022	240±17	6±0,8	6,8±1,3	≤ 9,0	15±3,4	5,3±1,8	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,23	11/07/2022	199±15	4,17±0,34	5,8±1,3	≤ 9,0	9,7±2,4	≤ 3,0	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,38	11/07/2022	330±23	15,9±1,1	22,9±3,4	≤ 17	73±14	47±5	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,25	11/07/2022	173±12	3,39±0,29	6±1,3	≤ 8,0	9±2,2	≤ 3,1	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	Cendre	3,24	26/07/2022	133±10	≤ 0,041	≤ 0,12	≤ 1,3	≤ 0,14	≤ 0,39	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	09/03/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	Cendre	4,71	28/11/2022	112,0±8,3	≤ 0,048	≤ 0,12	≤ 1,5	≤ 0,14	≤ 0,66	Bq.kg ⁻¹ frais

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁴⁰ K	Famille du ²³² Th	Famille de l' ²³⁸ U			⁷ Be	Unité
										²²⁸ Ac	²³⁴ Th	^{234m} Pa	²¹⁰ Pb		
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	09/03/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet <i>Pleuronectes platessa</i>	Muscle	Cendre	4,84	29/11/2022	111,3±9,5	≤ 0,039	≤ 0,11	≤ 1,4	≤ 0,14	≤ 1,6	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé.

Tableau 105 - Activités en radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	²⁴¹ Am	¹³¹ I	Unité
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus ceranoides</i>	Entier	Cendre	9,11	08/07/2022	≤ 0,061	0,231± 0,037	≤ 0,22	0,136± 0,041	≤ 0,10	≤ 0,078	≤ 0,24	≤ 0,15	≤ 0,080	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	5,82	24/02/2022	≤ 0,87	≤ 1,1	≤ 0,93	≤ 1,2	≤ 0,87	≤ 1,0	≤ 0,76	≤ 2,3	n.a.	≤ 0,87	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,82	06/05/2022	≤ 0,076	0,184± 0,047	≤ 0,16	0,182± 0,050	≤ 0,12	≤ 0,092	≤ 0,16	≤ 0,18	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	5,50	08/07/2022	≤ 0,065	0,208 ±0,036	≤ 0,22	0,132± 0,040	≤ 0,11	≤ 0,085	≤ 0,25	≤ 0,16	≤ 0,092	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Frais	6,08	25/02/2022	≤ 0,97	≤ 1,3	≤ 1,2	≤ 1,4	≤ 1,0	≤ 1,2	≤ 0,97	≤ 2,4	n.a.	≤ 0,97	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	Cendre	6,08	06/05/2022	≤ 0,073	0,169± 0,043	≤ 0,15	≤ 0,11	≤ 0,11	≤ 0,088	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,11	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés aquatiques	Crabe	Entier	Cendre	3,13	28/11/2022	≤ 0,026	≤ 0,024	≤ 0,14	≤ 0,036	≤ 0,050	≤ 0,035	≤ 0,16	≤ 0,057	≤ 0,031	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	Cendre	6,38	05/09/2022	≤ 0,0066	0,0107± 0,0033	≤ 0,039	≤ 0,011	0,204± 0,017	≤ 0,0085	≤ 0,047	≤ 0,017	0,0055± 0,0033	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	Cendre	4,00	29/11/2022	≤ 0,0075	0,0135± 0,0043	≤ 0,020	≤ 0,012	≤ 0,012	≤ 0,0094	≤ 0,020	≤ 0,018	≤ 0,0096	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Prise d'eau	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,32	11/07/2022	≤ 0,070	0,37± 0,06	≤ 0,24	≤ 0,090	≤ 0,100	≤ 0,090	≤ 0,27	≤ 0,18	0,18± 0,08	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,23	11/07/2022	≤ 0,070	0,101± 0,04	≤ 0,26	≤ 0,090	≤ 0,11	≤ 0,090	≤ 0,30	≤ 0,20	≤ 0,13	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	22/02/2022	Sédiments	Sédiments	≤ 2 mm	Sec	2,38	11/07/2022	≤ 0,14	3,36± 0,27	≤ 0,46	0,97± 0,12	0,28± 0,13	≤ 0,20	≤ 0,60	≤ 0,38	2,04± 0,20	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Sédiments	Sable de plage	≤ 2 mm	Sec	1,25	11/07/2022	≤ 0,080	0,143± 0,046	≤ 0,26	≤ 0,090	≤ 0,12	≤ 0,090	≤ 0,32	≤ 0,20	≤ 0,17	n.a.	Bq.kg ⁻¹ sec

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{110m} Ag	⁵⁴ Mn	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	²⁴¹ Am	¹³¹ I	Unité
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	Cendre	3,24	26/07/2022	≤ 0,0090	0,0581± 0,0065	≤ 0,041	≤ 0,013	≤ 0,017	≤ 0,013	≤ 0,044	≤ 0,022	≤ 0,013	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	09/03/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet <i>Pleuronectes platessa</i>	Muscle	Cendre	4,71	28/11/2022	≤ 0,011	0,0678± 0,0083	≤ 0,062	≤ 0,015	≤ 0,019	≤ 0,015	≤ 0,069	≤ 0,026	≤ 0,014	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen au large	09/03/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet <i>Pleuronectes platessa</i>	Muscle	Cendre	4,84	29/11/2022	≤ 0,011	0,0692± 0,0081	≤ 0,12	≤ 0,014	≤ 0,022	≤ 0,015	≤ 0,15	≤ 0,023	≤ 0,012	n.a.	Bq.kg ⁻¹ frais

n.a. : non analysé. * Du fait de sa courte période radioactive, l'¹³¹I a été analysé sur des échantillons frais.

Tableau 106 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	³ H libre (Bq.L ⁻¹ d'eau de dessiccation)	³ H libre (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,47	17/05/2022	5,5±0,8	4,49±0,65	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	4,83	17/05/2022	3,4±0,8	2,70±0,63	Frais

Tableau 107 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,47	06/10/2022	5,4±1,0	0,457±0,089	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	4,83	06/10/2022	3,9±0,9	0,368±0,088	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Crustacés	Crabe	Entier	2,51	12/01/2023	3,3±1,6	0,49±0,24	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	5,79	06/10/2022	4,4±0,9	0,449±0,094	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	4,69	12/01/2023	4,4±1,1	0,56±0,14	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup Dicentrarchus labrax	Muscle	3,10	04/09/2022	2,0±0,7	0,48±0,17	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet Pleuronectes platessa	Muscle	4,67	12/01/2023	4,2±0,9	0,56±0,12	Frais

Tableau 108 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure ^{14}C	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ C)	^{14}C (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais)	C _{TOT} (g.kg ⁻¹ sec ou frais)	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	5,47	16/11/2022	271,1±3,0	16,83±0,19	62	-19,3	118,6±1,3	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus <i>Fucus vesiculosus</i>	Entier	4,83	16/11/2022	255,4±2,9	17,50±0,20	69	-19,77	111,8±1,3	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Mollusques	Huître	Chair	5,79	22/11/2022	393,7±4,3	28,90±0,32	73	-19,68	172,4±1,9	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	18/08/2022	Mollusques	Moule	Chair	4,69	10/03/2023	319,5±3,5	29,11±0,32	91	-19,38	139,8±1,5	Frais
Gravelines - Ferme Aquacole	Gravelines	22/02/2022	Poissons	Bar ou Loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	Muscle	3,10	26/08/2022	230±11	41,4±2,0	180	-22	101,2±4,8	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines au large	25/05/2022	Poissons	Plie commune ou Carrelet <i>Pleuronectes platessa</i>	Muscle	4,67	20/05/2023	328±16	32,4±1,6	99	-16,88	142,8±7,0	Frais

Tableau 109 - Activités en ⁶³Ni mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Qualité	Date de mesure ⁶³ Ni	⁶³ Ni (Bq.kg ⁻¹ sec ou frais ou Bq.L ⁻¹)	Ni (g.kg ⁻¹ sec ou frais ou g.L ⁻¹)	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,82	Cendre	26/10/2022	0,67±0,13	0,347	Sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	6,08	Cendre	26/10/2022	0,55±0,11	0,35	Sec

Tableau 110 - Activités en ⁵⁵Fe mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2022.

Chronique	Commune	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Qualité	Frais/Sec	Date de mesure	⁵⁵ Fe	Unité
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	22/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	5,82	04/11/2022	≤ 7,6	5,82	Bq.kg ⁻¹ sec
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	23/02/2022	Algues	Fucus Fucus vesiculosus	Entier	6,08	04/11/2022	≤ 8,6	6,08	Bq.kg ⁻¹ sec

8. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

8.1. Radioécologie du milieu terrestre

Le ^{137}Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (17 fois sur 25). L'activité la plus élevée ($4,50\pm 0,34 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sec}$) est observée dans le sol de pâturage de Paluel, sous les vents dominants du CNPE de Paluel. Son activité résulte essentiellement des retombées globales des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (Figure 4 page 22). Du ^{60}Co et du $^{110\text{m}}\text{Ag}$ sont également détectés dans l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE de Gravelines ($0,641\pm 0,054$ et $0,076\pm 0,017 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ sec}$, respectivement).

En 2022, le ^3H libre a été recherché dans l'herbe et/ou le lierre, les salades, l'eau de boisson et le lait. L'activité en ^3H libre est inférieure (Flamanville et Paluel) ou proche du seuil de décision (Penly et Gravelines) dans les 4 eaux de boissons échantillonnées. Le ^3H libre est détecté dans deux des cinq échantillons de lait de vache récoltés ($1,8\pm 0,8$ et $2,0\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$). Le ^3H libre est détecté dans les cinq échantillons de salades récoltés ($1,9\pm 0,8$ à $2,7\pm 0,9 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$), et reste comparable au bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ($0,5$ à $2 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ pour l'HTO d'après [3]). Dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Penly et dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, l'activité en ^3H libre ($1,5\pm 0,8$ et $1,8\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$, respectivement) est également comparable à ce bruit de fond. En revanche, l'activité en ^3H libre dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel ($3,2\pm 0,8$ et $8,2\pm 1,2 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ ED}$, respectivement) est plus élevée que ce bruit de fond, et témoigne d'un apport local en tritium libre.

Depuis 2010, le ^3H organiquement lié est lui aussi quantifié dans le lait de vache ($0,7\pm 0,7$ à $1,5\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$), à un niveau d'activité généralement proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB ($0,39$ à $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$ pour le TOL d'après [3]). En 2022, le ^3H organiquement lié a également été recherché dans la salade, l'herbe et/ou les feuilles de lierre, et son activité y est proche du bruit de fond ($1,8\pm 0,8$ à $2,9\pm 0,8 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$, toutes matrices confondues), hormis dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Paluel ($3,7\pm 0,9$ et $5,8\pm 1,0 \text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EC}$, respectivement), où les activités en ^3H organiquement lié témoignent d'un apport local.

Enfin, l'activité en ^{14}C dans la salade (dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines, 219 ± 11 à $230\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$) est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle ($222\pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$ d'après [3]), tandis qu'elle témoigne d'un apport local ($238\pm 12 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$) dans l'environnement du CNPE de Paluel, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée (pas de mesure hors vents). L'activité en ^{14}C dans le lait est également proche de ce bruit de fond dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et de Gravelines (220 ± 11 à $232\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$). L'activité en ^{14}C mesurée trimestriellement dans l'herbe ou les feuilles de lierre échantillonnées à proximité des CNPE de Flamanville (lierre), Paluel (herbe), Penly et Gravelines (lierre) (à environ un kilomètre ou moins des différents CNPE) est dans la majorité des cas comparable au bruit de fond hors influence industrielle (activité comprise entre $225\pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et $235\pm 12 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$, dans l'herbe échantillonné à proximité du CNPE de Penly). Dans l'herbe échantillonnée à proximité du CNPE de Penly et dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines, certaines mesures témoignent d'un apport local probable en ^{14}C dans l'environnement immédiat de ces CNPE (237 ± 12 à $255\pm 13 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ C}$).

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2022, il apparaît que les rejets d'effluents à l'atmosphère des CNPE français côtiers de la Manche et de la Mer du Nord ne donnent pas lieu à un marquage mesurable de l'environnement terrestre, hormis pour les échantillons d'herbe et de lierre échantillonnés à proximité immédiate des CNPE, pour lesquels le marquage par les rejets d'effluents atmosphériques des CNPE est visible pour le ^3H (libre et/ou organiquement lié), et/ou pour le ^{14}C .

8.2. Radioécologie du milieu marin

Les radionucléides artificiels détectés au sein des diverses matrices sédimentaires et biologiques échantillonnées dans l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord trouvent leur origine potentielle au niveau :

- des eaux de l'océan Atlantique, marquées par les retombées globales des essais atmosphériques d'armes nucléaires et par les rejets de l'usine de retraitement de Sellafield (Royaume-Uni), contribuant notamment à l'apport de ^{137}Cs et de ^3H . De plus, en 2011, le marquage fugace de l'environnement marin par les retombées du panache radioactif provenant de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi au Japon n'est pas à exclure ;
- des fleuves, en particulier la Seine qui draine un bassin versant fortement industrialisé, avec notamment la présence du CNPE de Nogent-sur-Seine ainsi que de nombreux hôpitaux et centres de recherche utilisant des traceurs radioactifs ;
- des rejets d'effluents liquides des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines ;
- des rejets d'effluents liquides de l'usine de traitement du combustible usé ORANO La Hague.

Parmi ces diverses origines, les rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague sont les plus à même de marquer l'environnement marin des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord. Certains radionucléides émetteurs gamma (tels que le ^{137}Cs , le ^{134}Cs , le ^{60}Co , le ^{54}Mn et le $^{110\text{m}}\text{Ag}$), tout comme le ^3H libre, sont communs aux rejets d'effluents liquides des CNPE et de l'usine de retraitement du combustible usé. Cependant, les niveaux d'activité en radionucléides artificiels dans les effluents liquides rejetés en mer par l'usine ORANO La Hague sont de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux des CNPE, notamment dans le cas du ^3H libre. Ceci se traduit par un gradient décroissant des activités de ces radionucléides entre la presque-île du Cotentin et le détroit du Pas-de-Calais (Figure 30 page 203).

Le ^{137}Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (44 fois sur 50). Les activités en ^{137}Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 31 page 204). Néanmoins, les apports de l'usine ORANO La Hague contribuent à doubler les activités en ^{137}Cs sur cette zone comparativement aux niveaux mesurés au sein des eaux Atlantiques en entrée de Manche. D'un point de vue quantitatif, les niveaux d'activités en émetteurs gamma artificiels au sein des organismes consommés demeurent très faibles, de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ de matière fraîche. L' ^{131}I recherché dans les algues n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision.

Les activités en tritium libre et en tritium organiquement lié ($2,7\pm 0,8$ à $8,0\pm 1,2$ $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ ED pour l'HTO et $2,0\pm 0,7$ à $12,5\pm 1,7$ $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ EC pour le TOL) dans les sédiments, les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement marin proche des CNPE côtiers de la Manche et de la Mer du Nord sont cohérentes avec les valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (de l'ordre de 5 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, et comprises entre 3,7 et 5,9 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Elles témoignent toutefois d'un marquage par les rejets en tritium pour certains échantillons (16 des 32 activités mesurées sont supérieures à 5 $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$, avec une activité maximale de $12,5\pm 1,7$ $\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ EC dans les poissons pêchés à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly en 2022.

Les activités en ^{14}C quantifiées au sein des sédiments, des algues, des mollusques, des crustacés et des poissons échantillonnés dans l'environnement marin des CNPE (230 ± 11 à 450 ± 22 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ C) sont pour la plupart (26 des 28 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines, et les algues du port de Dieppe) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle (233 ± 5 $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ C en 2022 d'après nos mesures et d'après [3]), mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche [27], et notamment de la proximité de l'usine ORANO

La Hague. Ce marquage en ^{14}C est plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les algues et les mollusques à proximité du CNPE de Flamanville, pour les algues à proximité du CNPE de Penly, et pour les algues et les mollusques à proximité de Gravelines (Figure 32 page 204). A Paluel, le marquage est plus prononcé en champ lointain pour les algues. A Penly, c'est également le cas pour les poissons. A Flamanville, c'est également le cas pour les crustacés. Les différences ne sont pas significatives pour les poissons et les mollusques à Paluel, pour les mollusques à Penly, et pour les sédiments à Flamanville. A Flamanville et Gravelines, les poissons n'ont été échantillonnés qu'en champ proche et la comparaison n'est pas possible.

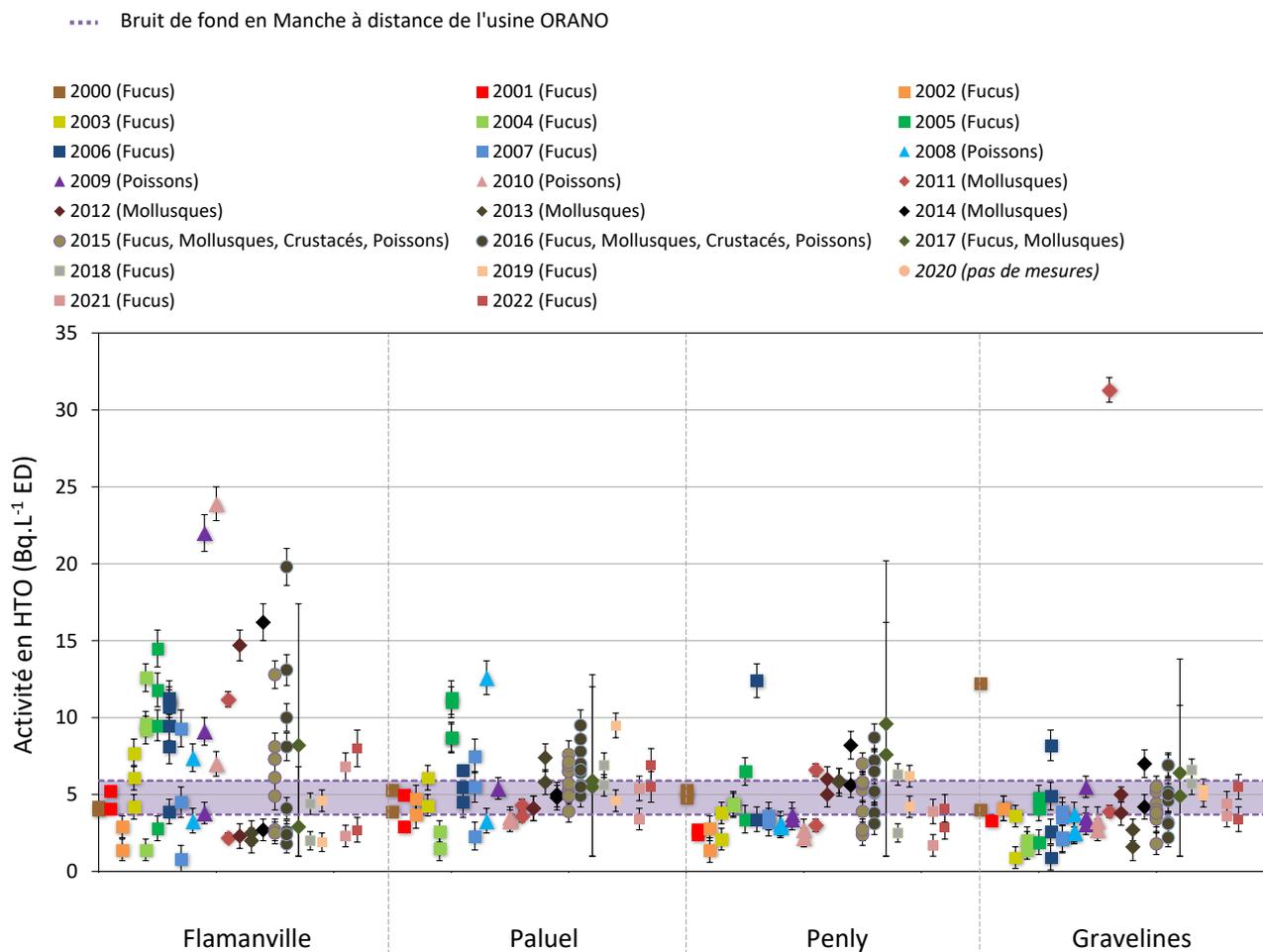


Figure 30 - Activités en tritium libre ($\text{Bq.L}^{-1}\text{ ED}$) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre $3,7$ et $5,9 \text{ Bq.L}^{-1}$ à distance de l'usine ORANO [3, 25, 26]).

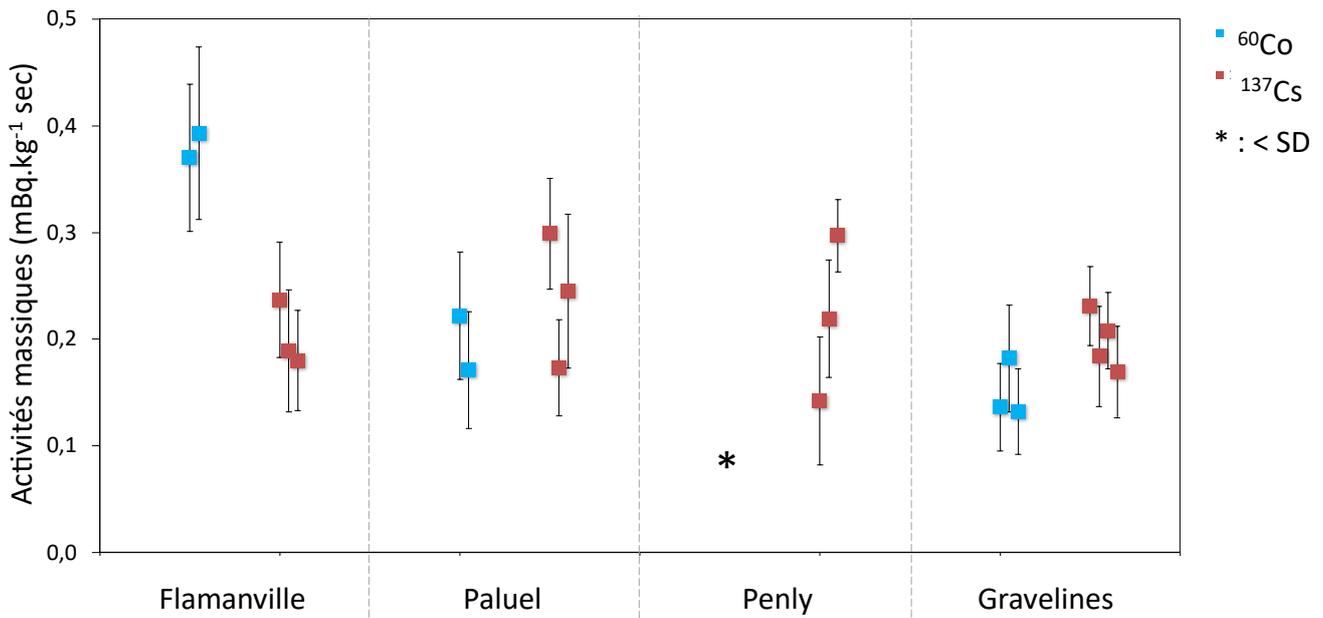


Figure 31 - Activités en ⁶⁰Co et en ¹³⁷Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2022 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

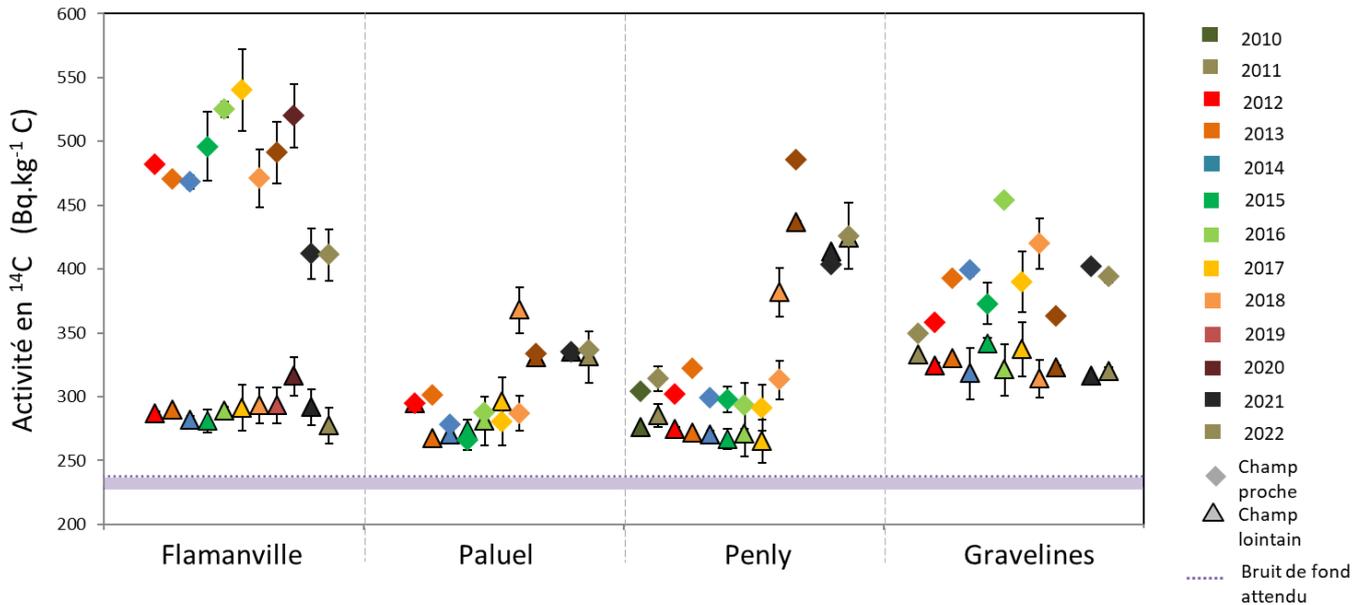


Figure 32 - Activités en ¹⁴C (Bq.kg⁻¹.C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 233±5 Bq.kg⁻¹.C d'après [3]).

9. BIBLIOGRAPHIE

1. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., *TRANSMER, hydrodynamic model for medium- and long-term simulation of radionuclides transfers in the English Channel and southern North Sea*. Radioprotection, 2005. 40: S575-S580 p.
2. IRSN, *TRANSMER : modèle de simulation des transferts de radionucléides en Manche et Mer du Nord. Choix des options, description, validation et fonctionnalités*. 2003, IRSN. Rapport Rapport DPRE/SERNAT/2003-04, p.
3. IRSN, *Bilan de l'état radioécologique de l'environnement français de 2018 à 2020*. 2021, IRSN. 408 p.
4. Bé, M., Chisté, V., Dulieu, C., Kellet, M.A., Mougeot, X., Arinc, A., Chechev, V.P., Kuzmenko, N.K., Kibédi, A., et Nichols, A.L. *Table of radionuclides*. Monographie BIPM-5 2016; Accessible à l'adresse: <https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographie-ri-5.html>.
5. IRSN, *Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l'environnement*. 2017, IRSN. 76 p.
6. ASN, *Livre blanc du tritium*, 2010, ASN. 304 p.
7. IPSN, *Le tritium dans l'environnement proche du site de l'usine de retraitement de la Hague*. 1998, IPSN. 17 p.
8. IRSN, *Les essais atmosphériques d'armes nucléaires : des retombées radioactives à l'échelle planétaire. Fiche Information de l'Institut de radioprotection et de Sécurité Nucléaire*. 2008, IRSN. 24 p.
9. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français: Conséquences environnementales et exposition des personnes*. Sciences et techniques, ed. E.T. Doc2008, Paris: Lavoisier. 190 p.
10. IAEA/WMO. *Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database*. 2013. Accessible à l'adresse: <http://www.iaea.org/water>.
11. Olive, P., Hubert, P., et Ravailleau, S., *Estimation pratique de "l'âge" des eaux souterraines en Europe par le tritium*. Revue des sciences de l'eau, 1996. 4: 523-533 p.
12. IRSN, *Niveau d'activité du tritium dans l'environnement. Contribution à la synthèse de la DEI sur le tritium*. 2008, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n°2008-34, 57 p.
13. IRSN, *Le tritium dans l'environnement. Point de vue de l'IRSN sur les questions clés et les pistes de recherches et développement*. 2010, IRSN. Rapport Rapport DEI 2010-01, 23 p.
14. Bailly du Bois, P. et Dumas, F., *Fast hydrodynamic model for medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers*. Ocean Modelling, 2005. 9(2): 169-210 p.
15. Levin, I. et Hesshaimer, V., *A unique tracer of global carbon cycle dynamics*. Radiocarbon, 2000. 42(1): 69-80 p.
16. Fiévet, B., Voiseux, C., Rozet, M., Masson, M., et Bailly du Bois, P., *Transfer of radiocarbon liquid releases from the AREVA La Hague spent fuel reprocessing plant in the English Channel*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. 90(3): 173-196 p.
17. IRSN, *Tchernobyl, 25 ans après*. in *Collection thématique de l'IRSN2011*, IRSN. 48 p.
18. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environnementales et exposition des personnes*. 2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.
19. IRSN, *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*. 2011, IRSN. Rapport Rapport DEI/2011-01, 90 p.
20. IRSN. *Expertise de l'IRSN en matière de rejets hospitaliers de médecine nucléaire*. 2018 [cited 2018; Accessible à l'adresse:

http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiqués_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matiere_de_rejets_hospitaliers_medecine_nucleaire.

21. IAEA, *Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment*. 2004, IAEA: Vienna. Rapport STI/DOC/010/422, 95 p p.
22. Douville, E., Fiévet, B., Germain, P., et Fournier, M., *Radiocarbon behaviour in seawater and the brown algae *Fucus serratus* in the vicinity of the COGEMA La Hague spent fuel reprocessing plant (Goury) - France*. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. **77**(3): 355-368 p.
23. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.
24. Reimann, C., Filzmoser, P., et Garrett, R.G., *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. Science of the Total Environment, 2005. **346**: 1-16 p.
25. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014*. 2015, IRSN. 252 p.
26. Masson, M., Siclet, F., Fournier, M., Maigret, A., Gontier, G., et Bailly du Bois, P., *Tritium along the French coast of the English Channel*. Radioprotection, 2005. **40**(Suppl. 1): S621-S627 p.
27. IRSN, *Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 p.
28. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017*. 2018, IRSN. 353 p. p.
29. Direction des études et recherches EDF, *Données courantologiques concernant le site de Penly et conséquences thermiques possibles (avis B)*. 1977, Direction des études et recherches EDF. Rapport E 41/77.03, p.
30. Direction des études et recherches EDF, *Centrale de Penly (Avis C). Impact thermique*. 1978, Direction des études et recherches EDF. Rapport E 42/78-02, p.
31. Nord-Pas-de-Calais, D. *Conditions météo-océaniques*. 2013 [cited 2014; Accessible à l'adresse: http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/static/polmar59/Geographie/conditions_meteo_oceaniques.pdf.
32. EDF, *Dossier de demande de renouvellement des autorisations de prélèvement d'eau et de rejets de la centrale nucléaire de Gravelines*. 1998, EDF. p.
33. Blandin, P., *Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques*. Bulletin d'écologie, 1986. **17**(4) p.
34. Stuiver, M. et Polach, A., *Discussion reporting of ^{14}C data*. Radiocarbon, 1977. **19**(3): 355-363 p.
35. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissement des résultats de mesure - Nombre de chiffres significatifs*. 2004, Laboratoire national Henri Becquerel. Rapport Note technique LNHB/04-13, 8 p.
36. Vray, F., Debayle, C., et Louvat, D., *Long-term flux of Chernobyl-derived ^{137}Cs from soil to French rivers : a study on sediment and biological indicators*. Journal of Environmental Radioactivity. 2003. **68**: 93-114. p.
37. Renaud, P. et Louvat, D., *Magnitude of fission product depositions from atmospheric nuclear weapon test fallout in France*. Health Physics, 2004. **86**(4): 6 p.

10. ANNEXES

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements	212
Annexe 2. Choix des matrices prélevées	212
2.1. Domaine terrestre	212
2.1.1. Les eaux	212
2.1.2. Les bryophytes	213
2.1.3. Les sols	213
2.1.4. L'herbe	213
2.1.5. Les végétaux cultivés	213
2.1.6. Le lait	213
2.2. Domaine aquatique marin	213
2.2.1. Les sédiments	213
2.2.2. Les algues	213
2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés	214
Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses	214
Annexe 4. Choix des analyses	214
Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain	214
5.1. Domaine terrestre	214
5.1.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe)	214
5.1.2. Sols	214
5.1.3. Végétaux	215
5.1.4. Lait	215
5.2. Domaine aquatique marin	215
5.2.1. Sédiments	215
5.2.2. Végétaux	215
5.2.3. Poissons, crustacés, mollusques	215
Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons	216
6.1. Domaine terrestre	216
6.1.1. Eau de boisson	216
6.1.1.1. Mesurage des émetteurs gamma	216
6.1.1.2. Mesurage du tritium	216
6.1.2. Sols	216
6.1.3. Végétaux	216
6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma	216
6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	217
6.1.4. Lait	217
6.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma	217
6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	217
6.2. Domaine aquatique marin	217
6.2.1. Sédiments	217
6.2.2. Végétaux	218
6.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma	218
6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	218
6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques	218
6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma	218
6.2.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴ C	218
Annexe 7. Techniques d'analyses	219
7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments	219
7.1.1. Teneur en matière organique	219
7.1.2. Granulométrie	219
7.2. Identification des espèces vivantes	219
7.3. Mesure du tritium libre	219
7.4. Mesure du tritium organiquement lié	220
7.5. Mesure du ¹⁴ C	220
7.6. Spectrométrie γ	221

Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées.....	221
Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement	223
9.1. Radioactivité d'origine naturelle	223
9.2. Radioactivité d'origine artificielle	224
9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires	225
9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires	225
9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal	225
9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations.....	225
9.3. Sources de ³ H	226
9.4. Sources de ¹⁴ C	226
Annexe 10. Laboratoires d'analyses	227

ANNEXES

Comme pour toute expertise radioécologique de site reposant sur des résultats de mesures, le choix et la mise en place de la stratégie d'échantillonnage sont primordiaux. Il est nécessaire de choisir des lieux de prélèvement et des matrices capables de rendre compte d'un éventuel marquage de l'environnement par les radionucléides émis lors des rejets d'effluents liquides ou atmosphériques des installations étudiées.

Les bryophytes, les phanérogames aquatiques ou les algues sont utilisés comme indicateur des activités présentes dans les vecteurs de diffusion des rejets (air et eau). Les sols et sédiments sont des matrices d'accumulation des radionucléides. Pour répondre à des besoins de radioprotection, des produits végétaux (légumes-feuilles essentiellement) ou animaux consommables localement (poissons, mollusques, crustacés, lait de vache ou de chèvre) font l'objet d'une surveillance. Les eaux destinées à l'irrigation ou à la consommation sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Afin de rendre les études autour des CNPE français homogènes et d'établir si besoin des comparaisons, les plans d'échantillonnage sont établis de manière standardisée et, autant que possible, reproduits d'un site à l'autre. La figure 33 page 211 présente de manière schématique le plan d'échantillonnage avec notamment le type de matrices prélevées. Des prélèvements supplémentaires ou des prélèvements de matrices différentes peuvent être réalisés, en particulier dans le cadre des prescriptions techniques formulées par l'ASN, en matière de surveillance de l'environnement. La stratégie d'échantillonnages et d'analyses, fournie par EDF, est mise à jour annuellement par EDF en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de la réglementation.

La localisation des prélèvements est définie en fonction du contexte géographique et environnemental de chaque site. Les prélèvements dans l'environnement terrestre sont répartis en fonction de la direction des vents, en distinguant notamment les zones potentiellement influencées par les rejets d'effluents atmosphériques des zones hors vents dominants. Dans l'environnement aquatique continental, on distingue les prélèvements effectués en amont ou en aval des points de rejets des effluents liquides des CNPE, en tenant compte de la présence possible d'une autre installation en amont sur le fleuve. Bien que souvent complexes à définir, les conditions hydrodynamiques locales sont également des facteurs importants à prendre en considération lors des choix des lieux de prélèvements en milieu marin.

La mesure gamma permet de quantifier les activités d'un large spectre de radionucléides naturels et artificiels. C'est la raison pour laquelle elle a été retenue lors des premiers suivis radioécologiques annuels. Une recherche spécifique de ^{131}I par spectrométrie gamma a été entreprise depuis 1997 sur quelques végétaux terrestres et aquatiques. Outre les mesures des niveaux d'activités des radionucléides émetteurs gamma, les activités en tritium libre (HTO) ont été quantifiées annuellement depuis l'année 2000. L'amélioration des limites de détection et des capacités métrologiques font que, depuis 2009, la quantification des activités en tritium organiquement lié (TOL) et carbone-14 (^{14}C) est introduite dans la stratégie d'étude.

Toutes les informations concernant l'identification, la localisation, puis les traitements et les mesures effectués sur les échantillons prélevés, sont enregistrées dans la base de données exploitée par l'IRSN. La traçabilité et la qualité des différentes opérations sont ainsi garanties et vérifiables. De plus, cela permet l'archivage et l'exploitation de séries chronologiques ou spatiales de données. Leur exhaustivité et leur homogénéité depuis 1991 permet leur utilisation à tout moment pour une expertise ou une étude particulière. Les étapes détaillées suivies par un échantillon depuis le prélèvement jusqu'à la mesure sont décrites dans « l'appendice méthodologique ».

L'exploitation des résultats repose sur la connaissance nécessaire des différentes sources de radioactivité gamma, tritium et ^{14}C dans l'environnement.

Sur le territoire français métropolitain, des radionucléides d'origine naturelle tellurique (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th et leurs descendants) ou cosmogénique (^3H , ^7Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^3H , ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts

globaux de ces radionucléides (^3H , ^{14}C et ^{137}Cs) sont liés aux retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980, et, pour le ^{137}Cs , au passage en mai 1986 du panache radioactif consécutif à l'accident de Tchernobyl. Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi ont été décelées ponctuellement et à l'état de trace, en France, essentiellement en 2011 et jusqu'en 2013.

Localement, les rejets d'effluents effectués par les installations peuvent conduire à un marquage de certains compartiments de l'environnement en radionucléides artificiels. Les radionucléides émetteurs gamma présents dans les effluents radioactifs peuvent être des produits d'activation neutronique ou des produits de fission. Dans les CNPE, ^{14}C , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{124}Sb sont par exemple générés par l'activation des matériaux de structure des installations ; ^{134}Cs , ^{137}Cs , et ^{131}I , sont des produits de fission. Le ^3H provient principalement de l'activation neutronique du bore contenu dans le circuit primaire. Il est cependant important de tenir compte des possibles influences liées aux rejets de ces mêmes radionucléides par d'autres installations. Cela concerne par exemple les rejets d'effluents liquides des centres hospitaliers (rejets de ^{131}I). L'industrie horlogère en France et en Suisse a utilisé du tritium jusque dans les années 1990. Les résidus sont encore présents dans le Rhône et le Rhin aujourd'hui. Des centres d'études ou de recherche (CEA, instituts, CERN, etc.) contribuent au marquage des écosystèmes aquatiques. Par exemple, les eaux du Rhin, au niveau du CNPE de Fessenheim, peuvent apporter des radionucléides rejetés par les sites nucléaires suisses situés en amont. Les rejets des installations d'ORANO La Hague en Manche sont en partie responsables d'un marquage de l'environnement marin à proximité des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines. Les rejets atmosphériques des installations d'ORANO à Marcoule contribuent au marquage de la partie sud de la zone d'étude autour du Tricastin.

L'identification de radionucléides « traceurs » des rejets des différentes installations permet de rechercher les contributions des différentes sources de rejet au marquage de l'environnement. Les produits d'activation hormis les ^3H et ^{14}C (^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$) sont caractéristiques de rejets issus d'activité nucléaire. Leur présence dans les matrices de l'environnement traduit donc un marquage par des rejets d'effluents locaux. Pour déterminer les marquages éventuels en ^3H et ^{14}C , il est indispensable d'avoir une référence hors influence.

L'ensemble des techniques utilisées est décrit dans les documents de l'Assurance de la Qualité de l'IRSN. Les principales d'entre elles sont résumées ci-après.

En début de ce chapitre, il paraît nécessaire de donner la définition du terme de bio-indicateur. Blandin [33] donnait du bio-indicateur la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

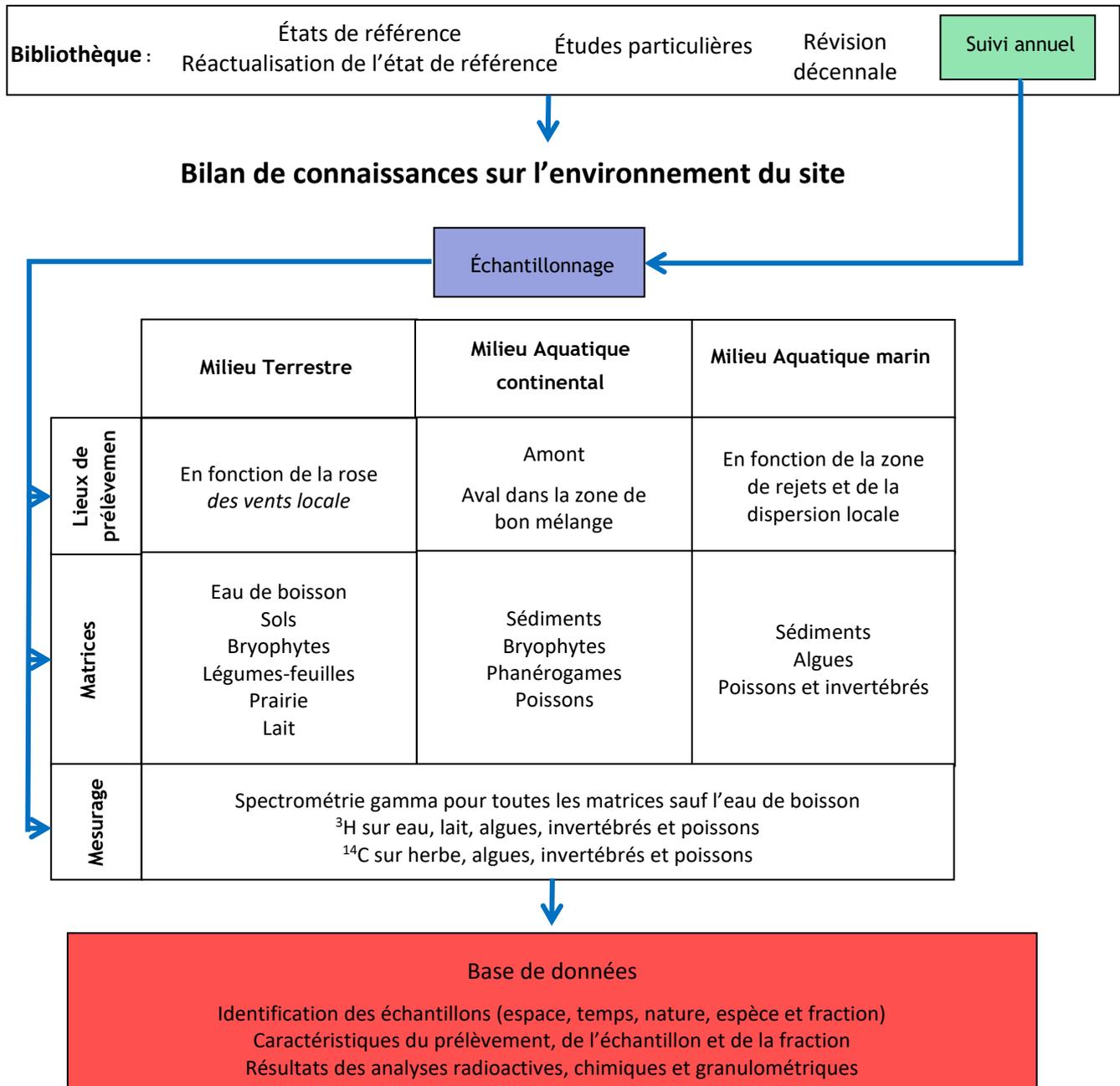


Figure 33 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements

La localisation des stations de prélèvements suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché.

Annexe 2. Choix des matrices prélevées

Comme indiqué dans le cahier des charges, « EDF a défini une stratégie de surveillance basée sur la complémentarité des mesures réglementaires et des études radioécologiques d'expertise. Cette stratégie se traduit par un plan de prélèvements et d'analyses tenant compte de nombreux paramètres de façon à obtenir des résultats aussi représentatifs que possible du milieu étudié. Cette représentativité porte sur :

- les échantillons prélevés, dont la représentativité dépend notamment du radionucléide recherché, de la disponibilité dans l'environnement de la matrice échantillonnée, de la fréquence de prélèvement, de la zone de prélèvement, des méthodes de prélèvement et de conservation de l'échantillon...
- les mesures réalisées, dont la représentativité dépend des traitements subis par l'échantillon, du protocole et des contraintes analytiques, de l'appareillage utilisé...

Le choix du type de matrices échantillonnées (bioindicateurs, compartiments d'accumulation, produits de consommation, vecteurs de la radioactivité...) et de la fréquence d'échantillonnage impose des zones de prélèvements dans lesquelles une matrice de ce type est présente et disponible en quantités suffisantes pour supporter la périodicité des prélèvements. Ce critère de disponibilité conditionne le choix d'une espèce en particulier, à laquelle des critères spécifiques en termes d'échantillonnage peuvent être associés, notamment des critères relatifs à la zone de prélèvement (ex. zone dégagée de tout obstacle).

Qu'il s'agisse du milieu terrestre ou des milieux aquatiques (dulçaquicoles ou marins), le choix des points de prélèvement est basé sur une prise d'échantillon double permettant de collecter une matrice, sous et hors influence potentielle des rejets d'effluents atmosphériques ou liquides de chaque installation, et ainsi disposer de valeurs permettant de mettre en évidence et de quantifier une éventuelle influence des rejets des installations. Les études de dispersion et de dilution dans le milieu des rejets d'effluents atmosphériques et liquides permettent d'identifier les zones sous influence potentielle et hors influence des rejets des sites.

Le choix d'une zone de prélèvement pour chaque matrice correspond donc au meilleur compromis possible permettant de répondre au mieux à l'ensemble de ces critères génériques et spécifiques. Une fois la zone de prélèvement déterminée, le choix des points de prélèvement doit tenir compte des aspects liés à la sécurité : les points retenus doivent être aisément accessibles et permettre les prélèvements en toute sécurité.

De plus, le choix des stations de prélèvements est effectué sur la base du retour d'expérience acquis dans le cadre de la surveillance radioécologique des sites et dans l'objectif de pouvoir comparer les résultats obtenus sur le long terme. Ainsi, dans la mesure du possible, les prélèvements seront réalisés aux mêmes points de prélèvements et aux mêmes périodes d'une année sur l'autre de manière à assurer une continuité géographique et temporelle. »

2.1. Domaine terrestre

2.1.1. Les eaux

Les prélèvements sont réalisés préférentiellement dans les réseaux de distribution d'eau potable, sinon dans le réseau de distribution d'eau d'irrigation. Les radionucléides sont recherchés dans la phase dissoute.

2.1.2. Les bryophytes

Les bryophytes terrestres constituent d'excellents indicateurs des apports atmosphériques. En effet, ne disposant pas de racines, leur principale voie d'absorption est aérienne. Des processus actifs de conduction d'eau par capillarité et d'échanges d'ions par voie extracellulaire permettent aux mousses de piéger les éléments nécessaires à leur croissance. En plus de ce mode d'intégration actif, les phénomènes passifs d'accumulation des poussières atmosphériques par piégeage mécanique contribuent à concentrer la radioactivité du fait d'un important rapport surface/volume. Leur cycle de vie pluriannuel en fait un indicateur pertinent pour l'observation des apports atmosphériques à long terme.

2.1.3. Les sols

On distingue les sols cultivés pour lesquels des labours sont réalisés des sols non cultivés sur lesquels les cultures pluriannuelles ne demandent aucun remaniement (pâturages). Les sols non cultivés sont des intégrateurs pluriannuels des retombées atmosphériques. N'ayant pas subi de labourage récent, les radionucléides déposés à leur surface ne sont pas dilués dans la couche de labour.

2.1.4. L'herbe

Les prairies naturelles, non cultivées, sont privilégiées afin de rendre compte des transferts de radionucléides à partir d'un sol non remanié depuis plusieurs décennies. La mesure dans l'herbe permet d'évaluer l'activité des radionucléides déposés par voie atmosphérique au cours du cycle végétatif de la prairie échantillonnée (quelques mois) et ceux incorporés par voie racinaire.

2.1.5. Les végétaux cultivés

Parmi les végétaux cultivés, les salades sont privilégiées. Elles représentent la catégorie de légumes à feuilles, largement consommée. Seules les parties aériennes, sans contact avec le sol, sont échantillonnées. Leur grande surface d'interception en fait d'assez bons indicateurs des retombées atmosphériques de l'année.

2.1.6. Le lait

Les mesures dans le lait permettent de disposer d'échantillons intéressants en matière de radioprotection. La mesure du lait est pertinente pour rendre compte d'un éventuel marquage par les retombées atmosphériques, même très faibles, du fait des grandes surfaces d'herbe consommées pour produire ce lait. En effet la surface d'herbe consommée par une vache pour produire 1 litre de lait est nettement supérieure à la surface d'un prélèvement d'herbe.

2.2. Domaine aquatique marin

2.2.1. Les sédiments

Les sédiments de surface intègrent les dernières phases de dépôt du système aquatique et les résultats de mesures sont donc représentatifs des activités rejetées au cours des derniers mois. D'une manière générale, plus les particules sont fines plus elles développent, à masse identique, une surface d'échange importante susceptible de retenir des radionucléides tels que les produits de fission ou d'activation. Les zones de sédimentation des particules fines sont privilégiées, dans la mesure du possible, afin d'optimiser la détection des radionucléides. Les analyses portent sur la fraction inférieure à 2 mm.

2.2.2. Les algues

Les macroalgues peuvent concentrer jusqu'à 10 000 fois les radionucléides dissous dans l'eau de mer [21]. Les algues brunes du genre *Fucus* sont parmi les meilleurs bioindicateurs de la diversité et des niveaux d'activité des

radionucléides naturels et artificiels en milieu marin. Des échantillons de Fucus de la même espèce, dans la mesure du possible, ont été collectés manuellement et rincés sur place dans l'eau de mer pour éliminer d'éventuelles particules sédimentaires, ainsi que la majeure partie de l'épiflore et de l'épifaune.

2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés

Seule la partie consommée est analysée dans la majeure partie des cas. Cette fraction est en outre représentative des radionucléides assimilés.

Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses

La fréquence des analyses suit les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Dans le rapport du suivi radioécologique annuel sont exploités les résultats d'analyses sur les prélèvements collectés annuellement et spécifiquement pour le suivi radioécologique annuel. En complément, sont intégrés des résultats d'analyses acquis par l'IRSN pour EDF dans le cadre de la réglementation. Il s'agit en particulier des analyses de ^{14}C sur les végétaux collectés trimestriellement sous les vents des CNPE.

Annexe 4. Choix des analyses

Les analyses réalisées suivent les demandes EDF exprimées dans le cahier des charges du marché. Elles portent sur les radionucléides les plus rejetés par les CNPE : tritium, ^{14}C , produits d'activation ou de fission présents dans les rejets d'effluents liquides (émetteurs gamma comme les ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{63}Ni , $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs ou ^{137}Cs) ou atmosphériques (émetteurs gamma comme les ^{58}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs ou ^{137}Cs). Les rejets atmosphériques comprennent aussi des gaz rares et des iodes.

Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain

5.1. Domaine terrestre

5.1.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe)

La réalisation d'une spectrométrie gamma nécessite la collecte de 90 litres d'eau, stockés en bidons plastiques référencés, et acidifiés à l'acide nitrique molaire à raison de 1 mL par litre. Cette acidification est destinée à éviter le développement des micro-algues et à limiter la fixation de radionucléides sur les parois des récipients. La mesure du tritium nécessite la collecte de 80 mL d'eau filtrée à 0,22 μm puis répartie dans deux flacons en verre fermés hermétiquement. Tous les prélèvements d'eau de boisson sont réalisés après avoir fait couler de l'eau durant plusieurs minutes afin de purger la canalisation. Les eaux de nappe sont prélevées à l'aide de pompes pour piézomètres. Ces échantillons sont conservés au frais jusqu'à leur envoi au service de métrologie.

5.1.2. Sols

Les sols non caillouteux sont prélevés avec une tarière racinaire de 8 cm de diamètre.

Pour les sols cultivés, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 20 cm. Dans le cas des sols non cultivés, le prélèvement est réalisé dans l'horizon superficiel entre 0 et 5 cm ; dans le cas des bilans radioécologiques décennaux, trois prélèvements sont effectués entre 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm.

Plusieurs points de prélèvement proches les uns des autres sont réalisés afin d'obtenir un échantillon de 2 à 3 kg qui est placé dans un sac plastique, préalablement référencé.

5.1.3. Végétaux

La quantité de végétal (ou de fraction de végétal) à prélever est déterminée en fonction du rapport de poids frais / poids sec de l'échantillon (estimé a priori) et de la quantité nécessaire pour faire la mesure. L'échantillon est récolté à la main ou à l'aide d'outils tranchants, puis placé dans un sac plastique préalablement référencé et immédiatement fermé. Si l'échantillon doit être soumis à un mesurage du ^{14}C , il est immédiatement mis au frais.

5.1.4. Lait

Le lait est prélevé directement à la ferme, chez le producteur. Les 6 à 18 litres nécessaires pour la réalisation d'une spectrométrie gamma, sont stockés dans des flacons référencés. Pour le mesurage du ^3H libre, lié et ^{14}C 1 à 2 litre est conservé au frais.

5.2. Domaine aquatique marin

5.2.1. Sédiments

Les sédiments marins sont prélevés soit avec une pelle à marée basse, soit au cône de Berthois pour les vases de port. Les stations de prélèvement sont choisies en fonction de la sédimentologie propre à chaque site, dans la mesure du possible dans les zones de sédiments les plus fins. Environ 5 kg de sédiments sont prélevés, conditionnés en double sac plastique, référencés puis acheminés et conservés en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

5.2.2. Végétaux

Les algues sont prélevées à la main dans la zone de balancement des marées. Après avoir localisé les différentes espèces d'algues présentes, un prélèvement de 5 à 10 kg est effectué sur trois à cinq points dans une population algale monospécifique. Ceci permet d'obtenir un échantillon intégrant les variations des activités des divers radionucléides en fonction de l'étagement. Les algues sont débarrassées de la faune et de la flore épiphytes et lavées dans une mare d'eau de mer ou directement dans la mer, selon la configuration du site. Après étiquetage, les sacs d'algues sont acheminés et conservés en chambre froide à 4°C en attente du traitement.

5.2.3. Poissons, crustacés, mollusques

Les pêches sont réalisées selon les techniques locales propres à chaque site et en fonction des espèces. En général, les poissons et les crevettes sont prélevés au filet, les crustacés au casier (tourteaux, homards) ou à la nasse. Les mollusques sont soit prélevés sur l'estran à la main (moules, patelles), soit au large au casier (bulots) ou à la drague. 5 à 20 kg de produits frais sont prélevés et congelés avant préparation. Chaque lot de poissons ou de crustacés est constitué, dans la mesure du possible, d'individus de même taille et de poids similaire.

Les pêches sont réalisées en fonction de la présence des espèces, dans un rayon de 5 à 40 km autour du site. La pêche en mer, souvent aléatoire, ne permet pas, notamment pour les poissons, de garantir des prises de chaque espèce, chaque année.

Les supports logistiques des laboratoires maritimes ou des pêcheurs locaux sont sollicités pour réaliser certains prélèvements. Après étiquetage, les échantillons sont acheminés et conservés en congélateur avant traitement.

Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons

6.1. Domaine terrestre

6.1.1. Eau de boisson

6.1.1.1. Mesurage des émetteurs gamma

Pour le mesurage des émetteurs gamma, chaque échantillon de 90 litres environ est ramené à un volume de 500 mL par évaporation à 70 °C. L'échantillon concentré est transvasé dans un conteneur pour échantillons liquides (SG500), équivalent de la géométrie 380 mL. Il est alors expédié au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.1.1.2. Mesurage du tritium

La préparation pour le mesurage du ^3H se fait sur le terrain par filtration sur filtre plan de porosité 0,22 μm de deux échantillons de 40 ml, puis expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.1.2. Sols

Après émottage et quartage, 300 g environ sont séchés à l'étuve à une température inférieure à 40 °C, placés dans un sachet, référencés et expédiés, pour l'analyse granulométrique et la détermination de la teneur en matière organique, à la Société du Canal de Provence ou à l'INRA d'Arras. En ce qui concerne les analyses par spectrométrie gamma, 1,5 kg d'échantillon est séché et tamisé à 2 mm. 350 à 500 g de la fraction de terre fine (< 2 mm) ainsi séparés sont broyés puis conditionnés dans une boîte cylindrique en matière plastique (géométrie solide 380 mL), dont les dimensions sont spécifiques aux comptages en spectrométrie γ . Référencée, cette boîte est expédiée au laboratoire de métrologie de l'IRSN.

6.1.3. Végétaux

6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, les échantillons sont immédiatement nettoyés et pesés frais. Ils sont ensuite placés en étuve à moins de 105 °C jusqu'à dessiccation complète (24 à 48 h). Le poids sec de l'échantillon est noté, puis le résidu sec est mis au four. La montée en température s'effectue par paliers successifs afin d'éviter l'inflammation des échantillons (Figure 34 page 217). À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre, afin de concentrer le maximum de matière dans le minimum de volume. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en matière plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL, référencées. Le poids du contenu est noté puis la géométrie est expédiée au service de métrologie de l'IRSN afin d'effectuer une spectrométrie γ . Le rapport poids frais / poids sec est déterminé sur chaque aliquote de façon à exprimer l'ensemble des résultats dans la même unité ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{sec}$).

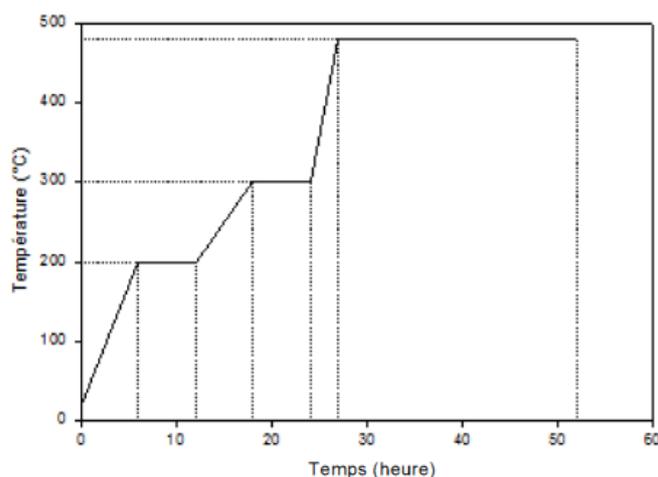


Figure 34 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

Les analyses destinées à la mesure de l'¹³¹I sont effectuées rapidement, idéalement dans les 8 jours qui suivent le prélèvement. Les échantillons peuvent être mesurés frais (mousses, herbe) ou sec (lait).

6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

6.1.4. Lait

6.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma

De retour au laboratoire, 6 à 18 litres de lait sont évaporés dans une étuve à moins de 105 °C. Le résidu sec est ensuite incinéré selon le protocole cité précédemment. À la sortie du four, les cendres sont pesées puis broyées jusqu'à obtention d'une poudre. Le conditionnement est réalisé dans des boîtes en plastique (géométries) de 17 mL ou de 60 mL. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie afin d'effectuer une spectrométrie γ.

6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ¹⁴C

Un litre de lait est lyophilisé de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et du ¹⁴C. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 µm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminisés sous vide.

6.2. Domaine aquatique marin

6.2.1. Sédiments

Les sédiments sont émottés à la main et tamisés à 2 mm puis séchés à 40°C. La fraction supérieure à 2 mm est écartée. Une fraction est réservée pour la granulométrie et la détermination de la teneur en matière organique. Une géométrie de comptage de 380 mL est remplie pour effectuer une spectrométrie γ .

6.2.2. Végétaux

6.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma

Les algues sont triées et les thalles (appareil végétatif des végétaux inférieurs) présentant une épifaune et une épiflore sont éliminés. Pesées fraîches, elles sont séchées à moins de 105 °C jusqu'à poids constant et pesées sèches. Elles sont ensuite incinérées à 480 °C dans un four à moufle (cf. chronique d'une incinération, Figure 34 page 217). Les cendres sont pesées puis broyées. En fonction du volume de matières préparé, un conteneur 380 mL (sec) ou 60 ou 17 mL (cendres) est utilisé. Le protocole de préparation et de mesurage de ^{131}I pour les végétaux terrestres est appliqué sur une partie des algues. Référencées, ces boîtes sont expédiées au laboratoire de métrologie.

6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C

L'aliquote mise au frais sur le terrain est immédiatement lyophilisée ou à défaut entreposée au congélateur. Le rapport de poids est calculé et noté, pour s'assurer de la qualité du traitement. Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au service de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 μm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au service de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques

6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma

Les préparations consistent à séparer les parties comestibles des parties non comestibles. Pour les poissons, les filets (muscles) sont levés après décongélation éventuelle ; la tête, la peau, les viscères et les arêtes sont éliminées. Les chairs de certains crustacés (homards) sont disséquées, tandis que d'autres sont préparés entiers (crevettes et tourteaux). En effet, il n'est pas raisonnable de collecter suffisamment d'individus sur de petites zones de pêche pour permettre la réalisation des mesures sur les chairs. Pour les mollusques, l'ensemble des parties molles est retenu après séparation et élimination des coquilles. Les mêmes traitements que pour les végétaux (cf. ci-dessus) sont réalisés par la suite.

6.2.3.2. Mesurage du tritium et ^{14}C

Une aliquote est lyophilisée de manière à extraire l'eau contenue dans l'échantillon. L'extrait sec est destiné à mesurer le tritium organiquement lié et le ^{14}C . Le conditionnement de la matière sèche est réalisé dans des sachets aluminisés sous vide. Le poids du contenu est noté puis la boîte référencée est expédiée au laboratoire de métrologie. L'eau de lyophilisation est filtrée sur filtre plan à 0,22 μm puis 40 mL sont conditionnés dans un flacon en verre brun et expédiés au laboratoire de métrologie dans des sachets aluminés sous vide.

Annexe 7. Techniques d'analyses

7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments

Ces analyses sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses des Eaux de la Société du Canal de Provence ou par le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras.

7.1.1. Teneur en matière organique

La matière organique des sédiments et des sols est dosée par calcination. Les échantillons, préalablement séchés à 105 ± 2 °C jusqu'à poids constant, sont calcinés dans un four à moufle porté progressivement jusqu'à une température de 480 °C. La perte de masse permet de connaître directement le pourcentage de matière organique.

7.1.2. Granulométrie

La technique d'analyse granulométrique consiste tout d'abord en une attaque de la matière organique par l'eau oxygénée à 20 volumes, qui permet d'éliminer ce liant des particules. Une agitation mécanique dans l'hexamétaphosphate de sodium va disperser les particules dans un flacon à sédimentation.

La séparation des argiles, limons fins et grossiers est réalisée au moyen de prélèvements de 20 ml de cette suspension, en se basant sur la loi de Stokes qui régit la sédimentation des particules dans un liquide à température constante. Des abaques permettent en effet de connaître la profondeur de sédimentation de chacune de ces fractions en un temps donné. Les aliquotes prélevées sont déposées dans des capsules et desséchées à 103 ± 2 °C jusqu'à poids constant.

Le fractionnement des sables se fait par la superposition de tamis de 200 μ m et de 50 μ m. Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 μ m.

7.2. Identification des espèces vivantes

Une fraction des échantillons de mousses prélevées est mise à sécher à l'air libre. Leur identification est réalisée selon le besoin. Notamment, les mousses aquatiques qui peuvent être identifiées par le Laboratoire AgroCampus Ouest de Rennes.

Les phanérogames terrestres, aquatiques et semi-aquatiques sont identifiées par nos soins.

La détermination des espèces de poissons est effectuée après capture, lors des mesures de biométrie, par un pêcheur professionnel.

7.3. Mesure du tritium libre

La mesure du tritium libre est réalisée par le service de métrologie de l'IRSN Orsay (Essonne).

Il est entendu par « tritium libre » le tritium de la molécule d'eau ou pouvant être recouvré sous forme d'eau par déshydratation d'un échantillon solide (eau interstitielle, eau tissulaire).

Les échantillons d'eau, excepté les eaux de lyophilisation, sont distillés à sec. Les échantillons solides frais sont lyophilisés à froid sous vide, permettant de séparer la fraction eau et la fraction sèche. Dans le cas des produits alcoolisés, une distillation partielle est effectuée sur la fraction liquide recueillie pour isoler l'eau de l'alcool.

7.4. Mesure du tritium organiquement lié

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par spectrométrie de masse est privilégiée pour les échantillons à faible teneur en matière organique, notamment les sols et sédiments.

Par scintillation, l'échantillon déshydraté subit une combustion en flux d'oxygène et d'argon. Le système de combustion est constitué d'un tube de quartz glissé dans deux fours annulaires. Le premier four est réglable en température, de la température ambiante à 1000°C. Le second four est réglé à une température de 1000 °C. Les vapeurs d'eau de combustion sont récupérées en sortie de four par un piège froid. L'eau de combustion recueillie est distillée à sec.

Le tritium organiquement lié peut être également déterminé en mesurant par spectrométrie de masse, la quantité d'hélium 3 (^3He), descendant du tritium. L'échantillon est lyophilisé, puis conditionné dans un conteneur, garantissant une étanchéité totale. L'isolement est maintenu le temps nécessaire à la formation de la quantité d' ^3He nécessaire. Ce délai varie généralement entre 3 et 6 mois et dépend de la masse d'échantillon introduite, des performances du spectromètre de masse, de la quantité de tritium attendue et de l'incertitude souhaitée. A l'issue de la période de stockage, le conteneur est monté sur la ligne d'introduction du spectromètre de masse pour la mesure de l'hélium. L'activité en tritium est déterminée par calcul de décroissance.

Les mesures sont effectuées sur un spectromètre VG-3000 de chez Micromass.

7.5. Mesure du ^{14}C

Deux méthodes sont utilisées, par scintillation ou par spectrométrie de masse. La mesure par accélérateur est privilégiée sur les échantillons présentant un faible taux de matière organique, les sols et les sédiments notamment.

Avant la mesure par scintillation, le carbone des échantillons est oxydé en dioxyde de carbone dans une bombe à combustion. Le dioxyde de carbone est ensuite transformé en carbure de lithium, qui, par hydrolyse, donne de l'acétylène. Ce dernier est trimérisé en benzène. La multiplication par le rapport 78/72 de l'activité mesurée en benzène par scintillation permet d'exprimer l'activité en Bq.kg^{-1} de carbone.

Avant la mesure par spectrométrie, les sédiments et les sols à traiter sont totalement décarbonatés durant plusieurs jours dans de l'acide dilué, puis rincés à l'eau ultrapure jusqu'à un pH neutre. Les échantillons sont brûlés pendant 4 heures à 900 °C. La quantité de carbone contenu dans le gaz est mesurée. Le CO_2 obtenu est ensuite réduit par H_2 en présence de poudre de fer à 575°C. Le carbone se dépose sur la poudre de fer et le mélange est pressé dans une cible afin d'être mesuré.

L'activité en ^{14}C de l'échantillon est calculée en comparant les intensités mesurées séquentiellement des faisceaux de ^{14}C , ^{13}C et ^{12}C de chaque échantillon avec ceux de standards de CO_2 préparés à partir de l'acide oxalique de référence HOxI.

La mesure des rapports isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et du carbone total s'effectuent sur un couplage d'un analyseur élémentaire relié à un spectromètre de masse isotopique par combustion totale du prélèvement analytique à 1050°C sous courant d'un mélange d'oxygène et d'hélium. Le carbone des échantillons est transformé en CO_2 et quantifié par des détecteurs spécifiques infrarouge CO_2 . Ces analyses sont réalisées par l'Institut des Science Analytique (CNRS) de Villeurbanne.

7.6. Spectrométrie γ

L'essentiel des mesures par spectrométrie γ est réalisé par le service de métrologie de l'IRSN accrédité COFRAC pour les matrices exploitées dans cette étude. La mesure de l' ^{131}I des échantillons collectés en Manche et mer du Nord est effectuée au laboratoire d'Octeville (LRC) de l'IRSN.

L'IRSN dispose d'installations de mesure spécifiques lui permettant de détecter et de quantifier les radionucléides naturels ou artificiels émetteurs γ dans des échantillons de très faibles niveaux de radioactivité comme c'est le cas des échantillons issus de l'environnement.

L'un des objectifs du service de métrologie est de détecter les niveaux de radioactivité les plus bas en jouant sur l'efficacité de la détection, le mouvement propre et le bruit de fond radioactif de l'installation. Un autre objectif est d'assurer que la qualité des résultats reste constante au cours du temps à l'aide d'un programme d'assurance qualité.

Afin de protéger les détecteurs du rayonnement cosmique secondaire, la salle de mesure blindée est en sous-sol, à 6 m de profondeur. Pour augmenter la protection contre ce type de rayonnement, sous-sol et rez-de-chaussée sont séparés par une dalle de béton de 3 m d'épaisseur. Le blindage de la salle est constitué d'un mur de 10 cm de plomb (115 tonnes de plomb) de faible radioactivité. Cependant, les rayonnements cosmiques induisent une fluorescence X du plomb qui fait apparaître des raies parasites jusqu'à 90 keV. Le mur de la salle blindée a donc été doublé d'une couche interne de 10 mm de cuivre électrolytique qui neutralise cette fluorescence X. De plus, les matériaux utilisés dans la chambre blindée, en particulier les aciers entrant dans les supports des détecteurs, ont été sélectionnés pour leurs faibles niveaux radioactifs. Ces précautions réduisent les sources de radioactivité liées à l'introduction du matériel de mesure. De même, des précautions sont prises pour limiter les effets des sources potentielles de radioactivité naturelle, tels les radionucléides appartenant aux familles radioactives de l'uranium et du thorium comme le ^{40}K , ou artificielles, comme les radionucléides issus des essais nucléaires aériens ou d'accidents nucléaires.

Les détecteurs sont de type Gamma-X Ge System, d'efficacité comprise entre 10 et 23 %, et d'une résolution de 850 eV à 100 keV. Les spectrométries sont réalisées dans la bande d'énergie allant de 20 keV à 3 MeV. La méthode de mesure (acquisition et traitement des spectres) est celle développée par la société Silena et utilisée dans les logiciels Emca Plus et Silgamma.

Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées

Les résultats d'analyse de radioactivité sont rapportés à la date de prélèvement.

Les activités en émetteurs gamma sont reportées en Bq.kg^{-1} de matière sèche pour les résultats dans la plupart des matrices, en Bq.kg^{-1} frais pour les poissons, mollusques et crustacés et en Bq.L^{-1} dans le lait et l'eau. Le ^{137}Cs , émetteur β^- , donne naissance avec un rendement de 94,6 % au $^{137\text{m}}\text{Ba}$ de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ^{137}Ba , stable. Le $^{137\text{m}}\text{Ba}$ conduit au ^{137}Ba , avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du $^{137\text{m}}\text{Ba}$, sera reportée sous l'intitulé ^{137}Cs usuellement utilisé.

Les activités en tritium sont reportées en Bq.L^{-1} d'eau de cryodessiccation pour le tritium libre mesuré dans le lait et les poissons, en Bq.L^{-1} d'eau filtrée pour les résultats dans les prélèvements d'eau de boisson ou d'irrigation. Les activités en tritium organiquement lié sont reportées en Bq.L^{-1} d'eau de combustion et en Bq.kg^{-1} de matière sèche.

Les activités en ^{14}C sont reportées en Bq.kg^{-1} de carbone ainsi qu'en pMC (pourcentage de carbone moderne). Le pMC est calculé à partir du résultat en Bq.kg^{-1} de carbone (A ci-dessous) et du résultat de la mesure du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$ ci-dessous) :

$$pMC = A \left\{ 1 - \frac{2 \times (25 + \delta^{13}\text{C})}{1000} \right\} \times \frac{100}{226}$$

d'après [34]

Chacun des résultats de mesure du ^{14}C en Bq.kg^{-1} de carbone (BqC ci-dessous) est assorti du résultat de la mesure du carbone total en g.kg^{-1} sec (C ci-dessous) pour permettre l'expression du résultat en Bq.kg^{-1} de matière sèche (BqS ci-dessous) :

$$\text{BqS} = \text{BqC} (C / 1000)$$

Dans les tableaux récapitulatifs concernant les données antérieures relatives à un site, une vision synthétique de l'ensemble des résultats disponibles est donnée par l'utilisation de leur gamme de variation. Ces tableaux comprennent les valeurs minimales et maximales mesurées pour chaque radionucléide décelé, ainsi que leur fréquence de détection (égale au nombre d'échantillons où le radionucléide est détecté de manière significative divisé par le nombre d'échantillons analysés). Lorsqu'aucune valeur significative n'a été obtenue, les données chiffrées sont remplacées par un tiret (-).

Dans les tableaux des résultats de l'année ainsi que dans le texte, les résultats sont accompagnés de l'incertitude statistique, calculée pour un intervalle de confiance de 95 %, et sont présentés dans les tableaux par : « valeur \pm incertitude » ($\pm 2 \sigma$). De 1996 à 2010, ces tableaux indiquaient, en outre, la Limite de Détection (LD) associée à la mesure des radionucléides non détectés. Depuis 2011, cette LD fait place au Seuil de Décision (SD = LD/2). En outre, le couple « valeur \pm incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [35].

Les graphiques présentent les valeurs significatives (rond coloré) accompagnées de leurs incertitudes (barres verticales colorées hautes et basses) ou le seuil de décision (barre colorée depuis l'abscisse) dans le cas de valeurs non significatives (Figure ci-dessous).

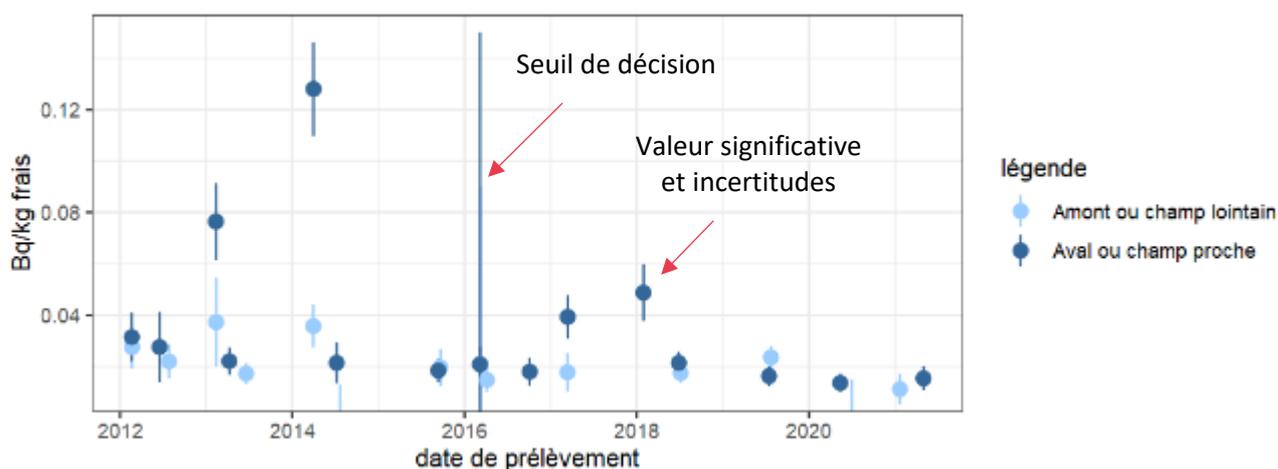


Figure 35 - Valeurs significatives et seuils de décision dans les graphiques.

Dans le milieu aquatique continental, les résultats de mesure du ^{137}Cs peuvent être normalisés par la granulométrie pour baisser la variabilité naturelle [36]. Ainsi les résultats de chacun des deux prélèvements en aval sont normalisés selon leur granulométrie pour être ramenés à la granulométrie du prélèvement en amont selon la formule :

$$^{137}\text{C}_{S_{ref}} = ^{137}\text{C}_{S_{meas}} \cdot \frac{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{ref} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{ref}}{(1.15 \pm 0.20) \cdot \text{CC}_{meas} + (0.43 \pm 0.16) \cdot \text{FSC}_{meas}}$$

Où :

$^{137}\text{C}_{S_{ref}}$ = activité massique en ^{137}Cs normalisée (une station aval dans ce document) ;

$^{137}\text{C}_{S_{meas}}$ = activité massique en ^{137}Cs mesurée (une station aval dans ce document) ;

CC_{ref} = teneur en argile du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

CC_{meas} = teneur en argile du sédiment mesuré ;

FSC_{ref} = teneur en limon fin du sédiment de référence (station amont dans ce document) ;

FSC_{meas} = teneur en limon fin du sédiment mesuré.

Cette équation ne doit être utilisée que si la teneur en matière organique est supérieure à 1 %.

Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement

9.1. Radioactivité d'origine naturelle

La radioactivité naturelle est essentiellement due au ^{40}K , à la famille de ^{238}U comprenant 14 descendants, et à celle du ^{232}Th en comprenant 10. Le ^7Be est parfois détecté.

Dans le cas des deux familles du ^{232}Th et de ^{238}U , le mesurage est le plus souvent réalisé à l'aide de raies d'émission de plusieurs éléments fils de chacune de ces deux chaînes naturelles :

- pour la famille du ^{232}Th : ^{228}Ac , ^{212}Pb - ^{212}Bi - ^{208}Tl
- pour la famille de ^{238}U : ^{234}Pa , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb

En fonction de l'énergie d'émission, de l'activité dans l'échantillon et de l'éventuel déséquilibre au sein de la chaîne, le dosage ne s'effectue pas toujours sur les raies d'énergie du même élément fils.

Si les éléments fils du thorium et de l'uranium sont à l'équilibre avec l'élément père, et uniquement dans ce cas précis, alors la radioactivité naturelle peut être calculée selon la formule : $^{40}\text{K} + (14 \times ^{238}\text{U}) + (10 \times ^{232}\text{Th}) + ^7\text{Be}$. L'équilibre dans une chaîne de filiation peut ne pas être respecté en raison d'un apport supplémentaire d'origine naturelle (apport atmosphérique, métabolisme favorisant la concentration d'un élément donné chez les organismes vivants...) et/ou anthropique de l'un des éléments de la chaîne.

Les activités en radionucléides naturels dans les sols et sédiments métropolitains ont fait l'objet de publications dont un rapport IRSN [23].

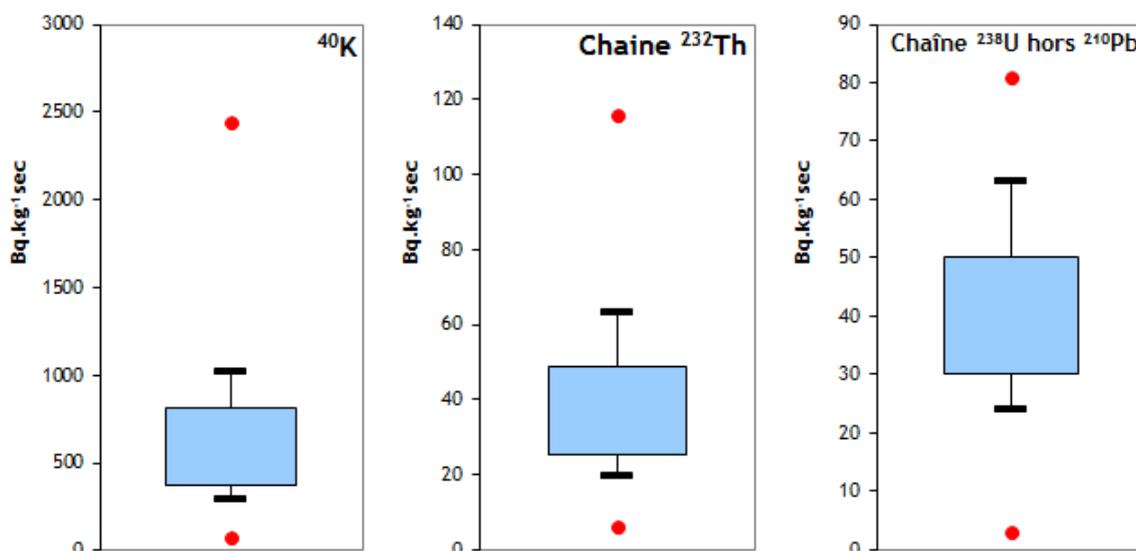


Figure 36 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

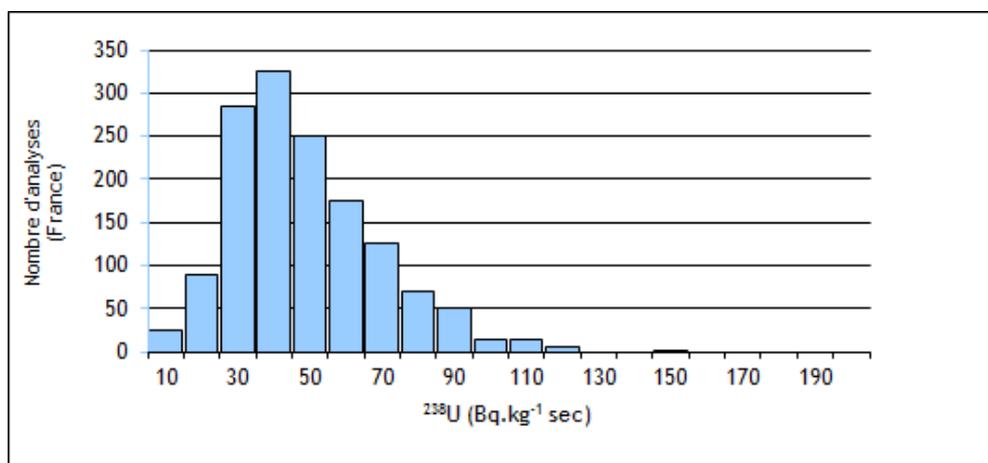


Figure 37 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

9.2. Radioactivité d'origine artificielle

La présence dans la biosphère de radio-isotopes artificiels résulte des apports anthropiques liés à l'utilisation militaire du combustible nucléaire, à son utilisation civile dans les installations nucléaires en fonctionnement normal et aux accidents qui se sont produits.

9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires

Les essais nucléaires atmosphériques, qui se sont déroulés essentiellement de 1945 à 1962, ont libéré en majorité des produits de fission, tels que le ^{134}Cs , le ^{90}Sr et les radio-isotopes 238, 239 et 240 du plutonium. Les retombées ont conduit à un marquage chronique de l'environnement qui perdure depuis l'arrêt des essais américains et soviétiques en août 1963.

Jusqu'au 16 octobre 1980, la Chine a continué à effectuer des essais atmosphériques d'armes nucléaires à Lop Nor (40°N , 90°O). Les mesures réalisées consécutivement à ces tirs dans des échantillons d'air ou des échantillons biologiques ont montré la présence de $^{144}\text{Ce/Pr}$, ^{141}Ce , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{103}Ru , $^{106}\text{Ru/Rh}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb et ^{125}Sb [37].

9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires

L'accident ayant entraîné l'émission radioactive quantitativement la plus importante est celui de Tchernobyl, survenu le 26 avril 1986. Cet accident a libéré dans l'atmosphère des radionucléides divers représentatifs du cœur du réacteur, dont les plus abondants sont les $^{134+137}\text{Cs}$, ^{131}I , le ^{132}Te , le ^{140}Ba et les $^{103+106}\text{Ru}$. La progression du nuage a conduit, surtout dans l'est et le sud-est de la France, à partir du 29 avril, à une montée nette de la radioactivité des aérosols. Les dépôts, essentiellement sous forme humide, ont affecté directement et par lessivage des sols, les bassins versants français, tout comme les écosystèmes aquatiques de l'est et du nord de l'Europe.

Les retombées de l'accident de Fukushima Daiichi survenu au Japon au cours de la seconde moitié du mois de mars 2011 ont occasionné en France des détections faibles et fugaces dans les matrices terrestres de ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I et ^{132}Te . Le rapport $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ est proche de 1 [19]. Il semblerait que les retombées en France aient été assez homogènes, sans fluctuations spatiales ou temporelles.

9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal

L'exploitation d'un réacteur électronucléaire implique la génération d'isotopes stables et radioactifs issus de la fission des noyaux du combustible (produits de fission), et de l'activation des différents matériaux de structure (produits d'activation). Après traitement, contrôle et dilution, les effluents liquides faiblement radioactifs sont rejetés dans les cours d'eau ou la mer conformément à la législation en vigueur.

Globalement, les principaux radionucléides émetteurs γ émis par les réacteurs à eau pressurisée en fonctionnement normal sont : ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{134}Cs et ^{137}Cs . Dans l'ensemble, parmi ces dix radionucléides, les réacteurs à eau pressurisée rejettent principalement les ^{58}Co , ^{60}Co et $^{110\text{m}}\text{Ag}$. Les quantités rejetées au cours des années 90 ont diminué d'environ un facteur dix. Cependant, la composition des effluents liquides est variable d'un CNPE à l'autre, en fonction de sa conception, de son mode d'exploitation, de son âge et de l'historique d'exploitation de la tranche.

Les effluents atmosphériques radioactifs sont rejetés dans l'environnement, après traitement des effluents atmosphériques hydrogénés et stockage durant trente jours au minimum.

9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations

Des centres d'études, des centres militaires ainsi que des centres de traitements ou de stockage du combustible utilisé peuvent occasionner des marquages avec des signatures plus ou moins proches de celui des CNPE.

Les services de médecine nucléaire rejettent du ^{131}I dans les cours d'eau, au travers des stations d'épuration des agglomérations sur lesquelles ils sont implantés.

9.3. Sources de ^3H

En dehors des rejets de ^3H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^3H est déjà présent dans l'environnement. Sur l'ensemble du globe, la plus grande part provient très majoritairement des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Localement, les sites CEA de Marcoule, ORANO La-Hague, Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc sont aussi à l'origine d'un net marquage de l'environnement. Les résidus de l'industrie horlogère peuvent augmenter sensiblement les niveaux de radioactivité des systèmes aquatiques.

Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^3H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 Bq.L^{-1} . Le ^3H a été massivement produit lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires. De plus de 500 Bq.L^{-1} dans l'eau de pluie dans les années soixante, l'activité volumique à proximité de la zone d'étude est descendue à 10 Bq.L^{-1} en 1980 après le dernier essai aérien. Aujourd'hui, l'activité volumique de l'eau de pluie est inférieure à 2 Bq.L^{-1} .

9.4. Sources de ^{14}C

En dehors des rejets autorisés de ^{14}C liquides et atmosphériques par les CNPE, le ^{14}C est déjà présent dans l'environnement.

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires ont massivement apporté du ^{14}C dans l'atmosphère. L'activité spécifique atmosphérique en ^{14}C est montée jusqu'à 400 Bq.kg^{-1} de carbone. Depuis, l'activité moyenne atmosphérique a décru. Elle est, en 2022, de $222 \pm 7 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de C [3].

Annexe 10. Laboratoires d'analyses

ANALYSES	LABORATOIRE
Radionucléides émetteurs alpha Radionucléides émetteurs gamma (+ Iode-129) Strontium-90 Carbone-14 (méthode benzène) Tritium libre et lié Technétium-99 Nickel-63	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Métrologie de la Radioactivité dans l'Environnement (LMRE) Le bois des Rames - Bâtiment 501 91400 Orsay
Carbone-14 (méthode benzène) Fer-55	IRSN/PSE-ENV/SAME Laboratoire de Mesures Nucléaires (LMN) 31 rue de l'écluse 78116 Le Vésinet
Carbone-14 (méthode AMS)	Laboratoire de mesure du carbone-14 Bâtiment 450 porte 4E CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex Isotopech Zrt. P.O. Box 390 Debrecen, H-4001 Hongrie
Iode-131	IRSN/PSE-ENV/SRTE Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC) Rue Max-Pol Fouchet – BP 10 – Cherbourg-Octeville 50130 Cherbourg-en-Cotentin
Iode-127 Calcium Carbone et rapport ¹³C/¹²C Hydrogène	Centre National de la Recherche Scientifique Service central d'analyses 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne
Granulométrie 5 fractions Teneurs en matière organique, calcium et aluminium Capacité d'échange cationique	Institut national de la recherche agronomique Laboratoire d'analyse des sols d'Arras (LAS) 273 rue de Cambrai 62000 Arras