RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

RAPPORT

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

ANNÉE 2020

Pôle Santé et Environnement

Rapport IRSN N° **2022-00075**

MEMBRE DE ETSON

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

RÉSUMÉ

L'objectif du suivi radioécologique des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord est de caractériser les niveaux de radioactivité dans l'environnement proche de ces sites dans quelques matrices représentatives des compartiments terrestre et marin. Il s'agit d'identifier les sources, passées ou présentes, à l'origine de la présence des radionucléides mesurés dans l'environnement des sites et d'analyser l'évolution temporelle de leurs activités dans les matrices.

Pour le compartiment terrestre, le ^{137}Cs est détecté dans la plupart des échantillons prélevés (7 fois sur 10), à des niveaux comparables à ceux des années précédentes. Ce radionucléide artificiel est issu des retombées des essais aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. En 2020, les activités en ^{131}I dans les mousses terrestres sont restées inférieures aux seuils de décision. Les activités du tritium en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation, hormis dans l'environnement des CNPE de Paluel, Penly, et Gravelines, pour lesquels on mesure un apport local en tritium libre et/ou en tritium organiquement lié dans l'herbe (Paluel et Penly) ou le lierre (Gravelines) échantillonnés à proximité immédiate de ces CNPE (moins de 1,5 km). Les activités en ^{14}C en milieu terrestre sont comparables à celles mesurables en dehors de tout apport local par une installation, ou témoignent d'un apport local pour le lait à proximité des CNPE de Paluel (9,6 km du CNPE) et de Penly (7,0 km du CNPE), sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée, hormis pour les mesures trimestrielles dans l'herbe et le lierre dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Paluel et Gravelines.

Pour le compartiment marin, le ^{137}Cs, détecté dans la plupart des matrices marines à l'exception d'un échantillon d'algues, d'un échantillon de sédiments, de deux échantillons de mollusques et de cinq échantillons de crustacés, à des niveaux comparables à ceux des années précédentes, est vraisemblablement issu des rejets d'effluents liquides de l'usine de traitement du combustible usé ORANO La Hague, ainsi que dans une moindre mesure, des rejets d'effluents liquides des CNPE côtiers et des retombées des essais aériens nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. On observe également un marquage de l'environnement marin des CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines par le ^{60}Co, le ^{134}Cs, le ^{108m}Ag, le ^{110m}Ag, le ^{106}Rh, et le ^{241}Am, qui ont pour la plupart une double origine (communs aux rejets d'effluents liquides des CNPE et de l'usine de retraitement du combustible usé ORANO La Hague, hormis pour le ^{241}Am et le ^{106}Rh, présents uniquement dans les rejets d'ORANO La Hague, et le ^{108m}Ag, dont l'origine est incertaine). En 2020, les activités en ^{131}I sont restées inférieures aux seuils de décision dans les algues dans l'environnement des CNPE de la Manche et de la Mer du Nord. En 2020, les activités en tritium organiquement lié dans les crustacés, les mollusques et les poissons sont globalement cohérentes avec les valeurs mesurées les années précédentes et attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague, mais témoignent toutefois d'un marquage en tritium lié en champ proche des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines par rapport aux échantillons prélevés en champ lointain de ces CNPE pour 5 des 21 échantillons. Les activités en ^{14}C quantifiées au sein des crustacés, des mollusques et des poissons sont globalement supérieures au bruit de fond hors influence industrielle, mais cohérentes avec les valeurs moyennes enregistrées par le passé du fait du marquage global par les INB de la Manche, et notamment de la proximité de l'usine ORANO La Hague. Ce marquage en ^{14}C tend à être plus prononcé au voisinage des points de rejet d'effluents liquides des CNPE pour les mollusques (Flamanville) et pour les poissons (Penly).

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

TABLE DES MATIÈRES

0. OBJECTIFS 15

1. MÉTHODOLOGIE DU SUIVI RADIOÉCOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ FRANÇAIS 15

2. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DES CNPE FRANÇAIS DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD 15

2.1. Radionucléides d'origine naturelle 16

2.1.1. Origine tellurique 16

2.1.2. Rayonnement cosmique et comportement du tritium et du ^{14}C 16

2.2. Radionucléides d'origine artificielle 17

2.2.1. Retombées des essais aériens d'armes nucléaires et des chutes de satellites 17

2.2.2. Retombées de l'accident de Tchernobyl 19

2.2.3. Retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi 20

2.2.4. Installations nucléaires exploitées par EDF 21

2.2.5. Autres activités 22

3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET GÉOGRAPHIQUE 23

3.1. Climatologie 23

3.2. Géologie et hydrogéologie 23

3.3. Hydrographie et hydrologie 24

4. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE FLAMANVILLE 27

4.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures 27

4.2. État radiologique de l'environnement terrestre 29

4.2.1. Stratégie d'échantillonnage 29

4.2.2. Résultats et interprétation 32

4.3. État radiologique de l'environnement aquatique 33

4.3.1. Stratégie d'échantillonnage 33

4.3.2. Résultats et interprétation 37

4.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Flamanville 39

4.5. Tableaux de résultats 40

5. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PALUEL 61

5.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures 61

5.2. État radiologique de l'environnement terrestre 63

5.2.1. Stratégie d'échantillonnage 63

5.2.2. Résultats et interprétation 66

5.3. État radiologique de l'environnement aquatique 67

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

5.3.1. Stratégie d'échantillonnage 67
5.3.2. Résultats et interprétation 71
5.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Paluel 73
5.5. Tableaux de résultats 75

6. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE PENLY 95
6.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures 95
6.2. État radiologique de l'environnement terrestre 97
6.2.1. Stratégie d'échantillonnage 97
6.2.2. Résultats et interprétation 100
6.3. État radiologique de l'environnement aquatique 101
6.3.1. Stratégie d'échantillonnage 101
6.3.2. Résultats et interprétation 104
6.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Penly 105
6.5. Tableaux de résultats 106

7. ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DU CNPE DE GRAVELINES 125
7.1. Généralités et chronologie des études radioécologiques antérieures 125
7.2. Etat radiologique de l'environnement terrestre 127
7.2.1. Stratégie d'échantillonnage 127
7.2.2. Résultats et interprétation 130
7.3. État radiologique de l'environnement aquatique 131
7.3.1. Stratégie d'échantillonnage 131
7.3.2. Résultats et interprétation 134
7.4. Conclusion de l'état radiologique de l'environnement du CNPE de Gravelines 136
7.5. Tableaux de résultats 137

8. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT RADIOÉCOLOGIQUE DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD 158
8.1. Radioécologie du milieu terrestre 158
8.2. Radioécologie du milieu marin 159

9. BIBLIOGRAPHIE 163

10. ANNEXES 165

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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]).....16

Figure 1 – Activités de ^{3}H dans l'eau de pluie d'après [1]. 18

Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]). 19

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 [19]. 20

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]). 21

Figure 6 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville. 28

Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 31

Figure 9 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 36

Figure 12 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.....62

Figure 13 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 65

Figure 15 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 70

Figure 18 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly.....96

Figure 19 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 99

Figure 21 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 103

Figure 24 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines. 126

Figure 25 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 129

Figure 27 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020. 133

Figure 30 - Activités en tritium libre ($Bq.L^{-1}$ 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 $Bq.L^{-1}$ à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]). 160

Figure 31 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2020 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. 161

Figure 32 - Activités en ^{14}C ($Bq.kg^{-1}$ 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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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., 240±2 Bq.kg^{-1} C d'après [3]). 161

Figure 12.1 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site. 169

Figure 12.2 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps. 175

Figure 12.3 – 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). 183

Figure 12.4 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains. 183

Tableaux

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées. 30

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2020 et analyses réalisées. 34

Tableau 3 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 40

Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 41

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 42

Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 43

Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades ou betterave) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 44

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 45

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 46

Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 47

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 48

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 49

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 50

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 51

Tableau 15 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 52

Tableau 16 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 53

Tableau 17 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020. 54

Tableau 18 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020. 54

Tableau 19 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020. 55

Tableau 20 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 56

Tableau 21 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments, les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 57

Tableau 22 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020. 58

Tableau 23 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020. 59

Tableau 24 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées. 64

Tableau 25 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2020 et analyses réalisées. 68

Tableau 26 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 75

Tableau 27 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 76

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 28 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 77

Tableau 29 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 78

Tableau 30 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 79

Tableau 31 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 80

Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 81

Tableau 33 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 82

Tableau 34 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 83

Tableau 35 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 84

Tableau 36 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 85

Tableau 37 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 86

Tableau 38 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 87

Tableau 39 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020. 88

Tableau 40 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020. 88

Tableau 41 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020. 89

Tableau 42 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 90

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 43 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 91

Tableau 44 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2020. 92

Tableau 45 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2020. 93

Tableau 46 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées. 98

Tableau 47 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2020 et analyses réalisées. 102

Tableau 48 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 106

Tableau 49 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 107

Tableau 50 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 108

Tableau 51 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 109

Tableau 52 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 110

Tableau 53 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 111

Tableau 54 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 112

Tableau 55 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 113

Tableau 56 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 114

Tableau 57 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 115

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 116

Tableau 59 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec). 117

Tableau 60 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux). 118

Tableau 61 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020. 119

Tableau 62 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020. 119

Tableau 63 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020. 120

Tableau 64 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 121

Tableau 65 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 122

Tableau 66 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2020. 123

Tableau 67 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2020. 124

Tableau 68 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées. 128

Tableau 69 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2020 et analyses réalisées. 132

Tableau 70 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 137

Tableau 71 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 138

Tableau 72 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 139

Tableau 73 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 140

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 74 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 141

Tableau 75 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 142

Tableau 76 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 143

Tableau 77 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 144

Tableau 78 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 145

Tableau 79 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 146

Tableau 80 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 147

Tableau 81 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique. 148

Tableau 82 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux). 149

Tableau 83 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sols et les végétaux). 150

Tableau 84 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020. 151

Tableau 85 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020. 151

Tableau 86 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020. 152

Tableau 87 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 153

Tableau 88 - 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 2020 ($Bq.kg^{-1}$ sec pour les sédiments et les algues, $Bq.kg^{-1}$ frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons). 155

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 89 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020. 157

Tableau 90 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.....157

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 16) ainsi que des retombées atmosphériques des accidents de Tchernobyl et, dans une moindre mesure, de Fukushima Daiichi.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

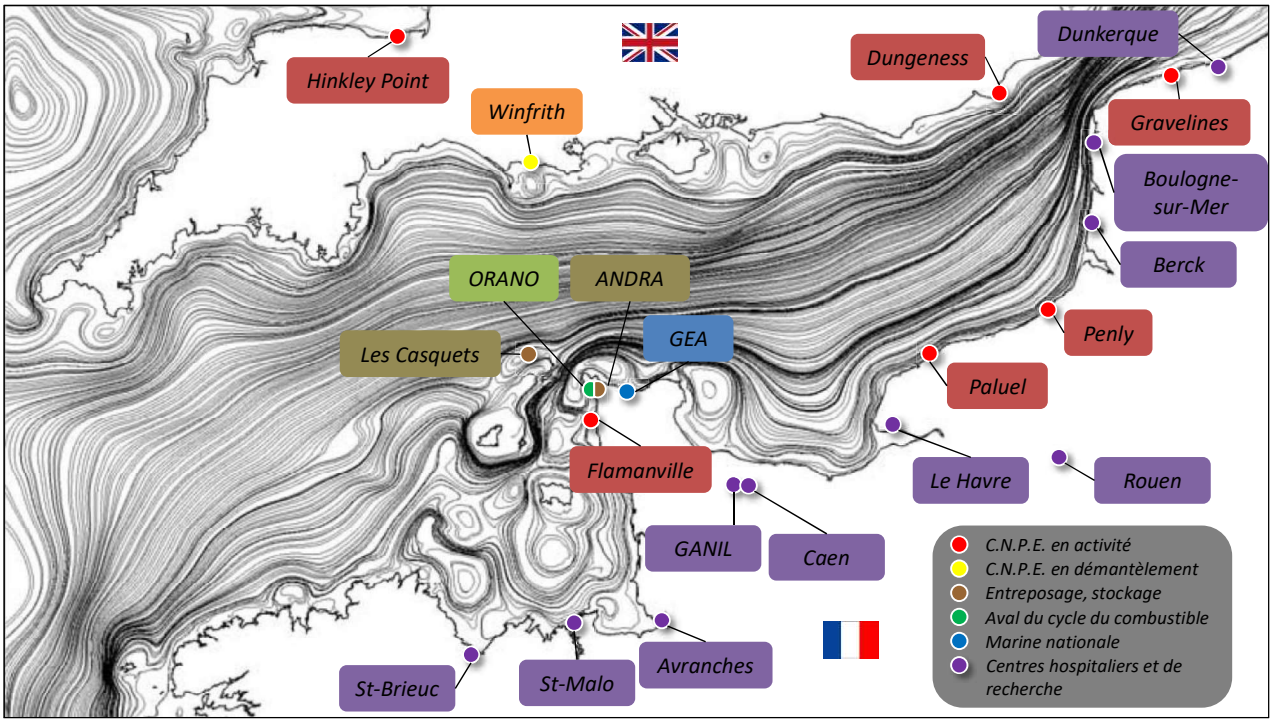

Figure 1 – Localisation des installations nucléaires de la façade Manche/Mer du Nord et circulation générale des masses d'eaux (carte : [1, 2]).

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 (^{3}H), le ^{14}C, ^{7}Be 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 ^{3}H 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 ^{3}H (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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 [5-7]. Avant l'ère nucléaire, les valeurs en ^{3}H 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 CO_2 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 $^{144}Ce/Pr$ et de $^{106}Ru/Rh$ (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 $^{239,\,240}Pu$ 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 ^{3}H 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 décru 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, 10-13] (Figure 2 page 18).

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

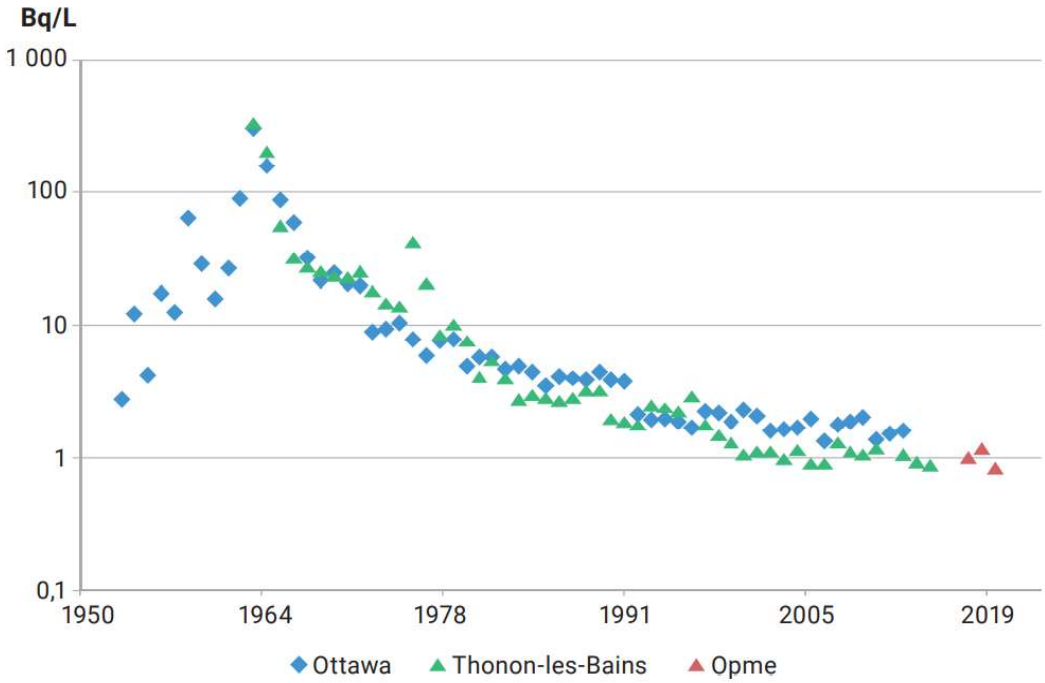

Figure 2 - Activités de ^{3}H dans l'eau de pluie d'après [1].

Le tritium produit lors des essais aériens est quantifiable aujourd'hui sous les formes libres (HTO et TED exprimées en $Bq.L^{-1}$ d'eau de dessiccation, abrégé en $Bq.L^{-1}$ ED) et liée à la matière organique (TOL, exprimée en $Bq.L^{-1}$ 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 $Bq.L^{-1}$ en France métropolitaine (dans une gamme allant de 0,39 à 1,9 $Bq.L^{-1}$ 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 $Bq.L^{-1}$ [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 $Bq.kg^{-1}$ 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±7 $Bq.kg^{-1}$ C [16]. En 2020, elle est de 224±7 $Bq.kg^{-1}$ C d'après [3], de l'ordre de grandeur de l'activité spécifique atmosphérique antérieure aux premiers essais aériens (226,0±1,1 $Bq.kg^{-1}$ C) (Figure 3 page 19).

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

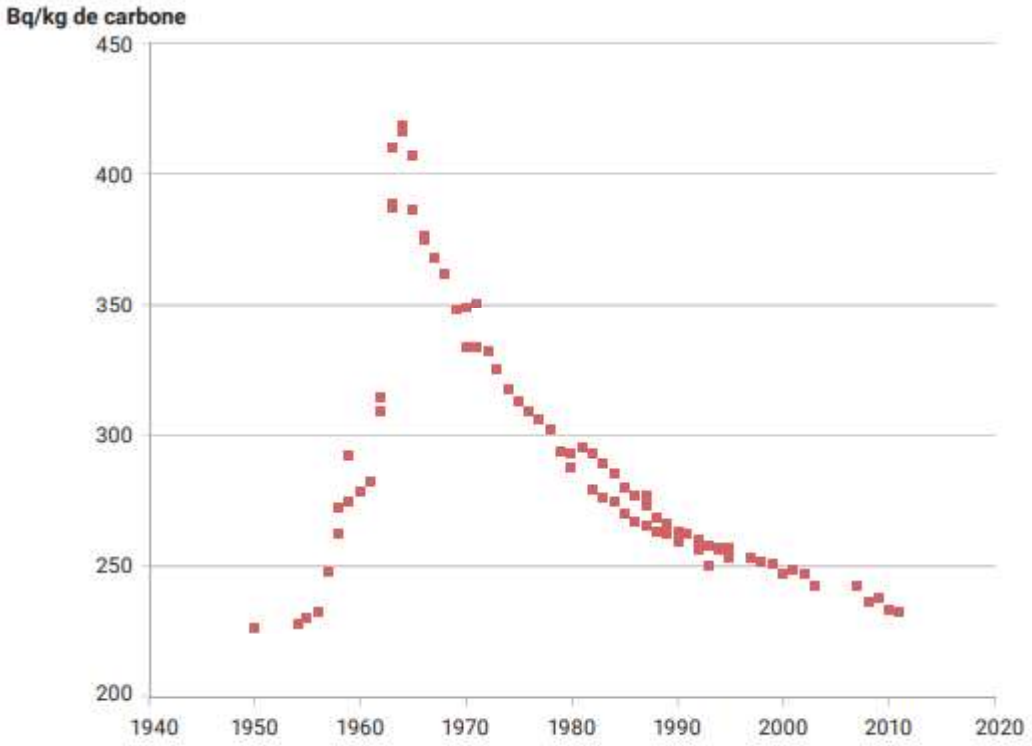

Figure 3 – Évolution de l'activité spécifique du ^{14}C dans l'hémisphère nord depuis 1950 (tirée de [3]).

Le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le $^{14}CO_2$ 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 180 et 220 $Bq.kg^{-1}$ C [3]. En milieu marin, le ^{14}C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [17] 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 [17]. 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 $Bq.kg^{-1}$ 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±5 $Bq.kg^{-1}C$ en 2020, 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 ^{3}H 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 à l'aval du CNPE, comparativement à l'amont.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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/m^3, n'était plus que de quelques dizaines de Bq/m^3 lorsque le panache a atteint la France métropolitaine durant la première semaine de mai 1986. Les évènements 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 (^{103}Ru, ^{106}Ru/Rh, ^{110m}Ag, ^{131}I, ^{132}Te, ^{134}Cs et ^{137}Cs). 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 20 présente la répartition estimée des activités surfaciques en ^{137}Cs sur cette zone, issues de la rémanence de ces retombées. De nos jours, seul le ^{137}Cs est encore mesurable [18].

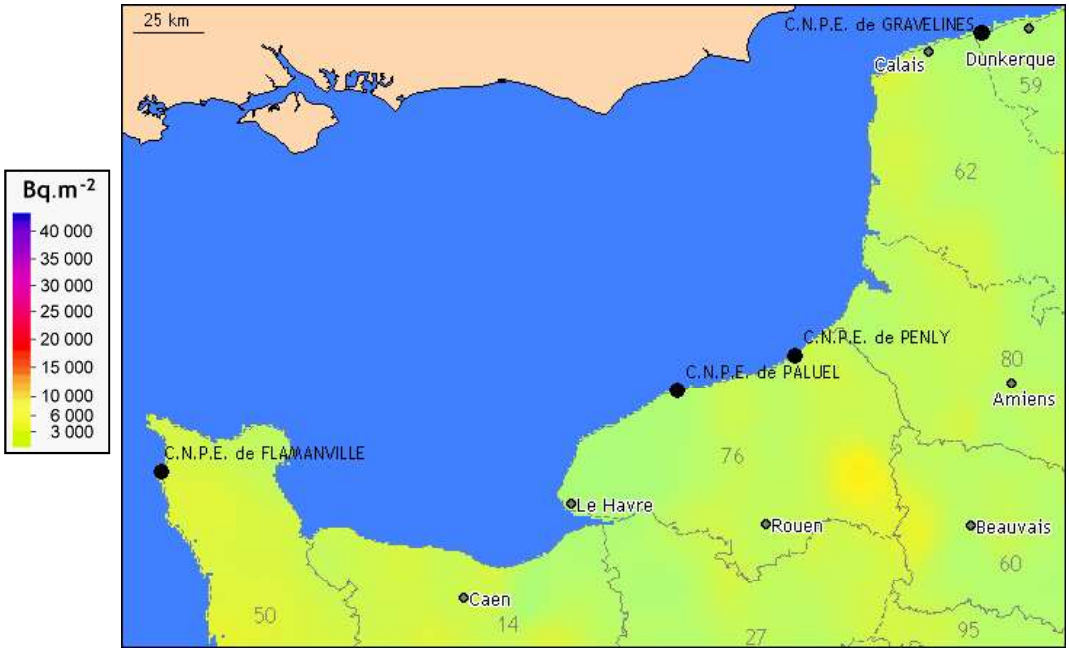

Figure 4 - Activités surfaciques de ^{137}Cs, calculées pour l'année 2010, issues des retombées atmosphériques des essais aériens et de l'accident de Tchernobyl à partir de [19].

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 20). Les résultats des analyse réalisés sur le territoire métropolitain par l'IRSN et par les exploitants nucléaires ont montré la présence d'^{131}I, de ^{137}Cs et de ^{134}Cs [20]. L'^{131}I, du fait de sa courte période radioactive (8,02 jours [4]), a rapidement disparu de l'environnement. Le ^{134}Cs, 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 ^{137}Cs sont difficilement imputables à ce seul évènement compte-tenu de la rémanence de ce radionucléide sur le littoral de la Manche et de la Mer du Nord.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

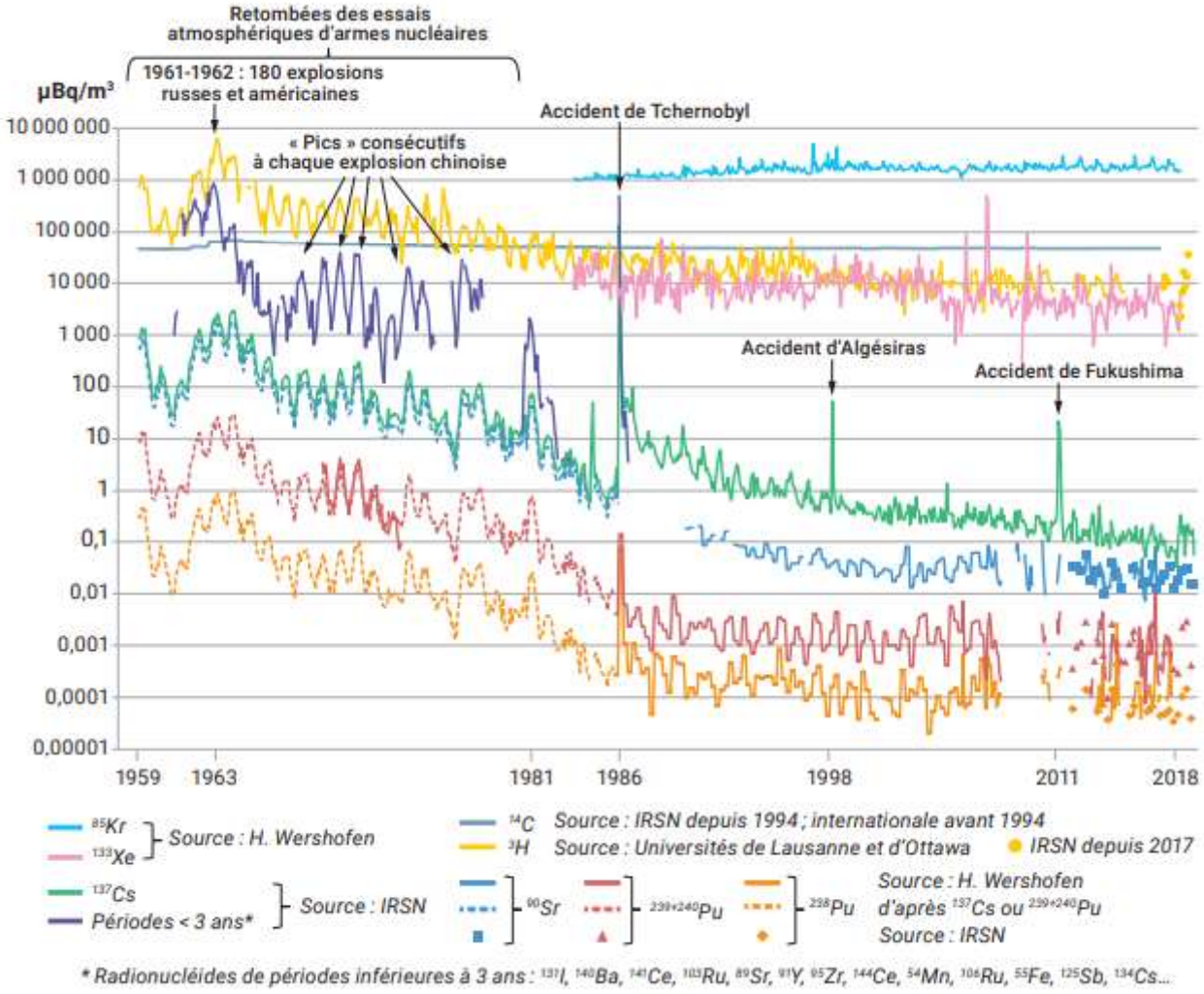

Figure 5 – Évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (tirée de [3]).

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 xénons métastables 131, 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 ^{142}Sb et ^{125}Sb, les ^{134}Cs et ^{137}Cs, le ^{54}Mn, l'^{110m}Ag, le ^{123m}Te, et l'^{131}I sont prépondérants. Le ^{55}Fe et le l'^{108m}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 significatifs (ESE) ou intéressants l'environnement (EIE) pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{3}H 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 ^{99m}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 [21]. 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 [22]. 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 16), 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 16), 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 16). Considérant les périodes radioactives du ^{99m}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 apparait 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 16 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 [6]. Le ^{14}C est rejeté en milieu marin en grande majorité sous forme minérale dissoute [23] 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 [17]. 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 Bq.kg^{-1} C [23].

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 50ème 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.

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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

de mètres. Elles s'ouvrent sur la Manche, telle 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 19°C. Les variations de salinité restent faibles, comprises entre 34 et 35,5.

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 16 ; [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 conservatifs[2], rejetés par l'usine ORANO La Hague, en particulier l'^{125}Sb, 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.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 crustacés[3] (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 presque-île du Cotentin.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 31). 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 16). 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.

Les conditions d'exécution et les limites des rejets d'effluents, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements significatifs ou intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Les vents de secteur sud à ouest sont les plus fréquents. Les courants côtiers en Manche sont complexes. Devant le site de Flamanville, entre les îles Anglo-Normandes et la côte ouest du Cotentin, se forme un gyre anticyclonique[4] de quelques dizaines de kilomètres de large au sein duquel sont effectués les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville et où est entraînée une partie des rejets d'effluents liquides des installations de l'usine d'ORANO La Hague.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville est présentée sur la Figure 6 page 28. Les références bibliographiques sont présentées en pages 163 et suivantes.

[4] 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Évènements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement du CNPE	Études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Flamanville	
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	Avril 1980 - 1982	**État de référence**
Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981		
Couplage tranche 1 : décembre 1985		
Accident de Tchernobyl : 26 avril 1986		
Couplage tranche 2 : juillet 1986		
Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990		
Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994	1991-1995	**Suivis annuels**
Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994		
	1996	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	1997-2005	**Suivis annuels**
	2006	**Suivi annuel + Bilan décennal**
Accident de Fukushima : 11 mars 2011	2007-2016	**Suivis annuels**
	2017	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	2018-2020	**Suivis annuels**

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 31. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 1 page 30.

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 en champ proche (ZI ; Flamanville et Siouville-Hague). Les stations hors vents dominants sont situées dans le secteur sud et sud-est (ZNI ; Sortosville-en-Beaumont).

En 2020, du fait de la naturel, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Flamanville, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans une mousse terrestre. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever de salades dans l'environnement du CNPE de Flamanville en 2020 pour y mesurer les émetteurs gamma, le ^{3}H libre, le ^{3}H 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 2019, les analyses effectuées au titre des prescriptions réglementaires sont identiques, à l'exception de celles prévues d'être réalisées sur le prélèvement de salade.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 1 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,48 km E	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	-01,87511	49,53763	Autres végétaux	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	12/10/2020	Tritium libre (liquide)	3,26	-
0,48 km E	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	-01,87511	49,53763	Autres végétaux	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	12/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,26	-
4,83 km ENE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82714	49,56188	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	12/10/2020	Tritium libre (liquide)	7,13	-
4,83 km ENE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82714	49,56188	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	12/10/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	7,13	-
4,83 km ENE	Flamanville - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	-01,82714	49,56188	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	12/10/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,26	-
5,74 km ENE	Flamanville - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Siouville-Hague	-01,81405	49,56386	Mousses terricoles	Polytric *Polytrichum species*	Entier	20/01/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,16	-
16,99 km SE	Flamanville - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	-01,72805	49,42091	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	Diamètre inférieur à 2 mm	12/10/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,33	-

- : absence de traitement.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

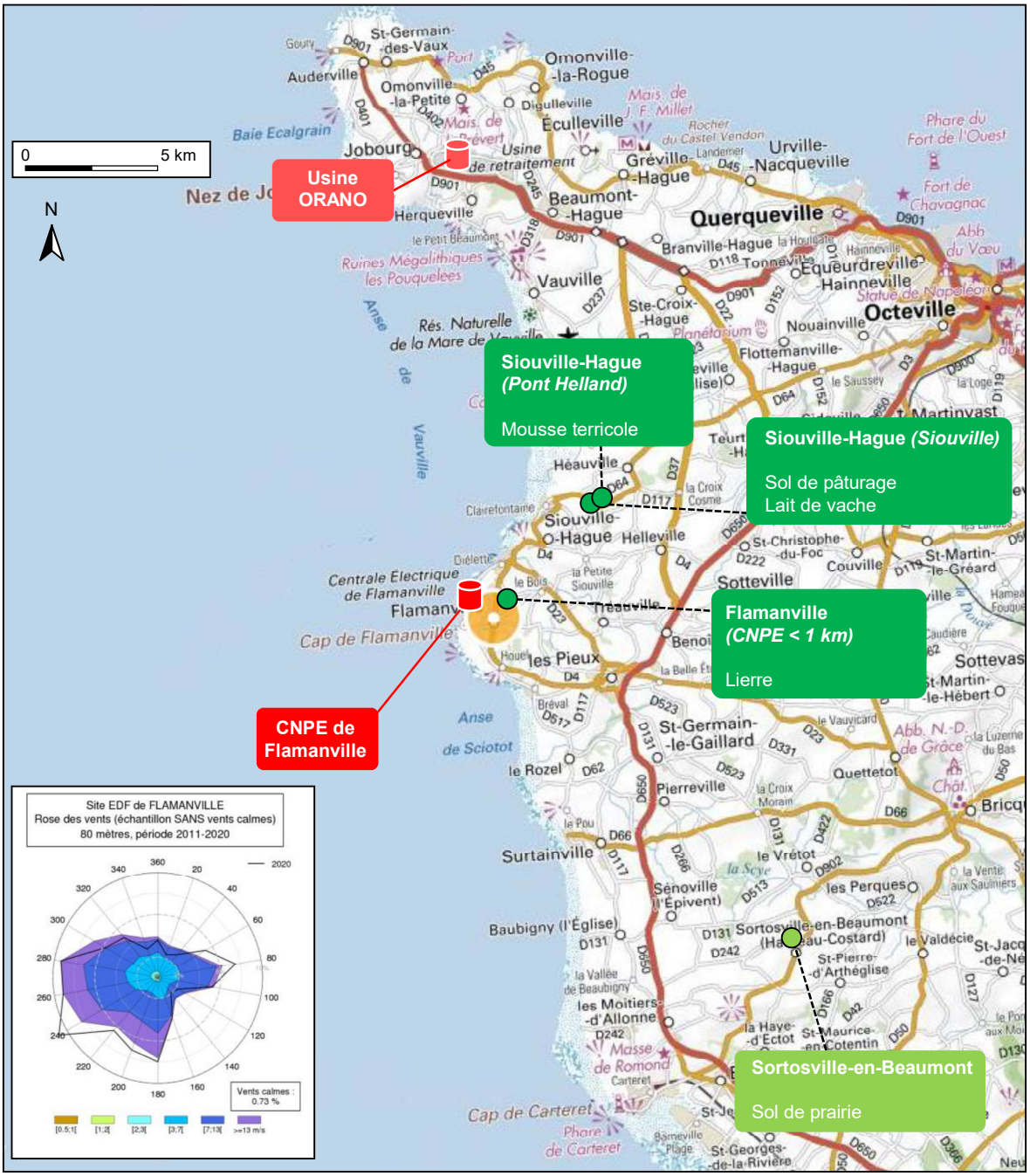

Figure 7 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations terrestres[5] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[5] 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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 15 page 52.

En 2020, 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 l'^{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, 24, 25]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^{7}Be, présent dans 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 16 page 53.

Dans les sols et les mousses, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville en 2020 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 3 et Tableau 4, page 40 et suivante) et au niveau 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 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 (≤ 0,38 Bq.kg^{-1} 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 17 et du Tableau 18 page 54, respectivement.

Les activités en tritium 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 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} pour le TOL d'après [3]) pour le lierre et le lait. Ces activités ne mettent pas en évidence d'apport local en champ proche du CNPE de Flamanville.

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 19 page 55.

L'activité en ^{14}C dans le lait échantillonné (242±12 Bq.kg^{-1} C) n'est pas significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]).

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 8 page 36. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 2 page 34 et suivante. 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 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 2020, comme c'est le cas depuis 2017 en lien avec les travaux en cours 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 gyre 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. A 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. A 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 a 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.

En 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Flamanville, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans les algues. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme en 2019, l'IRSN a rencontré des difficultés d'approvisionnement pour les prélèvements de poissons et de crustacés en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville, et les pêches prévues 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 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.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Par rapport à l'année 2019, les analyses effectuées au titre des prescriptions réglementaires sont identiques.

Tableau 2 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville en 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	20/10/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	2,50	1,78
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	20/10/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	5,43	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	20/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	5,43	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	16/10/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,56	16,19
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	16/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,63	-
1,14 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville au large	-01,89720	49,53830	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	16/10/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	4,63	-
2,22 km	Flamanville - Champ proche	Flamanville	-01,86024	49,55100	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	13/01/2020	Spectrométrie gamma (sec)	2,08	-
2,61 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85973	49,55531	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	13/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	6,65	3,58
2,61 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85973	49,55531	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	13/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	6,48	-
2,61 km	Flamanville - Champ proche	Tréauville	-01,85973	49,55531	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	13/01/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	6,48	-
2,97 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85918	49,55908	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	13/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,96	3,57
2,97 km	Flamanville - Champ proche	Siouville-Hague	-01,85918	49,55908	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	13/01/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,96	3,57
19,07 km	Flamanville - Champ lointain	Barneville-Carteret	-01,78607	49,37678	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	28/01/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,38	-
22,73 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75846	49,34857	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	27/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,62	4,42
22,73 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75846	49,34857	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	27/01/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,62	4,42
22,73 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75846	49,34857	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	27/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	6,08	3,57
22,73 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75846	49,34857	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	27/01/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	6,19	-
22,73 km	Flamanville - Champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	-01,75846	49,34857	Mollusques	Patelle *Patella species*	Chair	27/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	6,19	-

- : absence de traitement.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

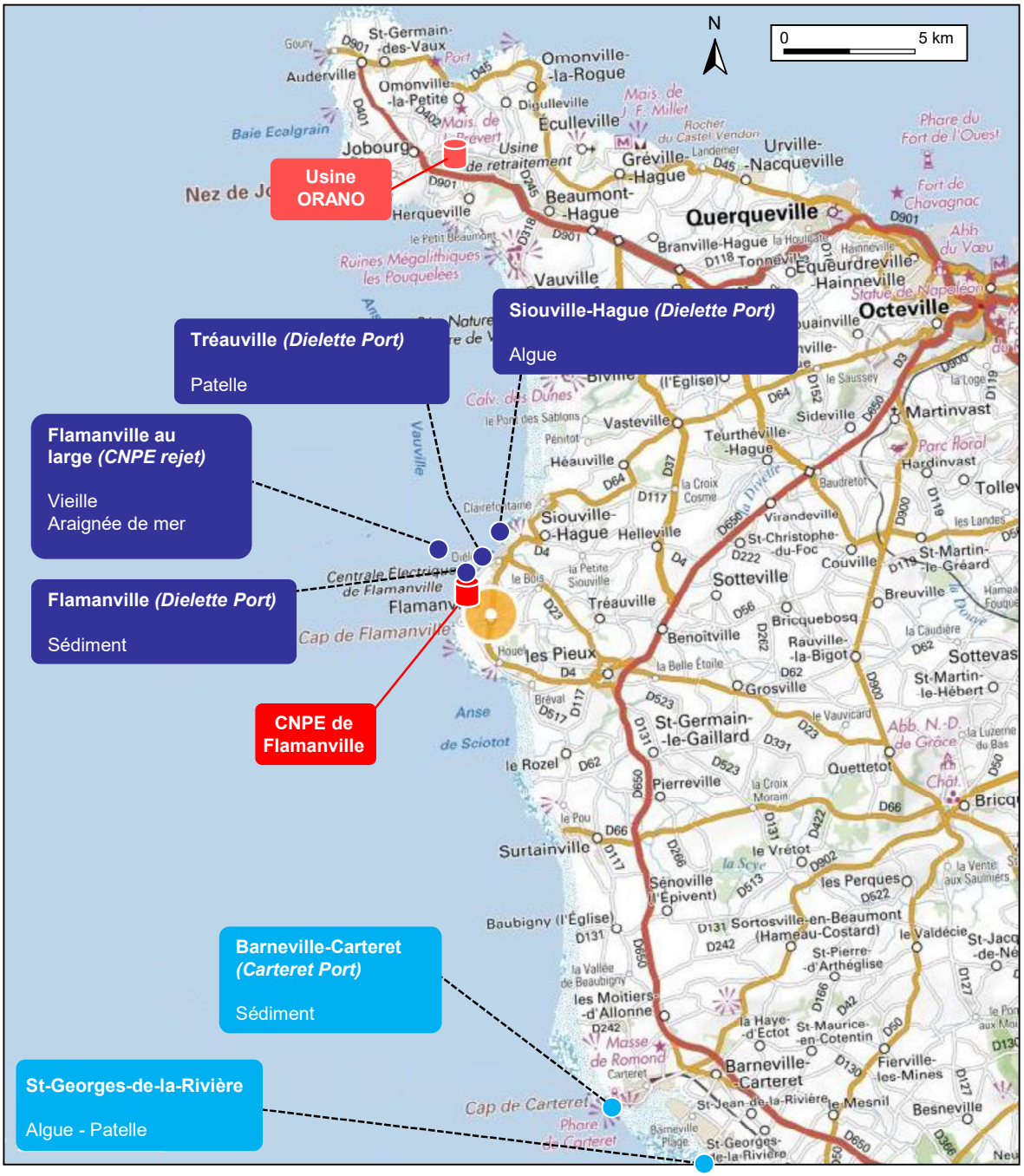

Figure 8 - Localisation du CNPE de Flamanville et des stations marines[6] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 20 page 56.

En 2020, 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 ^{7}Be est détecté, dans les matrices régulièrement émergées lors du cycle de marée (algues et mollusques), à des teneurs plus élevées dans les algues du fait de leur capacité à capter les aérosols. Il est également détecté dans les crustacés à un niveau proche du seuil de détection. 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 21 page 57.

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'^{108m}Ag, à l'^{110m}Ag, au ^{106}Rh, au ^{134}Cs et au ^{241}Am. Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (6 fois sur 8 échantillons analysés). Comme ils le furent occasionnellement au cours de la dernière décennie, l'^{110m}Ag et l'^{108m}Ag sont détectés dans l'environnement marin en champ proche du CNPE de Flamanville (1 fois et 2 fois respectivement sur les 8 échantillons analysés, dans les mollusques en champ proche pour le ^{110m}Ag et en champ proche et lointain pour le ^{108m}Ag) à des niveaux proches du seuil de décision. Le ^{60}Co est détecté dans 7 des 8 échantillons (tous sauf les poissons), à des niveaux plus élevés dans les sédiments fins et dans les algues en champ proche qu'en champ lointain, et plus faibles dans les mollusques en champ proche qu'en champ lointain. Le ^{134}Cs est détecté dans les poissons échantillonnés en champ proche, à un niveau proche du seuil de détection. 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, ^{108m}Ag, ^{110m}Ag, ^{106}Rh et ^{241}Am. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2020 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 47 et suivantes). 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

4.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont présentés au sein du Tableau 22 page 58.

Les activités en tritium organiquement lié dans les mollusques prélevés en champ lointain (2,1±0,8 Bq.L^{-1} EC) 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, 26, 27]). Elles sont majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. En champ proche, les activités en tritium organiquement lié (7,8±0,9 à 14,2±1,4 Bq.L^{-1} EC, toutes matrices confondues) sont plus élevées qu'en champ lointain (2,1±0,8 Bq.L^{-1} EC dans les mollusques). 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. 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.

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 23 page 59.

Les activités en ^{14}C quantifiées échantillonnés en champ proche (mollusques, poissons et crustacés) et en champ lointain (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±5 Bq.kg^{-1} C en 2020 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 [28], 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 pour les mollusques échantillonnés en 2020 (520±25 Bq.kg^{-1} C). Ces mollusques témoignent d'une contribution locale des rejets d'effluents liquides du CNPE et de ceux de l'usine ORANO La Hague.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2020 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, et le ^{7}Be 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 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, l'accident de Tchernobyl ayant peu marqué le Cotentin. 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. Les activités en tritium libre et organiquement lié ne mettent pas en évidence de marquage lié aux rejets d'effluent à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans le lait échantillonné en champ proche n'est pas significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]).

En 2020, les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville sont régulièrement marquées par le ^{137}Cs. À une fréquence moindre, d'autres radionucléides artificiels sont également quantifiés dans les sédiments (^{60}Co), les algues (^{60}Co et ^{106}Rh), les crustacés (^{60}Co), les mollusques (^{60}Co, ^{108m}Ag, ^{110m}Ag, ^{106}Rh et ^{241}Am) et les poissons (^{134}Cs). 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, présent uniquement dans les rejets de l'usine ORANO La Hague). L'^{110m}Ag et/ou le ^{108m}Ag, sont quantifiés en champ proche dans les mollusques (^{110m}Ag et ^{108m}Ag), ainsi qu'en champ lointain dans les mollusques (^{108m}Ag). Il est à noter que le ^{108m}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 organiquement lié restent toutefois significativement plus élevées en champ proche qu'en champ lointain dans les mollusques. Un marquage par le ^{14}C des mollusques est également décelable à proximité de l'exutoire des effluents liquides du CNPE de Flamanville.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	**2,5 km**	**2,5 km**	**2,5 km**	**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**
Émetteurs γ d'origine artificielle ($Bq.kg^{-1}$ sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	4,9 (1/1)	4,8 (1/1)	3,7-5,8 (2/2)	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)
^{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.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 4 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 et 6,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 et 7,0 km	6,0 à 14,3 km	6,0 km	5,6 km	5,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	3-5 (2/2)	6-9 (2/2)	3,1-3,6 (2/2)	3,8-6,0 (2/2)	0,66-0,90 (2/2)	0,80-1,40 (2/2)	0,90-1,30 (2/2)	0,50-2,57 (3/3)	6,3 (1/1)	8,1 (1/1)	8,0 (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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,9 km	4,0 et 5,0 km	0,7 km	0,7 km	0,7 à 18,0 km	0,7 km	0,6 km	-
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	-	0,16 (1/1)	0,12 (1/1)	-	0,15 (1/1)	0,35 (1/1)	0,09 (1/1)	0,046-0,057 (2/3)	0,254 (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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	2,9 km	4,0 et 5,0 km	0,7 km	0,7 km	0,7 à 18,0 km	0,7 km	0,6 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	-	-	-	-	-	2,6 (1/1)	7,2 (1/1)	0,9-8,8 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	-	-	-	-	-	-	-	1,4-5,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	235 (1/1)	243 (1/1)	239 (1/1)	261 (1/1)	264 (1/1)	243-282 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 6 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	-	-	-	-	-	0,7 km	0,7 km	0,7et 18 km	0,5 km	0,5 km	0,5 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.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,0 (1/1)	1,8-9,3 (2/2)	3,5 (1/1)	2,4 (1/1)	1,5 (1/1)
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,3-6,3 (2/2)	3,5 (1/1)	2,9 (1/1)	2,6 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	235-245 (4/4)	239-245 (4/4)	236-259 (6/6)	234-245 (4/4)	241-248 (4/4)	230-238 (4/4)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 7 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de légumes (salades ou betterave) collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	4,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 9,2 km	4,0 et 9,3 km	-
Nature	Betterave	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	-
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	0,22 (1/1)	-	0,28 (1/2)	0,4 (1/1)	0,19 (1/1)	0,29-0,54 (2/2)	0,41 (1/2)	1,16 (1/2)	-	0,12-0,95 (2/2)	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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	4,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 12,0 km	4,0 et 9,2 km	4,0 et 9,3 km	-
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	-
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	-	-	-	-	-	2,5 (1/1	2,7 (1/1)	1,7-2,1 (2/2)	1,5 (1/1)	1,9-2,0 (2/2)	n.a.
^{3}H lié	-	-	-	-	-	2,6 (1/1)	2,4 (1/1)	1,7-2,8 (2/2)	1,7 (1/1)	2,7-3,0 (2/2)	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	230-237 (2/2)	243-244 (2/2)	245-247 (2/2)	233-237 (2/2)	259-266 (2/2)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 et 6,7 km	4,8 km	4,8 km	4,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L^{-1})											
^{134}Cs	-	0,01 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	0,013 (1/1)	0,02 (1/1)	0,020 (1/1)	0,006 (1/1)	0,010 (1/1)	0,004 (1/1)	0,006 (1/1)	0,003-0,007 (2/2)	0,005 (1/1)	0,005 (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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 et 6,7 km	4,8 km	4,8 km	4,8 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	1,1 (1/1)	1,0 (1/1)	1,3 (1/1)	1,1 (1/1)	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	0,8 (1/1)	1,0-1,3 (2/2)	1,7 (1/1)	1,2 (1/1)	0,9 (1/1)
^{3}H lié	n.a.	n.a.	1,4 (1/1)	1,4 (1/1)	2,3 (1/1)	1,1 (1/1)	1,8 (1/1)	1,4-1,5 (2/2)	0,9 (1/1)	1,4 (1/1)	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	237-239 (4/4)	235-246 (4/4)	235-241 (2/2)	241 (1/1)	243 (1/1)	242 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,5 km	2,5 km	2,5 km	4,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	5,0 km	4,8 km	4,8 km	-
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1})											
^{3}H libre	0,9 (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 (1/1)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 10 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	3 à 20 km	2,2 à 20,3 km	2,7 à 20,3 km	2,2 et 19,1 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,13-1,0 (3/3)	0,26-1,10 (2/3)	0,30-1,42 (3/3)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1,6 (1/3)	0,8 (1/3)	1,9 (1/3)	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)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8 (1/3)	-	-
^{241}Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
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.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	305,6-306,5 (2/3)	n.a.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,24-0,29 (4/4)	0,21-0,43 (4/4)	0,21-0,27 (4/4)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-
^{60}Co	0,5-2,6 (4/4)	0,5-1,2 (4/4)	0,5-1,3 (4/4)	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)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17 (1/3)	-	-
^{106}Ru/Rh	1,9 (1/4)	2,5 (1/4)	1,4 (1/4)	-	1,5 (1/4)	-	1,4 (1/3)	2,1-2,7 (2/4)	5,2 (1/3)	-	1,63 (1/2)
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57 (1/2)	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	1,5 à 25 km	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
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.	n.a.	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.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	285-513 (3/3)	289-484 (2/2)	281-459 (2/2)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 à 25 km	2 à 25 km	2 à 25 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,02-0,07 (4/4)	0,02-0,03 (3/5)	0,01-0,03 (3/5)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,06-0,09 (4/4)	0,05 (1/5)	0,03-0,06 (4/5)	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)
^{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)
^{108m}Ag	0,02-0,05 (2/4)	0,02-0,06 (2/5)	-	-	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)
^{106}Ru/Rh	0,26-0,44 (3/4)	0,25 (1/5)	0,18-0,27 (2/5)	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)
^{241}Am	0,03-0,06 (2/4)	0,02 (1/5)	0,02 (2/5)	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)

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 à 25 km	3 et 25 km	3 et 25 km	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
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.	2,2-11,2 (2/2)	2,3-14,7 (2/2)	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.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	2,3-8,8 (2/2)	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)
^{14}C	n.a.	n.a.	287-482 (2/2)	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,04 (1/3)	0,05 (1/3)	0,04 (1/3)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,11 (1/3)	0,02 (1/3)	0,05 (1/3)	0,07 (1/3)	0,02 (1/3)	0,015 (1/3)	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	0,035 (1/3)	0,046 (1/3)	-	-	-	-
^{108m}Ag	0,04 (1/3)	0,02 (1/3)	-	-	0,034 (1/3)	0,080 (1/3)	0,018 (1/3)	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	0,11 (1/3)	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	0,01 (1/3)	0,05 (1/3)	-	0,035 (1/3)	0,013 (1/3)	0,016 (1/3)	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	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
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.	n.a.	n.a.	n.a.	6,1-7,3 (2/2)	8,1-10,10 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	377 (1/1)	376 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008 (1/1)
^{137}Cs	0,08-0,27 (3/3)	0,06-0,23 (4/4)	0,06-0,22 (3/3)	0,04-0,18 (4/4)	0,056-0,193 (4/4)	0,06-0,17 (4/4)	0,05-0,19 (4/4)	0,13-0,19 (2/2)	0,184 (1/1)	0,172 (1/1)	0,195 (1/1)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 20 km	2 et 20 km	2 et 20 km	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
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	7,0-23,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,9-12,8 (2/2)	13,1-19,8 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,3-11,6 (2/2)	11,3-17,1 (2/2)	4,4-13,2 (2/2)	14,3 (1/1)	13,2 (1/1)	11,7 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	320-550 (2/2)	292-437 (2/2)	347-548 (2/2)	505 (1/1)	590 (1/1)	453 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 15 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	12/10/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,26	20/11/2020	610±50	51,0±6,0	n.a.	32±11	n.a.	≤ 1,9
Flamanville - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Sortosville-en-Beaumont	12/10/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,33	20/11/2020	554±48	59,0±7,0	n.a.	50±15	n.a.	≤ 2,2
Flamanville - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants	Siouville-Hague	20/01/2020	Mousses terrestres	Polytric Polytrichum species	Entier	frais	1,16	22/01/2020	247±19	3,5±1,9	n.a.	≤ 46	n.a.	661±38

n.a. : non analysé.

Dans les tableaux des pages suivantes, pour le milieu terrestre :
Prélèvements hors vents dominants de l'installation
Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 16 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec).

Chronique	Station	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*
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	12/10/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,26	20/11/2020	≤ 0,15	5,31±0,45	≤ 0,21	≤ 0,18	≤ 0,21	≤ 0,20	≤ 0,21	≤ 0,44	n.a.
Flamanville - zone non influencée	Sortosville-en-Beaumont	12/10/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Sol de pâturage ou de prairie 0 - 5 cm	sec	1,33	20/11/2020	≤ 0,18	3,17±0,31	≤ 0,25	≤ 0,20	≤ 0,24	≤ 0,24	≤ 0,26	≤ 0,50	n.a.
Flamanville - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants	Siouville-Hague	20/01/2020	Mousses terrestres	Polytric Polytrichum species	Entier	frais	1,16	22/01/2020	≤ 0,35	8,00±0,81	≤ 0,35	≤ 0,46	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,93	≤ 0,38

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 17 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 ou Bq.L^{-1})	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	12/10/2020	Végétaux terrestre non consommés	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	3,26	07/12/2020	1,50±0,70	1,04±0,49	Frais
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	12/10/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,13	07/12/2020	0,90±0,70	0,77±0,60	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 18 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/Sec	Date de mesure	TOL (Bq.L^{-1} d'eau de combustion)	TOL (Bq.kg^{-} frais ou Bq.L^{-1})	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Flamanville	12/10/2020	Végétaux terrestre non consommés	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	3,26	02/03/2021	2,60±0,70	0,49±0,13	Frais

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 19 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	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)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Flamanville - zi proche, à moins de 5 km du site	Siouville-Hague	12/10/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,13	27/12/2020	242±12	17,40±0,86	72	-16,05	105,2±5,2	Liquide

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 20 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments, les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Flamanville - champ proche	Flamanville	13/01/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,08	25/09/2020	538±47	40,6±4,8	n.a.	45±14	n.a.	≤ 32
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	28/01/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,38	25/09/2020	254±23	9,7±1,2	n.a.	≤ 11	n.a.	≤ 15
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	13/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	frais	4,96	31/01/2020	1 518±94	6,9±4,5	n.a.	≤ 149	n.d.	48,1±11,4
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	13/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	4,96	23/08/2020	1 358±132	4,9±0,7	10,0±1,0	n.a.	4,49±0,68	35,9±6,9
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	frais	4,62	28/01/2020	1 344±88	10,6±6,5	n.a.	n.a.	n.a.	40,6±9,2
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	4,62	25/09/2020	1 290±140	8,5±1,1	17,0±1,6	22,2±5,7	4,98±0,68	41,6±6,6
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	20/10/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	cendre	2,50	20/11/2020	54,9±5,4	1,15±0,18	1,78±0,25	≤ 3,4	0,83±0,20	0,58±0,18
Flamanville - champ proche	Tréauville	13/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	cendre	6,65	25/09/2020	47,0±4,6	0,609±0,080	0,710±0,084	0,80±0,42	1,37±0,14	1,13±0,59
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	cendre	6,08	02/11/2020	47,5±4,6	0,512±0,078	0,81±0,12	≤ 1,3	1,49±0,18	2,2±1,3
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	16/10/2020	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	cendre	4,56	20/11/2020	130±12	≤ 0,028	≤ 0,054	≤ 0,95	≤ 0,057	≤ 0,053

n.a. : non analysé, n.d. : non déterminé.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 21 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments, les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{131}I*	^{241}Am
Flamanville - champ proche	Flamanville	13/01/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,08	25/09/2020	≤ 0,21	2,79 ±0,27	≤ 1,9	2,87 ±0,37	≤ 0,39	≤ 0,34	≤ 2,9	≤ 0,60	≤ 0,20	≤ 2,5	n.a.	n.a.
Flamanville - champ lointain	Barneville-Carteret	28/01/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,38	25/09/2020	≤ 0,100	0,460 ±0,080	≤ 0,80	0,230 ±0,080	≤ 0,19	≤ 0,14	≤ 1,2	≤ 0,27	≤ 0,11	≤ 1,3	n.a.	n.a.
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	13/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	frais	3,57	31/01/2020	≤ 0,99	≤ 1,04	≤ 0,99	≤ 1,49	≤ 0,94	≤ 0,99	≤ 0,99	≤ 2,48	n.a.	≤ 8,9	≤ 0,89	n.a.
Flamanville - champ proche	Siouville-Hague	13/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	3,57	23/08/2020	≤ 0,12	0,19 ±0,04	≤ 1,26	0,59 ±0,09	≤ 0,25	≤ 0,18	≤ 1,55	≤ 0,26	≤ 0,15	1,63 ±0,55	n.a.	≤ 0,12
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	frais	4,62	28/01/2020	≤ 1,4	≤ 0,88	≤ 0,92	≤ 0,92	≤ 0,79	≤ 0,92	≤ 0,92	≤ 2,3	n.a.	≤ 7,4	≤ 0,83	n.a.
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	4,62	25/09/2020	≤ 0,079	0,19 ±0,04	≤ 0,75	0,29 ±0,07	≤ 0,16	≤ 0,11	≤ 0,93	≤ 0,18	≤ 0,095	≤ 0,97	n.a.	≤ 0,091
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	20/10/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	cendre	2,50	20/11/2020	≤ 0,027	≤ 0,027	≤ 0,034	0,061 ±0,022	≤ 0,036	≤ 0,029	≤ 0,034	≤ 0,074	≤ 0,040	≤ 0,29	n.a.	≤ 0,029
Flamanville - champ proche	Tréauville	13/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	cendre	6,65	25/09/2020	≤ 0,0067	0,0113 ±0,0034	≤ 0,067	0,0160 ±0,0055	0,0391 ±0,0097	≤ 0,012	≤ 0,092	≤ 0,017	0,0109 ±0,0046	0,353 ±0,071	n.a.	≤ 0,0088
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	cendre	6,08	02/11/2020	≤ 0,011	≤ 0,0088	≤ 0,14	0,0249 ±0,0097	≤ 0,028	≤ 0,018	≤ 0,21	≤ 0,028	0,0231 ±0,0088	≤ 0,14	n.a.	0,0254 ±0,0083
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	16/10/2020	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	cendre	4,56	20/11/2020	0,0080 ±0,0030	0,195 ±0,018	≤ 0,0095	≤ 0,0095	≤ 0,0081	≤ 0,0065	≤ 0,0068	≤ 0,014	≤ 0,0081	≤ 0,057	n.a.	≤ 0,0058

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 22 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - champ proche	Flamanville, au large	20/10/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	5,43	03/03/2021	7,80±0,90	0,88±0,11	Frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	13/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	6,48	21/11/2020	14,2±1,4	1,15±0,13	Frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	6,19	08/02/2021	2,10±0,80	0,18±0,07	Frais
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	16/10/2020	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	4,63	02/03/2021	11,7±1,0	1,62±0,15	Frais

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 23 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Flamanville lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/sec	Date de mesure du ^{14}C	^{14}C (Bq.kg^{-1} C)	^{14}C (Bq.kg^{-1} sec ou frais)	C_{TOT} (g.kg^{-1} sec ou frais)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	20/10/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	5,43	27/12/2020	376±18	30,7±1,5	82	-20,12	164,7±7,9	Frais
Flamanville - champ proche	Tréauville	13/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	6,48	19/10/2020	520±25	29,6±1,4	57	-17,49	227±11	Frais
Flamanville - champ lointain	Saint-Georges-de-la-Rivière	27/01/2020	Mollusques aquatiques	Patelle *Patella vulgata*	Chair	6,19	11/11/2020	316±15	18,39±0,87	58	-14,92	137,0±6,5	Frais
Flamanville - champ proche	Flamanville, au large	16/10/2020	Poissons	Vieille *Labrus bergylta*	Muscle	4,63	27/12/2020	453±22	44,6±2,2	98	-18,16	197,7±9,6	Frais

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 10 page 65). 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 16). 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).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Paluel, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements significatifs ou intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest à sud-ouest. La circulation générale des masses d'eaux le long du littoral Cauchois assure, quant à elle, la dispersion des effluents liquides vers le nord-est de la Manche.

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel est présentée sur la Figure 9 page 62. Les références bibliographiques sont présentées en pages 163 et suivantes.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Évènements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement du CNPE	Études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel	
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	1978-1979	**État de référence**
Dernier essai nucléaire aérien chinois : 16 oct.1980		
Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981		
Couplage tranche 1 : juin 1984		
Couplage tranche 2 : septembre 1984		
Couplage tranche 3 : septembre 1985		
Couplage tranche 4 : avril 1986		
Accident de Tchernobyl : 26 avril 1986		
Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990		
Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994	1992-1994	**Suivis annuels**
Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994		
	1995	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	1996-2004	**Suivis annuels**
	2005	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	2006-2010	**Suivis annuels**
Accident de Fukushima : 11 mars 2011	2011 à 2015	**Suivis annuels**
	2016	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	2017-2020	**Suivis annuels**

Figure 9 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Paluel.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 10 page 65. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 24 page 64. 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 à 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, Le Tôt). 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-lès-Grès, située en secteur est-sud-est et auparavant considérée comme en ZI, est recatégorisée en ZNI.

En 2020, du fait de la crise sanitaire mondiale, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce ne fut pas le cas du CNPE de Paluel. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever de salades dans l'environnement du CNPE de Paluel en 2020. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel.

Depuis 2020, des analyses de ^{14}C sont demandées au titre des prescriptions réglementaires dans les salades à échantillonner en champ proche. Néanmoins, cette analyse, comme l'analyse des émetteurs gamma, celle du ^{3}H libre et du ^{3}H organiquement lié, n'ont pu être réalisées du fait de l'absence de prélèvements de salades en 2020.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 24 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au C.N.P.E.	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,84 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	00,64146	49,86390	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie *0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	07/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,12	-
0,84 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	00,64146	49,86390	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	07/07/2020	Tritium lié + %H (sec)	2,24	-
0,84 km NE	Paluel - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	00,64146	49,86390	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	07/07/2020	Tritium libre (liquide)	2,24	-
9,61 km E	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	00,76754	49,84420	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	06/07/2020	Tritium libre (liquide)	7,08	-
9,61 km E	Paluel - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	00,76754	49,84420	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	06/07/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	7,08	-

- : absence de traitement.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 10 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations terrestres[7] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 37 page 86.

En 2020, la radioactivité d'origine naturelle quantifiée dans le sol proche du 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 cette matrice [3]. 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 [3, 24, 25]. 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 38 page 87.

Dans le sol échantillonné dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel en 2020, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs, dont l'activité est en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 26 page 75) 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 39 et du Tableau 40 page 88, respectivement.

L'activité en tritium (libre) dans le lait est inférieure au seuil de décision (≤ 0,60 Bq.L^{-1}). Dans l'herbe, l'activité en tritium libre (2,8±0,7 Bq.L^{-1}) est supérieure au 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 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} pour le TOL d'après [3]), et témoigne d'un apport local en champ proche du CNPE de Paluel pour l'herbe.

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 41 page 89.

Les activités en ^{14}C dans le lait échantillonné (246±12 Bq.kg^{-1} C) et dans deux des quatre prélèvements trimestriels d'herbe (244±12 et 264±13 Bq.kg-1 C, Tableau 28 page 77) sont significativement supérieures au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]), et témoignent d'un apport local dans l'environnement du CNPE de Paluel, possiblement par les rejets à l'atmosphère du CNPE.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 11 page 70. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 25 pages 68 et suivante. 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, à la station de Sassetot-le-Mauconduit, 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 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce ne fut pas le cas du CNPE de Paluel. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme en 2019, 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 terrestre du CNPE de Paluel.

Concernant les évolutions des prescriptions réglementaires, on peut noter que les analyses γ effectuées sur les algues en champ proche ne sont demandées qu'à une seule station en 2020 au lieu de deux les années précédentes.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 25 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel en 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
9,73 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,51265	49,81989	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	08/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	5,77	4,30
9,76 km	Paluel - Champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	00,51216	49,81981	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,35	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer *Maja squinado*	Entier	05/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	2,62	1,99
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Crustacés	Araignée de mer *Maja squinado*	Chair	05/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,70	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Entier	01/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,88	6,04
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Entier	01/07/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,88	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	29/06/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,61	16,78
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	29/06/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,58	-
12,33 km	Paluel - Champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	00,47330	49,82000	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	29/06/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	4,58	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	entier	22/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	2,33	1,85
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	22/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,14	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Entier	13/05/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,77	10,38
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Entier	13/05/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,87	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	26/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,73	16,27
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	26/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,67	-
1,14 km	Paluel - Champ proche	Paluel au large	00,63110	49,86750	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	26/01/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	4,67	-
6,34 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,72112	49,87078	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	08/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	6,08	4,03
6,34 km	Paluel - Champ proche	Saint-Valéry-en-Caux	00,72112	49,87078	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	08/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	2,03	-

- : absence de traitement.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 11 - Localisation du CNPE de Paluel et des stations marines[8] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 42 page 90.

En 2020, 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 Bq.kg^{-1} frais). Le ^{7}Be 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. 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 43 page 91.

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 et à l'^{108m}Ag. Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (6 fois sur 10 échantillons analysés). Comme il le fut régulièrement au cours de la dernière décennie, l'^{108m}Ag est détecté dans les bulots en champ proche comme en champ lointain du CNPE de Paluel à un niveau proche du seuil de décision, avec des activités plus élevées en champ lointain qu'en champ proche en 2020. Le ^{60}Co est quant à lui détecté en champ proche (sédiments et bulots) et en champ lointain du CNPE (algues). Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2020 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 32 à Tableau 36, pages 81 et suivantes). 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 organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 44 page 92.

Les activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés en champ lointain (2,3±0,8 à 4,6±0,9 Bq.L^{-1} EC, toutes matrices confondues) correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer en Manche (qui varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L^{-1}) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Les activités en tritium organiquement lié sont comparables en champ proche et en champ lointain, hormis pour les poissons, pour lesquels les activités sont plus élevées en champ proche (5,2±1,4 Bq.L^{-1} EC) qu'en champ lointain (2,3±0,8 Bq.L^{-1} EC). Cette observation cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne du

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

marquage par ce radionucléide de l'environnement proche du CNPE pour les poissons en 2020, même si les activités restent globalement du même ordre de grandeur depuis 2015 entre le champ proche et lointain.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement marin du CNPE de Paluel sont présentés au sein du Tableau 45 page 93.

Les activités en ^{14}C quantifiées au sein des poissons échantillonnés en champ proche et en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel sont supérieures au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (233±5 $Bq.kg^{-1}$ C en 2020 d'après nos mesures et d'après [3]). Elles sont comparables en champ proche et 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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2020 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 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 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. L'activité en tritium libre met en évidence un marquage lié aux rejets d'effluents à l'atmosphère. L'activité en ^{14}C dans le lait de vache échantillonné est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (224±7 $Bq.kg^{-1}$ C d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2020, 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 dans le lait et l'herbe et le ^{3}H dans l'herbe.

En 2020, 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 (dans les sédiments, les algues et les mollusques) et l'^{108m}Ag (dans les 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. L'^{108m}Ag, qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, est uniquement quantifié dans les bulots, à des niveaux plus élevés en champ lointain qu'en champ proche, sans que son origine ne soit clairement établie. En 2020, le ^{60}Co est quantifié dans les sédiments et les mollusques prélevés en champ proche uniquement, tandis qu'il l'est dans les algues en champ lointain 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 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, et ne mettent pas en évidence de marquage spécifique par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Paluel hormis pour les poissons en 2020. 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 dans les poissons.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

5.5. Tableaux de résultats

Tableau 26 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	10 km	10 km	10 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle ($Bq.kg^{-1}$ sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	5,5 (1/1)	6,0 (1/1)	5,6 (1/1)	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)
^{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.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 27 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,0 et 6,5 km	5,1 km	5,1 km	-
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	2,6-4,6 (2/2)	1,0-1,3 (2/2)	1,8-4,8 (2/2)	1,4-9,7 (2/2)	1,1-1,9 (2/2)	-	0,4-0,8 (2/2)	0,45-1,72 (2/2)	0,75 (1/1)	0,40 (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.
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 28 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	0,8 et 10,3 km	10 km	0,7 km	0,7 km	0,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	-	-	0,11 (1/1)	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.
^{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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	0,8 et 10,3 km	0,8 km	0,7 km	0,7 km	0,8 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.	n.a.	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)
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
^{14}C	n.a.	n.a.	233 (1/1)	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 29 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 et 5,7 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.	n.a.	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.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	236-257 (2/2)	n.a.	235 (1/1)	239 (1/1)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 30 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km	9,6 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.
^{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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	10 km	9,5 km	9,6 km	9,6 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	1,2 (1/1)	1,0 (1/1)	0,9 (1/1)	-	0,8 (1/1)	0,7 (1/1)	0,9 (1/1)	-	-	-	-
^{3}H lié	n.a.	n.a.	-	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.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	230-233 (4/4)	227-235 (5/5)	234 (1/1)	243 (1/1)	229 (1/1)	246 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 31 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	10 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 km	1,6 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.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	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.	n.a.
^{58}Co	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.	-	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.	n.a.
^{106}Ru/Rh	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.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (^{3}H 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 32 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	2,0 à 8,8 km	2,0 à 8,8 km	6,3 et 9,8 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	2,6 (1/3)	0,1-3,1 (2/3)	0,3-3,0 (3/3)	3,5 (1/3)	0,5-3,3 (3/3)	0,2-2,6 (2/3)	0,2-3,3 (3/3)	0,03-2,23 (2/3)	0,17-3,04 (3/3)	0,17-2,97 (3/3)	2,67 (1/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,9 (1/3)	0,8 (1/3)	0,8 (1/3)	1,3 (1/3)	0,1-1,8 (3/3)	0,7 (1/3)	1,3 (1/3)	0,8 (1/3)	0,9 (1/3)	1,1 (1/3)	0,77 (1/2)
^{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.	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	2,0 à 8,8 km	2,0 à 8,8 km	6,3 et 9,8 km
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.	34-44 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	96-207 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 33 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	1,6 à 8,8 km	1,6 à 8,8 km	6,3 et 9,7 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,23 (3/3)	0,23-0,34 (3/3)	0,21-0,24 (3/3)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	0,36 (1/3)	0,24-0,30 (2/3)	0,22 (1/3)	0,21-0,26 (3/3)	0,16 (1/3)	0,22-0,24 (2/4)	0,18-0,30 (3/3)	0,30-0,36 (3/3)	0,24-0,39 (2/3)	0,25 (1/2)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	0,18 (1/3)	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	1,0-4,1 (3/3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	0,8 à 12 km	6,2 et 8,8 km	6,3 et 8,8 km	6,3 et 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	n.a.	n.a.	n.a.	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}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	288-302 (3/3)	n.a.	286-290 (2/2)	269-278 (2/2)	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 34 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	2 à 12 km	5,7 et 12 km	2 à 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,02-0,06 (4/4)	0,02-0,07 (4/4)	0,02-0,03 (4/4)	0,02-0,08 (4/4)	0,02-0,13 (3/4)	0,02-0,07 (4/4)	0,02 (4/4)	0,02-0,04 (2/2)	0,02-0,05 (3/3)	0,02 (2/2)	0,014 (1/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,02-0,03 (2/4)	-	0,03 (1/4)	0,02 (1/4)	0,02-0,07 (3/4)	0,04 (1/4)	-	-	0,01 (2/3)	-	0,01 (1/2)
^{110m}Ag	0,03-0,04 (2/4)	-	-	-	0,03 (1/4)	0,01-0,02 (2/4)	0,03-0,05 (2/4)	-	0,01 (2/3)	-	-
^{108m}Ag	0,011-0,020 (2/4)	0,03 (2/4)	-	0,02 (2/4)	0,03 (1/4)	0,02 (3/4)	0,02-0,03 (3/4)	0,01 (1/2)	0,05 (2/3)	0,01-0,03 (2/2)	0,02-0,05 (2/2)
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10-0,16 (2/3)	-	-
^{241}Am	-	-	-	0,03 (1/4)	0,05 (1/4)	0,03 (1/4)	-	-	0,02 (1/3)	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 à 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,7 et 12 km	5,6 et 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 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.	3,6-4,3 (2/2)	4,1 (2/2)	5,8-7,4 (2/2)	4,8-5,0 (2/2)	5,3-7,6 (2/2)	7,0-7,8 (2/2)	5,5-5,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	3,5-3,6 (2/2)	4,6-5,1 (2/2)	4,1-5,2 (2/2)	5,1-5,8 (2/2)	6,3-7,5 (2/2)	5,4 (2/2)	5,2-6,2 (2/2)	4,6-5,3 (2/2)	4,1-4,6 (2/2)
^{14}C	n.a.	n.a.	294-295 (2/2)	267-301 (2/2)	270-278 (2/2)	266-274 (2/2)	281-287 (2/2)	280-296 (2/2)	287-368 (2/2)	331-333 (2/2)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 35 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	0,05 (1/2)	0,05 (1/2)	-	0,03 (1/2)	0,03 (1/2)	0,03 (1/2)	0,04 (1/2)	-	-	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	0,05 (1/2)	0,02 (1/2)	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 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.	n.a.	n.a.	n.a.	4,9-5,7 (2/2)	4,9-6,6 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,0-6,0 (4/4)	4,4-4,8 (2/2)	4,8-6,6 (2/2)	4,1-4,3 (2/2)	3,5 (2/2)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	338-393 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 36 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Paluel de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,08-0,31 (3/3)	0,05-0,26 (4/4)	0,04-0,36 (4/4)	0,05-0,32 (4/4)	0,04-0,27 (4/4)	0,04-0,21 (4/4)	0,03-0,24 (4/4)	0,17-0,24 (2/2)	0,14-0,17 (2/2)	0,15-0,17 (2/2)	0,21-0,25 (2/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	2 et 12 km	1,1 et 12,3 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	3,3-3,5 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,9-7,1 (3/3)	5,5-9,5 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,1-4,4 (3/3)	4,9-7,5 (4/4)	3,8-6,0 (2/2)	7,9-9,0 (2/2)	4,7-11,3 (2/2)	2,3-5,2 (2/2)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	290-370 (3/3)	314-448 (4/4)	319-343 (2/2)	338-346 (2/2)	346-371 (2/2)	308-315 (2/2)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 37 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,12	08/10/2020	201±18	21,5±2,6	n.a.	18±10	n.a.	≤ 3,0

n.a. : non analysé.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 38 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec).

Chronique	Station	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
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,12	08/10/2020	≤ 0,13	8,10±0,70	≤ 0,28	≤ 0,13	≤ 0,19	≤ 0,15	≤ 0,33	≤ 0,37

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 39 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	07/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	2,24	28/10/2020	2,80±0,70	1,55±0,39	Frais
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,08	28/10/2020	≤ 0,60	≤ 0,52	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 40 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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
Paluel - zi proche, à moins de 5 km du site	Paluel, Le Tôt	07/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	2,24	08/02/2021	2,70±0,70	0,69±0,18	Frais

n.a. : non analysé.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 41 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Paluel lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	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)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Paluel - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Gueutteville-les-Grès	06/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,08	11/11/2020	246±12	18,22±0,89	74	-27,65	109,4±5,3	Liquide

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 42 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	08/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,03	07/10/2020	227±20	10,4±1,3	n.a.	25,0±8,0	n.a.	46,5±4,5
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	08/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,35	06/10/2020	31,4±3,3	1,20±0,30	n.a.	≤ 9,0	n.a.	≤ 1,5
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	08/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	6,08	02/11/2020	1 440±150	3,10±0,55	6,08±0,97	≤ 17	≤ 1,5	6,7±2,0
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	08/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	5,77	02/11/2020	1 350±140	2,90±0,51	7,5±1,0	≤ 26	1,86±0,74	5,8±1,6
Paluel - champ proche	Paluel au large	22/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,33	19/10/2020	62,1±6,5	0,86±0,23	0,56±0,26	≤ 6,7	0,53±0,26	≤ 11
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	05/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,62	20/10/2020	62,1±6,3	0,77±0,17	0,54±0,19	≤ 6,0	0,40±0,21	≤ 7,1
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,77	03/11/2020	122±12	≤ 0,028	0,174±0,043	≤ 0,95	0,345±0,064	≤ 0,38
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,88	19/10/2020	113±11	≤ 0,068	0,256±0,094	≤ 2,1	0,36±0,12	≤ 0,38
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,73	20/11/2020	117±12	≤ 0,033	≤ 0,091	≤ 1,2	≤ 0,10	≤ 2,1
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	29/06/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,61	20/11/2020	118±12	≤ 0,025	≤ 0,057	≤ 0,78	≤ 0,065	≤ 0,21

n.a. : non analysé.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 43 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	08/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,03	07/10/2020	≤ 0,100	2,67±0,25	≤ 0,23	0,77±0,14	≤ 0,14	≤ 0,13	≤ 0,25	≤ 0,30	≤ 0,12	≤ 1,1	n.a.
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	08/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,35	06/10/2020	≤ 0,070	≤ 0,060	≤ 0,14	≤ 0,070	≤ 0,090	≤ 0,070	≤ 0,16	≤ 0,19	≤ 0,070	≤ 0,60	n.a.
Paluel - champ proche	Saint-Valery-en-Caux	08/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	6,08	02/11/2020	≤ 0,12	0,357 ±0,079	≤ 0,37	≤ 0,20	≤ 0,20	≤ 0,15	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,17	≤ 1,2	≤ 0,15
Paluel - champ lointain	Sassetot-le-Mauconduit	08/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	5,77	02/11/2020	≤ 0,16	0,283 ±0,065	≤ 0,53	0,249 ±0,100	≤ 0,28	≤ 0,21	≤ 0,51	≤ 0,37	≤ 0,23	≤ 1,9	≤ 0,19
Paluel - champ proche	Paluel au large	22/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,33	19/10/2020	≤ 0,058	≤ 0,044	≤ 0,70	≤ 0,063	≤ 0,14	≤ 0,086	≤ 0,95	≤ 0,14	≤ 0,070	≤ 0,72	≤ 0,039
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	05/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,62	20/10/2020	≤ 0,069	≤ 0,042	≤ 0,65	≤ 0,062	≤ 0,12	≤ 0,079	≤ 0,96	≤ 0,12	≤ 0,071	≤ 0,67	≤ 0,027
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,77	03/11/2020	≤ 0,0069	0,0136 ±0,0036	≤ 0,036	0,0087 ±0,0051	≤ 0,012	≤ 0,0095	≤ 0,041	≤ 0,018	0,016 ±0,005	≤ 0,079	≤ 0,0090
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,88	19/10/2020	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,047	≤ 0,021	≤ 0,026	≤ 0,019	≤ 0,047	≤ 0,038	0,047 ±0,013	≤ 0,17	≤ 0,019
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,73	20/11/2020	≤ 0,0091	0,245 ±0,025	≤ 0,14	≤ 0,013	≤ 0,022	≤ 0,014	≤ 0,21	≤ 0,022	≤ 0,012	≤ 0,13	≤ 0,0091
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	29/06/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,61	20/11/2020	≤ 0,0056	0,205 ±0,019	≤ 0,023	≤ 0,0090	≤ 0,0090	≤ 0,0078	≤ 0,023	≤ 0,013	≤ 0,0078	≤ 0,065	≤ 0,0062

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 44 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - champ proche	Paluel au large	22/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	4,14	08/02/2021	3,50±0,70	0,56±0,11	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	05/01/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	4,70	08/02/2021	3,50±0,70	0,50±0,10	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	13/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	3,87	07/03/2021	4,1±1,1	0,67±0,18	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	01/07/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	3,88	08/02/2021	4,60±0,90	0,76±0,15	Frais
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,67	03/03/2021	5,2±1,4	0,74±0,20	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	29/06/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,58	03/03/2021	2,30±0,80	0,33±0,12	Frais

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 45 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Paluel lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	Date de prélèvement	Nature	Espèce	Fraction	Frais/sec	Date de mesure du ^{14}C	^{14}C (Bq.kg^{-1} C)	^{14}C (Bq.kg^{-1} sec ou frais)	C_{TOT} (g.kg^{-1} sec ou frais)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Paluel - champ proche	Paluel au large	26/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,67	27/12/2020	315±15	32,9±1,6	100	-17,63	137,3±6,5	Frais
Paluel - champ lointain	Saint-Pierre-en-Port au large	29/06/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,58	27/12/2020	308±15	32,6±1,6	110	-17,21	134,2±6,5	Frais

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 13 page 99). 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).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Penly, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements significatifs ou intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des rejets d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest à sud-ouest. La circulation générale des masses d'eaux le long du littoral Cauchois assure, quant à elle, 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]).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly est présentée sur la Figure 12 page 96. Les références bibliographiques sont présentées en pages 163 et suivantes.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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	1985-1986	**État de référence**
	1988	**Réactualisation**
Mise en service de l'usine de traitement UP3 de la Hague : 1990		
Couplage tranche 1 : mai 1990	1991	**Étude de la radioactivité des moules**
Couplage tranche 2 : février 1992	1992	**Bilan bibliographique + Suivi annuel**
Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994	1993-1999	**Suivis annuels**
Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994		
	2000	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	2001-2010	**Suivis annuels**
Accident de Fukushima : 11 mars 2011	2011	**Suivi annuel + Bilan décennal**
	2012-2020	**Suivis annuels**

Figure 12 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Penly.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 13 page 99. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 46 page 98. 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 à 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 est à nord-est ou en champ proche (Petit-Caux, Penly, Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu et Petit-Caux, Guilmécourt).

En 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant et l'ASN. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce ne fut pas le cas du CNPE de Penly. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever de salades en zone hors influence dans l'environnement du CNPE de Penly en 2020. La salade échantillonnée en champ proche (habituellement à Guilmécourt) a été échantillonnée à Petit-Caux (à une distance comparable du CNPE), et l'analyse de ^{14}C sur cet échantillon a été exceptionnellement réalisée par AMS. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly.

Par rapport à l'année 2019, les analyses demandées au titre des prescriptions réglementaires dans l'herbe (tritium libre et tritium organiquement lié) ont été déplacées de la station de Guilmécourt à une station plus proche du CNPE de Penly (Petit-Caux, Penly).

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 46 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
1,16 km E	Penly - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Petit-Caux, Penly	01,22720	49,97526	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	06/07/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,67	-
1,16 km E	Penly - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Petit-Caux, Penly	01,22720	49,97526	Herbes	Herbe de prairie permanente	Entier	06/07/2020	Tritium libre (liquide)	3,67	-
6,96 km E	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	07/07/2020	Tritium libre (liquide)	7,25	-
6,96 km E	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	07/07/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	7,25	-
6,96 km E	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	01,30812	49,97289	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie *0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	07/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,28	-
6,38 km ENE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	01,28846	50,00446	Légumes	Salades	Feuilles	08/10/2020	Spectrométrie gamma (sec)	17,41	-
6,38 km ENE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	01,28846	50,00446	Légumes	Salades	Feuilles	08/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	18,94	-
6,38 km ENE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	01,28846	50,00446	Légumes	Salades	Feuilles	08/10/2020	Tritium libre (liquide)	18,94	-
6,38 km ENE	Penly - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	01,28846	50,00446	Légumes	Salades	Feuilles	08/10/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	18,94	-

- : absence de traitement.

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 13 - Localisation du CNPE de Penly et des stations terrestres[9] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 59 page 117.

En 2020, 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 et les végétaux, représentée par le ^{40}K et, dans une moindre mesure, par les familles du ^{232}Th et de l'^{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 [3, 24, 25]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^{7}Be, 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 60 page 118.

Le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié dans le sol est le ^{137}Cs. En revanche, ce radionucléide n'est pas quantifiable dans les salades (exceptionnellement analysées en sec et non en cendres en 2020). Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly en 2020 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 48 et Tableau 51, pages 106 et 109) 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 61 et du Tableau 62 page 119, respectivement.

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 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade, l'herbe et le lait. Elles sont en revanche supérieures à ce bruit de fond pour le tritium libre dans l'herbe (3,3±0,7 Bq.L^{-1} ED), et mettent en évidence un apport local en champ proche du CNPE de Penly pour l'herbe. Cet apport n'était pas mis en évidence en 2019 pour le prélèvement d'herbe effectué plus à distance du CNPE alors (6,9 km).

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 63 page 120.

L'activité en ^{14}C dans les salades échantillonnées en champ proche (227,2±1,7 Bq.kg^{-1} C) est proche du bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]), tandis

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

qu'elle est significativement supérieure à ce bruit de fond dans le lait échantillonné en champ proche (244±12 $Bq.kg^{-1}$ C) et témoigne d'un apport local dans l'environnement du CNPE de Penly pour le lait.

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 14 page 103. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 47 pages 102. 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 Dieppe). 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). Ainsi, à la station de Petit-Caux (Penly Digue Nord), 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 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 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce ne fut pas le cas du CNPE de Penly. Concernant les prélèvements et analyses réglementaires, comme en 2019, 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, 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).

Par rapport à l'année 2019, la stratégie d'échantillonnage est restée identique.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 47 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly en 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
10,36 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	Entier	07/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	6,76	4,61
10,36 km	Penly - Champ lointain	Dieppe	01,08594	49,92904	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	07/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	2,06	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	16/04/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	2,54	1,95
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	16/04/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,56	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	15/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,04	8,41
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	15/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,04	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	20/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,13	18,10
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	20/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,92	-
18,34 km	Penly - Champ lointain	Saint-Marguerite-sur-Mer au large	00,96420	49,93140	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	20/01/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	3,92	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	20/04/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	2,43	1,97
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Crustacés	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	20/04/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,69	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	01/05/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,69	8,49
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Mollusques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	01/05/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,57	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	15/04/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,55	17,27
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	15/04/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,58	-
1,52 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,19530	49,98530	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	15/04/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	4,58	-
1,81 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,22777	49,98828	Algues brunes	Fucus *Fucus serratus*	entier	07/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	5,18	4,86
1,81 km	Penly - Champ proche	Petit-Caux au large	01,22777	49,98828	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	07/07/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,27	-

- : absence de traitement.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 14 - Localisation du CNPE de Penly et des stations marines[10] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 64 page 121.

En 2020, 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 ^{7}Be 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 65 page 122.

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 et au ^{108m}Ag. Le ^{137}Cs est quantifié dans la majorité des échantillons (8 des 10 échantillons analysés), hormis les crustacés. Le ^{60}Co est détecté dans les sédiments fins et dans les fucus échantillonnés en champ lointain du CNPE de Penly. Le ^{108m}Ag est détecté dans les mollusques échantillonnés en champ lointain du CNPE de Penly. L'^{131}I recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2020 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 54 à Tableau 58, pages 112 et suivantes). 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.

6.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Penly sont présentés au sein du Tableau 66 page 123.

Les activités en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés en champ lointain, toutes matrices confondues, 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, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. En champ proche les activités en tritium organiquement lié tendent à être plus élevées (5,6±0,8 à 7,1±0,9 Bq.L^{-1} EC) qu'en champ lointain (4,5±0,9 à 5,3±0,8 Bq.L^{-1} EC). Les activités en tritium organiquement lié sont significativement plus élevées en champ proche qu'en champ lointain dans les poissons. Ces observations sont cohérentes avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, et témoignent d'un marquage des poissons par le tritium attribuable aux rejets du CNPE.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 67 page 124.

L'activité en ^{14}C mesurée au sein des poissons échantillonnés en champ proche et en champ lointain des rejets d'effluents liquides du CNPE de Penly sont supérieures au bruit de fond en ^{14}C observé hors influence dans les matrices biologiques collectées en entrée de Manche (233±5 $Bq.kg^{-1}$ C en 2020 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 [28], 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 Penly pour les poissons échantillonnés en 2020.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2020 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 est exclusivement imputable au ^{137}Cs, 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 Normandie. 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. Les activités en tritium libre mettent en évidence un apport local pour l'herbe échantillonnée en champ proche du CNPE. L'activité en ^{14}C dans le lait en champ proche est significativement supérieure au bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (224±7 $Bq.kg^{-1}$ C d'après [3]), tandis qu'elle est proche du bruit de fond dans les salades en champ proche.

En 2020, 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 (dans les sédiments et les algues) et l'^{108m}Ag (dans les mollusques) sont également quantifiés, en champ lointain. Le ^{60}Co quantifié dans les matrices marines a une double 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'^{108m}Ag, qui peut se trouver ponctuellement dans les rejets liquides des CNPE, est uniquement quantifié dans les bulots 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 organiquement lié dans les différents échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Penly 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. Dans les poissons, les activités en tritium organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain en 2020. 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 poissons.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

6.5. Tableaux de résultats

Tableau 48 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	7,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	6,8 (1/1)	3,7-8,1 (4/4)	6,0 (1/1)	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)
^{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.	n.a.	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	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.	0,8 (1/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	2,6-2,8 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	213-236 (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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 49 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,25 et 6,5 km	1,2 et 7 km	1,2 et 7 km	1,2 et 7 km	1,0 km	1,0 km	-
Émetteurs γ d'origine artificielle ($Bq.kg^{-1}$ sec)											
^{134}Cs	-	0,6-0,9 (2/2)	1,3 (1/2)	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	1,3-6,4 (2/2)	2,7-12,2 (2/2)	4,1-10,5 (2/2)	2,8-3,3 (2/2)	1,5-3,4 (2/2)	0,8-2,2 (2/2)	0,8-1,4 (2/2)	1,5-1,6 (2/2)	1,1 (1/1)	1,47 (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.
^{131}I	-	5,3-5,7 (2/2)	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 50 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	0,8 et 7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	1,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	0,2 (1/1)	0,2 (1/2)	0,2 (1/1)	0,1 (1/1)	0,1 (1/1)	0,07 (1/1)	-	-	0,09 (1/1)	0,04 (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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	0,8 et 7 km	1,1 et 7, 0 km	6,9 km	6,9 km	1,2 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.	0,8-2,5 (2/2)	n.a.	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)
^{3}H lié	n.a.	1,4-1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	2,3 (1/1)	1,4 (1/1)	1,5 (1/1)	2,1 (1/1)
^{14}C	237 (1/1)	236-238 (2/2)	236 (1/1)	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 51 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de salades collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,3 (1/1)	0,2-0,7 (2/2)	0,2-0,3 (2/2)	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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	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
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.	0,7-2,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	1,0 (1/1)	1,3 (1/1)	1,2 (1/1)	1,5 (1/1)	1,5 (1/1)	-
^{3}H lié	n.a.	1,5-2,3 (2/2)	n.a.	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)
^{14}C	n.a.	231-233 (2/2)	n.a.	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 52 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 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.
^{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	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	5 et 7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 km	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	1,4 (1/1)	0,9 (2/2)	1,5 (1/1)	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)
^{3}H lié	1,3 (1/1)	1,2-1,3 (2/2)	0,8 (1/1)	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.
^{14}C	n.a.	237-246 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	228-231 (4/4)	228-235 (4/4)	238 (1/1)	237 (1/1)	230 (1/1)	244 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 53 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	7 km	6,9 km	6,9 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.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	-	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.	n.a.
^{58}Co	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.	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.	n.a.
^{106}Ru/Rh	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.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1})											
^{3}H libre	-	1,0 (1/1)	-	-	-	-	-	0,9 (1/1)	-	0,8 (1/1)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 54 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	0 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 15,1 km	1,9 à 15,1 km	1,8 et 10,4 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,2-3,2 (3/3)	0,4-3,0 (4/4)	0,1-3,5 (3/3)	0,2-3,0 (3/3)	0,2-1,9 (3/3)	0,2-2,5 (3/3)	0,2-3,9 (2/3)	0,2-2,4 (3/3)	0,5-2,4 (3/3)	1,2-1,6 (3/3)	0,5-2,4 (2/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,4-1,0 (2/3)	0,5-0,7 (2/4)	1,3 (1/3)	1,0 (1/3)	0,7 (1/3)	0,8 (1/3)	1,9 (1/3)	0,6 (1/3)	0,6 (2/3)	0,1-0,3 (3/3)	0,6 (1/2)
^{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.	n.a.	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	0 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 15,1 km	1,9 à 15,1 km	1,8 et 10,4 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.	3,8-5,2 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	4,5-15,4 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	179-444 (4/4)	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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 55 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 15,0 km	1,9 à 15,1 km	1,8 et 10,4 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,24-0,29 (3/3)	0,22-0,30 (3/3)	0,15-0,24 (3/3)	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)
^{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)
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{129}I	n.a.	1,93 (1/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{131}I	-	0,37-0,83 (3/3)	-	-	-	-	-	-	-	2,25 (1/2)	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 10,3 km	1,9 et 10,3 km	1,8 et 10,4 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.	3,6-6,0 (3/3)	n.a.	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.
^{3}H lié	n.a.	3,7-5,4 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,2-6,2 (2/2)	4,8-6,9 (2/2)	n.a.
^{14}C	n.a.	244-275 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	288-305 (2/2)	235-285 (2/2)	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 56 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 à 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,02-0,05 (4/5)	0,02-0,13 (8/8)	0,02-0,03 (3/4)	0,02-0,05 (4/4)	0,019-0,056 (4/4)	0,018-0,047 (4/4)	0,013-0,065 (4/4)	0,03-0,04 (2/2)	0,02-0,05 (3/3)	0,01-0,02 (2/2)	0,01-0,02 (2/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,02 (2/5)	0,01-0,02 (3/8)	0,03 (1/4)	-	0,012 (1/4)	0,013 (1/4)	0,021 (1/4)	0,01 (1/2)	-	-	-
^{110m}Ag	-	0,03 (1/8)	-	-	-	-	-	-	0,01 (1/3)	-	-
^{108m}Ag	-	0,01-0,02 (2/8)	0,02 (1/4)	0,009-0,011 (2/4)	0,019-0,026 (2/4)	0,032 (1/4)	-	-	0,01-0,04 (2/3)	-	0,01 (1/2)
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	0,02-0,04 (2/8)	0,02 (1/4)	0,02 (1/4)	0,016-0,019 (2/4)	0,012-0,017 (2/4)	0,019-0,024 (2/4)	0,02 (1/2)	0,02 (1/3)	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,4 à 19 km	1,4 à 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	1,4 et 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 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.	2,7-6,6 (5/5)	5,0-6,0 (2/2)	5,8-5,9 (2/2)	5,6-8,2 (2/2)	3,9-5,3 (2/2)	7,1-7,2 (2/2)	7,6-9,6 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	3,4-4,4 (5/5)	3,7-4,0 (2/2)	4,0-4,6 (2/2)	4,8-5,6 (2/2)	4,1-4,7 (2/2)	6,7-6,8 (2/2)	4,4-6,8 (2/2)	5,2-8,9 (2/2)	5,6-8,5 (2/2)	5,3-6,1 (2/2)
^{14}C	n.a.	285-352 (5/5)	275-302 (2/2)	272-322 (2/2)	270-299 (2/2)	267-298 (2/2)	271-293 (2/2)	265-291 (2/2)	313-382 (2/2)	436-486 (2/2)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 57 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	-	0,04-0,05 (3/4)	-	0,07 (1/2)	0,048-0,056 (2/2)	0,066 (1/2)	0,035 (1/2)	0,05 (1/2)	0,04-0,05 (2/2)	-	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05 (1/2)	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	0,041 (1/2)	0,026 (1/2)	-	0,02-0,04 (2/2)	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 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.	2,8-3,4 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	5,7-5,8 (2/2)	3,1-5,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	2,7-2,9 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,4-5,6 (2/2)	4,8-4,9 (2/2)	4,2-4,3 (2/2)	4,5-4,6 (2/2)	4,5-5,6 (2/2)
^{14}C	n.a.	351-359 (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.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 58 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Penly de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,06-0,38 (3/3)	0,05-0,30 (4/4)	0,1-0,3 (4/4)	0,05-0,21 (4/4)	0,04-0,17 (4/4)	0,04-0,19 (4/4)	0,04-0,24 (4/4)	0,04 (2/2)	0,04 (2/2)	0,10-0,16 (2/2)	0,13-0,16 (2/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	2 et 19 km	1,5 et 18,3 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	2,2-2,7 (2/2)	2,4-5,6 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	5,8-7,0 (2/2)	6,5-8,7 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	3,6-4,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	4,4-4,8 (2/2)	3,7-5,5 (2/2)	4,8-4,9 (2/2)	3,8-4,1 (2/2)	4,5-7,2 (2/2)	4,5-7,1 (2/2)
^{14}C	n.a.	319-454 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	320-350 (2/2)	342-513 (2/2)	440-489 (2/2)	408-412 (2/2)	334-351 (2/2)	298-358 (2/2)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 59 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,28	02/11/2020	419±36	34,4±4,1	n.a.	30±10	n.a.	≤ 4,8
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	08/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	17,41	03/11/2020	1 930±240	≤ 3,0	n.a.	n.a.	n.a.	252±31

n.a. : non analysé.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 60 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sols et les végétaux).

Chronique	Station	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
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	07/07/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,28	02/11/2020	≤ 0,15	3,03±0,28	≤ 0,43	≤ 0,16	≤ 0,23	≤ 0,20	≤ 0,50	≤ 0,44
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	08/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	cendre	17,41	03/11/2020	≤ 0,61	≤ 0,66	≤ 0,78	≤ 0,78	≤ 0,63	≤ 0,70	≤ 0,75	≤ 1,6

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 61 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	08/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,94	06/01/2021	≤ 2,4	≤ 2,3	Frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	3,67	28/10/2020	3,30±0,70	2,40±0,51	Frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	07/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,25	28/10/2020	0,70±0,70	0,60±0,60	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 62 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	08/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,94	09/06/2021	1,19±0,11	0,0333±0,0032	Frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	06/07/2020	Herbes	Herbe de prairie permanente	Parties aériennes	3,67	07/03/2021	2,10±0,70	0,33±0,11	Frais

n.a. : non analysé.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 63 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Penly lors du suivi radioécologique 2020.

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)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Tocqueville-sur-Eu	08/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	18,94	21/12/2020	227,2±1,7	4,559±0,034	20	-29,63	101,46±0,76	Frais
Penly - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Petit-Caux, Guilmécourt	07/07/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	sec	7,25	11/11/2020	244±12	17,60±0,87	72	-24,74	107,9±5,3	Liquide

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 64 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Penly - champ proche	Petit-Caux	07/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,27	06/10/2020	131±12	3,30±0,50	n.a.	≤ 9,0	n.a.	3,4±1,0
Penly - champ lointain	Dieppe	07/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,06	02/11/2020	231±20	11,9±1,5	n.a.	15,0±7,0	n.a.	48,0±5,0
Penly - champ proche	Petit-Caux	07/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	5,18	19/10/2020	1 030±100	3,31±0,51	9,9±1,0	≤ 12	1,38±0,58	3,9±1,2
Penly - champ lointain	Dieppe	07/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	6,76	16/10/2020	1 320±130	3,12±0,46	4,23±0,59	≤ 10	2,80±0,54	7,2±1,1
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,43	03/11/2020	44,6±4,6	0,90±0,15	0,31±0,13	≤ 2,5	0,75±0,17	≤ 1,7
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	16/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,54	03/11/2020	48,7±4,9	0,85±0,16	0,38±0,22	≤ 5,3	0,79±0,20	≤ 2,4
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,69	03/11/2020	124±12	≤ 0,029	0,153±0,041	≤ 0,99	0,192±0,051	≤ 0,45
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	15/01/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	4,04	03/11/2020	115±11	≤ 0,029	0,221±0,044	≤ 0,97	0,162±0,050	≤ 1,8
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	15/04/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,55	16/10/2020	122±11	≤ 0,024	≤ 0,055	≤ 0,89	≤ 0,047	≤ 0,31
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	20/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,13	02/11/2020	122±12	≤ 0,035	≤ 0,094	≤ 1,3	≤ 0,094	≤ 1,9

n.a. : non analysé.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 65 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am
Penly - champ proche	Petit-Caux	07/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,27	06/10/2020	≤ 0,070	0,460 ±0,070	≤ 0,15	≤ 0,090	≤ 0,100	≤ 0,080	≤ 0,17	≤ 0,19	≤ 0,080	≤ 0,70	n.a.
Penly - champ lointain	Dieppe	07/07/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,06	02/11/2020	≤ 0,090	2,35 ±0,23	≤ 0,28	0,61 ±0,12	≤ 0,15	≤ 0,12	≤ 0,29	≤ 0,26	≤ 0,12	≤ 1,0	n.a.
Penly - champ proche	Petit-Caux	07/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	5,18	19/10/2020	≤ 0,084	0,173 ±0,047	≤ 0,23	≤ 0,14	≤ 0,14	≤ 0,10	≤ 0,23	≤ 0,19	≤ 0,12	≤ 0,93	≤ 0,099
Penly - champ lointain	Dieppe	07/07/2020	Algues	Fucus *Fucus serratus*	Entier	cendre	6,76	16/10/2020	≤ 0,067	0,228 ±0,043	≤ 0,17	0,121 ±0,056	≤ 0,11	≤ 0,085	≤ 0,17	≤ 0,17	≤ 0,091	≤ 0,72	≤ 0,082
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	20/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,43	03/11/2020	≤ 0,025	≤ 0,019	≤ 0,13	≤ 0,029	≤ 0,038	≤ 0,031	≤ 0,19	≤ 0,059	≤ 0,031	≤ 0,27	≤ 0,023
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	16/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Entier	cendre	2,54	03/11/2020	≤ 0,030	≤ 0,026	≤ 0,16	≤ 0,034	≤ 0,055	≤ 0,038	≤ 0,24	≤ 0,077	≤ 0,036	≤ 0,36	≤ 0,028
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	3,69	03/11/2020	≤ 0,0070	0,0185 ±0,0041	≤ 0,041	≤ 0,010	≤ 0,013	≤ 0,0099	≤ 0,045	≤ 0,016	≤ 0,0089	≤ 0,083	≤ 0,0080
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	15/01/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	cendre	4,04	03/11/2020	≤ 0,0082	0,0138 ±0,0038	≤ 0,11	≤ 0,011	≤ 0,018	≤ 0,012	≤ 0,15	≤ 0,018	0,0124 ±0,0050	≤ 0,10	≤ 0,0079
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	15/04/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,55	16/10/2020	≤ 0,0057	0,158 ±0,015	≤ 0,033	≤ 0,0089	≤ 0,010	≤ 0,0076	≤ 0,037	≤ 0,014	≤ 0,0076	≤ 0,064	≤ 0,0056
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	20/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,13	02/11/2020	≤ 0,0094	0,128 ±0,013	≤ 0,13	≤ 0,015	≤ 0,023	≤ 0,015	≤ 0,19	≤ 0,021	≤ 0,011	≤ 0,12	≤ 0,0094

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 66 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 au large	20/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	3,69	07/03/2021	5,60±0,80	1,04±0,15	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	16/04/2020	Crustacés aquatiques	Araignée de mer *Maja brachydactyla*	Chair	3,56	02/03/2021	4,50±0,70	0,92±0,15	Frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	01/05/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	3,57	02/03/2021	6,10±0,90	1,05±0,16	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	15/01/2020	Mollusques aquatiques	Bulot *Buccinum undatum*	Chair	4,04	02/03/2021	5,30±0,80	0,88±0,14	Frais
Penly - champ proche	Petit-Caux au large	15/04/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,58	30/11/2020	7,10±0,90	1,06±0,14	Frais
Penly - champ lointain	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	20/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	3,92	07/03/2021	4,50±0,90	0,82±0,17	Frais

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 67 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Penly lors du suivi radioécologique 2020.

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} sec ou frais)	C_{TOT} (g.kg^{-1} sec ou frais)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Penly - champ lointain	Petit-Caux au large	15/04/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	sec	4,58	20/10/2020	358±17	37,1±1,9	120	-16,76	129,7±6,5	Frais
Penly - champ proche	Sainte-Marguerite-sur-Mer au large	20/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	sec	3,92	11/11/2020	298±15	39,7±1,9	110	-17,12	155,9±7,4	Frais

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 16 page 129). 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).

Les modalités d'exploitation et les limites des rejets d'effluents du CNPE de Gravelines, en mer et dans l'atmosphère, sont définies par l'Autorité de sureté nucléaire (ASN). L'exploitant n'a pas porté à la connaissance de l'IRSN d'évènements significatifs ou intéressant l'environnement pour l'année 2020 ayant pu avoir une conséquence mesurable sur les niveaux d'activité des échantillons analysés dans le cadre du suivi.

La dispersion des rejets d'effluents dans l'environnement est contrainte par les conditions météorologiques et hydrodynamiques propres au site. Le régime éolien est généralement dominé par les vents de secteur ouest-sud-ouest. Les vents de secteur nord-est, bien que non dominants, n'en demeurent pas moins fréquents. 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]).

La chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines est présentée sur la Figure 15 page 126. Les références bibliographiques sont présentées en pages 163 et suivantes.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Évènements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement du CNPE	Études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines	
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	1977-1978	État de référence
Couplage tranches B1, B2, B3 : mars à nov. 1980		
Dernier essai nucléaire aérien chinois : 16 oct.1980		
Incendie de silo à l'usine de la Hague : 6 janvier 1981		
Couplage tranche B4 : mai 1981		
Couplage tranche C5 : août 1984		
Couplage tranche C6 : juillet 1985		
Accident de Tchernobyl : 26 avril 1986		
	1992	Suivi annuel + Bilan décennal
Mise en service de l'usine de traitement UP2-800 de la Hague : 1994	1993-2001	Suivis annuels
Arrêt de l'exploitation du site de stockage de la Manche : 1994		
	2002	Suivi annuel + Bilan décennal
	2003-2010	Suivis annuels
Accident de Fukushima : 11 mars 2011	2011-2012	Suivis annuels
	2013	Suivi annuel + Bilan décennal
	2014-2020	Suivis annuels

Figure 15 - Chronologie des études radioécologiques conduites dans l'environnement du CNPE de Gravelines.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.2. Etat 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 16 page 129. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 68 page 128. 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 et lierre), des vecteurs directs ou indirects de radioactivité vers l'homme. Ils sont caractéristiques des principales activités agricoles de la région. 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 et un sol de pâturage 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 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 du CNPE (Gravelines, AS1, Loon-Plage et Dunkerque). La zone hors vents dominants (ZNI) se situe dans le secteur sud (Saint-Georges-sur-l'Aa).

En 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seules analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Gravelines, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans une mousse terrestre. Concernant les analyses réglementaires, il n'a pas été possible de prélever deux des trois salades demandées dans l'environnement du CNPE de Gravelines en 2020. Le lait a été prélevé en ZNI, comme c'est le cas depuis 2015 du fait de l'absence de ferme laitière en ZI. Enfin, les analyses de ^{14}C sur la salade échantillonnée sous les vents dominants ont exceptionnellement été réalisées par AMS. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines.

Par rapport à l'année 2019, les analyses effectuées au titre des prescriptions réglementaires sont identiques, hormis pour les salades.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 68 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique de 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
1,42 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14922	51,02167	Autres végétaux	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	11/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	2,66	-
1,42 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14922	51,02167	Autres végétaux	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	11/02/2020	Tritium libre (liquide)	2,66	-
1,43 km ENE	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	02,14958	51,02139	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie *0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,11	-
4,17 km E	Gravelines - ZI Proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	02,19089	51,02344	Mousses terricoles	Tortula *Tortula ruralis*	Entier	10/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	1,16	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	11/08/2020	Tritium libre (liquide)	7,71	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Aliments liq. non transformés	Lait de vache	Entier	11/08/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	7,71	-
6,85 km S	Gravelines - Zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	02,13844	50,95222	Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie *0 - 5 cm*	Diamètre inférieur à 2 mm	11/08/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,15	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Spectrométrie gamma (sec)	26,47	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Tritium lié + %H (sec)	18,32	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	Tritium libre (liquide)	18,32	-
8,14 km E	Gravelines - ZI secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	02,24900	51,02100	Légumes	Salades	Feuilles	06/10/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	18,32	-

- : absence de traitement.

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 16 - Localisation de CNPE de Gravelines et des stations terrestres[11] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[11] Vert clair : stations hors vents dominants (ZNI). Vert moyen : stations sous les vents dominants secondaires (ZIS).Vert foncé : stations sous les vents dominants principaux (ZIP). Les anciens noms des stations (jusqu'en 2018) sont indiqués en italique lorsqu'ils diffèrent de la nomenclature actuelle.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 82 page 149.

En 2020, 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 l'^{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, 24, 25]. La seconde composante, cosmogénique, est due au ^{7}Be, 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 83 page 150.

Dans les sols, le seul radionucléide d'origine artificielle quantifié est le ^{137}Cs. Ce radionucléide ne l'est pas dans les salades (exceptionnellement analysées en sec et non en cendres en 2020) ni dans les mousses. Les activités en ^{137}Cs détectées dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines en 2020 sont en accord avec les niveaux observés au cours des dix dernières années (Tableau 70, Tableau 71 et Tableau 74, pages 137 et suivantes) 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. 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 84 et du Tableau 85 page 151, respectivement.

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 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} EC pour le TOL d'après [3]) pour la salade et le lait. Elles sont en revanche supérieures à ce bruit de fond dans le lierre (3,1±0,7 Bq.L^{-1} ED et 2,9±0,7 Bq.L^{-1} EC, respectivement), et mettent en évidence un apport local en champ proche du CNPE de Gravelines pour le lierre.

Carbone 14

Les résultats d'analyse des activités en ^{14}C dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 86 page 152.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

L'activité en ^{14}C dans le lait échantillonné en champ lointain (229±11 Bq.kg^{-1} C) et dans les salades échantillonnées en champ proche (224,5±1,7 Bq.kg^{-1} C) sont comparables au bruit de fond sur le territoire métropolitain français hors influence industrielle locale (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]), et ne mettent en évidence aucun apport local dans l'environnement du site de Gravelines. Par contre, les résultats des quatre prélèvements trimestriels de feuilles de lierre (251±12 à 264±13 Bq.kg^{-1} C, Tableau 73 page 140) 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 17 page 133. Les dates de prélèvement, stations, natures et caractéristiques identifiant chaque échantillon sont répertoriées dans le Tableau 69 pages 131 et suivante. 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.

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 125). 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 2020, du fait de la crise sanitaire, l'IRSN a été contraint de réduire la stratégie d'échantillonnage aux seuls prélèvements et analyses réglementaires, en accord avec l'exploitant. Seuls quelques sites ont pu faire l'objet de quelques prélèvements et analyses non réglementaires, principalement avant le premier confinement. Ce fut le cas du CNPE de Gravelines, pour lequel des analyses d'iode 131 ont pu être réalisées au titre du suivi annuel dans les algues. L'IRSN n'a rencontré aucune autre difficulté de prélèvement dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines

Par rapport à l'année 2019, la stratégie d'échantillonnage réglementaire est restée identique.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 69 - Identification des échantillons prélevés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines en 2020 et analyses réalisées.

Situation par rapport au CNPE	Chronique	Commune	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Nature	Espèce	Fraction Prelevée/ Analysée	Date de prélèvement	Type de mesure	Frais/ Sec	Sec/ Cendres
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	10/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,37	23,07
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	10/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,66	-
0,52 km	Ferme Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	02,13580	51,01810	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	10/02/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	3,66	-
1,54 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15134	51,02161	Algues brunes	Fucus *Fucus vesiculosus*	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	5,14	3,70
1,54 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Prise d'eau	02,15134	51,02161	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,30	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise *Crangon crangon*	entier	31/07/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	3,97	3,80
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Crustacés	Crevette grise *Crangon crangon*	entier	31/07/2020	Tritium lié + %H (sec)	3,44	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	16/01/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,45	16,26
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	16/01/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,24	-
2,16 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines au large	02,13440	51,03310	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	16/01/2020	^{14}C + C stable + $^{13}C/^{12}C$ (sec)	4,24	-
2,22 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10538	51,00426	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	12/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	2,01	-
2,24 km	Gravelines - Champ proche	Grand-Fort-Philippe	02,10368	51,00591	Algues brunes	Fucus *Fucus ceranoides*	entier	12/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	7,64	4,18
2,48 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,14994	51,03339	Mollusques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	12,70	3,12
2,48 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,14994	51,03339	Mollusques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	11/02/2020	Tritium lié + %H (sec)	6,17	-
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	Fucus *Fucus vesiculosus*	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,82	3,27
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Algues brunes	Fucus *Fucus vesiculosus*	entier	11/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	4,82	3,27
2,57 km	Gravelines - Champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	02,15020	51,03422	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	11/02/2020	Spectrométrie gamma (sec)	1,21	-
40,68 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59738	50,87286	Mollusques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	07/08/2020	Spectrométrie gamma (cendres)	4,67	10,16
40,68 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59738	50,87286	Mollusques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	07/08/2020	Tritium lié + %H (sec)	4,26	-
41,04 km	Gravelines - Champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	01,59316	50,87082	Algues brunes	Fucus *Fucus vesiculosus*	Entier	12/02/2020	Spectrométrie gamma (frais) + I-131	5,39	3,95

- : absence de traitement.

	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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Figure 17 - Localisation du CNPE de Gravelines et des stations marines[12] échantillonnées dans le cadre du suivi radioécologique 2020.

[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).

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 87 pages 153 et suivante.

En 2020, 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 ^{7}Be 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. Il est également détecté dans les crustacés. 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 88 pages 155 et suivante.

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, les algues et les mollusques en champ proche), au ^{110m}Ag (dans les crustacés en champ proche) et à l'^{241}Am (dans les mollusques en champ lointain). Le ^{137}Cs est le plus fréquemment quantifié (détecté dans 11 des 12 échantillons analysés). L'^{131}I recherché dans les algues ne présente pas d'activité supérieure au seuil de décision. Les résultats de mesure par spectrométrie gamma obtenus en 2020 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 77 à Tableau 81, pages 144 et suivantes). 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.

7.3.2.2. Radionucléides émetteurs bêta

Tritium

Les résultats d'analyse des activités en tritium organiquement lié dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines sont présentés au sein du Tableau 89 page 157.

Les activités en tritium organiquement lié dans les mollusques prélevés en champ lointain, dans les crustacés prélevés en champ proche et dans les poissons de la Ferme Aquacole (3,0±0,8 à 4,0±0,8 Bq.L^{-1} EC) 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 Bq.L^{-1} EC à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]) et majoritairement imputables à la dispersion des rejets d'effluents liquides de l'usine ORANO La Hague. Pour les mollusques et les poissons, les activités en tritium organiquement lié en champ proche sont plus élevées (6,3±1,0 et 6,4±1,0 Bq.L^{-1} EC). Cette observation, cohérente avec les valeurs observées au cours de la dernière décennie, témoigne d'un marquage par les rejets d'effluents liquides du CNPE pour ce radionucléide.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 90 page 157.

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 (233±5 $Bq.kg^{-1}$ C en 2020 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 (342±17 $Bq.kg^{-1}C$) est en revanche supérieure à ce bruit de fond. 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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

Les niveaux d'activités des radionucléides naturels détectés en 2020 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 exclusivement imputable au ^{137}Cs, présent dans les sols échantillonnés, 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. Les activités en tritium libre et organiquement lié mettent en évidence un apport local pour le lierre. L'activité en ^{14}C dans les salades et le lait est proche du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (224±7 $Bq.kg^{-1}$ C d'après [3]). Au vu des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2020, 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 et le ^{14}C dans le lierre.

En 2020, 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, les algues et les mollusques), le ^{110m}Ag (dans les crustacés) et le ^{241}Am (dans les mollusques) sont également quantifiés. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales dans le cas du ^{137}Cs, le ^{60}Co et le ^{110m}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. Le l'^{241}Am, caractéristique des rejets d'effluents de l'usine ORANO La Hague, est quantifié dans les moules prélevées en champ lointain du CNPE en 2020. 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. Les activités en tritium organiquement lié restent toutefois plus élevées en champ proche qu'en champ lointain en 2020 pour les mollusques. Les activités en ^{14}C témoignent de l'influence globale des INB de la Manche [3].

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

7.5. Tableaux de résultats

Tableau 70 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sols collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11 et 11,6 km	6,9 et 11,6 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	2,8-3,0 (2/2)	2,8-3,4 (2/2)	2,5-5,1 (3/3)	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)
^{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.	n.a.	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11 et 11,6 km	6,9 et 11,6 km	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
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.	n.a.	1,1-3,2 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,9-2,3 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	236-240 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 71 - Activités en radionucléides émetteurs γ au sein d'échantillons de mousses collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
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	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	2,7 à 19 km	4,4 km	4,0 km	4,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	0,6 (1/3)	0,05-0,15 (2/3)	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	34 (1/3)	1,7-7,0 (2/3)	1,2-12,6 (3/3)	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)	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

-

Tableau 72 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'herbe collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 et 13,0 km	12,0 et 13,0 km	1,2 et 6,9 km	1,2 et 6,9 km	1,2 km	1,1 km	-
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	-	-	-	-	-	-	0,04-0,29 (2/2)	0,17 (1/2)	-	0,034 (1/1)	n.a.
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	0,072 (1/2)	0,105 (1/2)	-	0,058 (1/1)	n.a.
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134 (1/1)	n.a.
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,6 km	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,1 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.	n.a.	1,6 (2/2)	n.a.	1,6 (1/1)	6,7 (1/1)	1,9 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	1,7-2,1 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	3,1 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	229 (1/1)	232 (1/1)	229-234 (3/3)	227 (1/1)	222-271 (2/2)	272 (1/1)	268 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 73 - Activités en radionucléides émetteurs β au sein d'échantillons de lierre collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	-	-	-	9,7 et 19 km	-	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,2 km	1,4 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.	n.a.	1,7 (2/2)	n.a.	n.a.	7,8 (1/1)	n.a.	3,9 (1/1)	2,5 (1/1)	3,1 (1/1)
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	2,4-3,0 (2/2)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6 (1/1)	2,1 (1/1)	2,9 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	228-229 (2/2)	n.a.	263 (3/3)	248-261 (4/4)	252-264 (4/4)	242-263 (4/4)	243-261 (4/4)	251/264 (4/4)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 74 - 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 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 11,6 km	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
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade, Choux-fleurs et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,52 (1/2)	0,20 (1/2)	0,18-0,34 (2/3)	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)	-
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,0 et 11,6 km	11,0 et 11,6 km	6,9 à 11,6 km	6,9 et 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
Nature	Salade	Salade	Salade	Salade et Pommes de terre	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
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.	n.a.	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)	-
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 75 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de lait collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.L^{-1})											
^{134}Cs	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{137}Cs	-	n.a.	-	-	0,0077 (1/1)	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{57}Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{58}Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{60}Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{110m}Ag	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{106}Ru/Rh	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.
^{241}Am	-	n.a.	-	-	-	n.a.	-	-	-	-	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,6 km	-	11,6 km	6,9 à 18,0 km	11,6 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 km	6,9 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.	0,9 (1/1)	0,7-0,8 (2/3)	-	n.a.	-	1,0 (1/1)	0,8 (1/1)	0,8 (1/1)	-
^{3}H lié	n.a.	n.a.	0,8 (1/1)	0,9-2,1 (3/3)	1,0 (1/1)	n.a.	1,5 (1/1)	0,9 (1/1)	3,6 (1/1)	1,3 (1/1)	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	233-235 (2/2)	n.a.	230-237 (5/5)	227-240 (4/4)	233 (1/1)	250 (1/1)	234 (1/1)	229 (1/1)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 76 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'eau de boisson collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	11,6 km	9,5 km	9,5 km	9,5 km	9,5 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.	n.a.	n.a.
^{137}Cs	n.a.	n.a.	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.	n.a.	n.a.
^{58}Co	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.	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.	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.	n.a.	n.a.
^{241}Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Émetteurs β (^{3}H libre : Bq.L^{-1}, ^{14}C : Bq.kg^{-1} C)											
^{3}H libre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	165 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 77 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de sédiments collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 2,6 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,1-4,2 (4/4)	0,1-2,8 (4/4)	0,1-3,9 (4/4)	0,1-3,3 (4/4)	0,09-3,60 (4/4)	0,18-3,90 (2/4)	0,12-4,10 (4/4)	0,10-3,38 (4/4)	0,14-4,01 (4/4)	0,08-3,89 (4/4)	0,11-2,16 (3/3)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	1,9 (1/4)	1,0 (1/4)	2,3 (1/4)	1,5 (1/4)	0,3-1,7 (2/4)	1,2 (1/4)	0,2-1,6 (2/4)	0,3-1,5 (2/4)	0,1-1,9 (3/4)	0,5-1,9 (2/4)	0,7 (1/3)
^{110m}Ag	-	-	-	0,2 (1/4)	-	-	-	-	-	0,2 (1/4)	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 à 41 km	1,5 à 2,6 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.	n.a.	3,4-5,9 (4/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	8,1 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.	n.a.	n.a.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	305 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	232-307 (2/2)	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé. - : inférieur au seuil de décision. n.d. : teneur en TOL non déterminable en Bq.L^{-1} EC.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 78 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons d'algues collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	0,7 à 41 km	1,5 à 41,0 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} sec)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,2-0,3 (4/4)	0,2-0,4 (4/4)	0,2-0,4 (4/4)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,4 (1/4)	0,3 (2/4)	0,4 (1/4)	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)
^{110m}Ag	-	0,46 (1/4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	0,18 (1/4)	-	0,11 (1/4)	-	-	0,15 (1/4)	-
^{129}I	n.a.	n.a.	n.a.	1,8 (1/4)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{131}I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,6 à 41 km	1,0 à 41 km	1,0 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,4 et 41 km	1,5 à 41,0 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.	n.a.	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}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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.
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	238-286 (3/3)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	241-270 (2/2)	255-270 (2/2)	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 79 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de mollusques collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	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
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,03-0,04 (3/3)	0,03-0,10 (2/2)	0,03-0,04 (2/2)	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)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	0,02-0,03 (2/3)	0,05 (1/2)	-	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)
^{110m}Ag	0,17 (1/3)	0,50 (1/2)	0,36 (1/2)	0,03-1,49 (3/5)	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04 (1/2)	-	-
^{241}Am	-	-	-	0,01 (3/5)	0,01-0,02 (2/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)	-	0,01 (1/2)

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	1,7 à 41 km	1,7 et 41 km	1,7 et 41 km	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
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.	3,9-31,3 (2/2)	3,8-5,0 (2/2)	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.
^{3}H lié	n.a.	3,4-11,7 (2/2)	3,0-6,6 (2/2)	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)
^{14}C	n.a.	333-350 (2/2)	324-358 (2/2)	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.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 80 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de crustacés collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 et 41 km	2,0 km	2,0 km	2,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{137}Cs	-	n.a.	0,06 (1/1)	0,07 (1/1)	0,04-0,05 (2/2)	n.a.	n.a.	0,04 (1/2)	0,05 (1/1)	0,05 (1/1)	0,04 (1/1)
^{57}Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{58}Co	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{60}Co	-	n.a.	0,02 (1/1)	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	n.a.	-	0,25 (1/1)	0,05 (1/2)	n.a.	n.a.	-	-	0,06 (1/1)	0,04 (1/1)
^{108m}Ag	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	-	-	-
^{241}Am	-	n.a.	-	-	-	n.a.	n.a.	-	0,03 (1/1)	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	2,0 km	-	2,0 km	2,0 et 41 km	2,0 et 41 km	-	-	2,0 km	2,0 km	2,0 km	2,2 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.	n.a.	6,3 (1/1)	4,6 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	7,5 (1/1)	5,2 (1/1)	n.a.	n.a.	6,4 (1/1)	3,9 (1/1)	5,1 (1/1)	3,0 (1/1)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	562 (1/1)	308 (1/1)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 81 - Activités en radionucléides émetteurs γ et β au sein d'échantillons de poissons collectés dans l'environnement marin du CNPE de Gravelines de 2010 à 2020 dans le cadre du suivi radioécologique.

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	0,5 et 2,2 km
Émetteurs γ d'origine artificielle (Bq.kg^{-1} frais)											
^{134}Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{137}Cs	0,04-0,20 (4/4)	0,1-0,2 (5/5)	0,06-0,20 (5/5)	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)	0,08-0,11 (2/2)
^{57}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{58}Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{60}Co	-	-	-	-	-	0,02 (1/5)	-	-	-	-	-
^{110m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{108m}Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{106}Ru/Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
^{241}Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Date	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Distance au site	0,2 et 2,0 km	0,2 à 41 km	0,2 à 41 km	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
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	2,7-3,3 (2/2)	n.a.	n.a.	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.
^{3}H lié	n.a.	n.a.	n.a.	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)
^{14}C	n.a.	n.a.	n.a.	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)

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 82 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sols et les végétaux).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	21/09/2020	248±22	9,4±1,2	n.a.	≤ 11	n.a.	≤ 11
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,15	29/10/2020	336±29	19,9±2,4	n.a.	17,0±8,0	n.a.	≤ 2,4
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	26,47	10/11/2020	2 380±290	≤ 3,7	n.a.	n.a.	n.a.	386±48
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	10/02/2020	Mousses terrestres	Tortula *Tortula ruralis*	Entier	frais	1,16	14/02/2020	124±10	3,6±1,6	n.a.	≤ 35	n.a.	445±24

n.a. : non analysé.

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

	Prélèvements hors vents dominants de l'installation
	Prélèvements sous les vents dominants principaux de l'installation

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 83 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sols et les végétaux).

Chronique	Station	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*
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,11	21/09/2020	≤ 0,11	0,580 ±0,090	≤ 0,80	≤ 0,11	≤ 0,19	≤ 0,16	≤ 1,0	≤ 0,28	n.a.
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Sols	Sol de pâturage ou de prairie	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,15	29/10/2020	≤ 0,12	3,30 ±0,30	≤ 0,24	≤ 0,14	≤ 0,17	≤ 0,16	≤ 0,28	≤ 0,35	n.a.
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	26,47	10/11/2020	≤ 0,82	≤ 0,87	≤ 1,2	≤ 1,0	≤ 0,85	≤ 0,93	≤ 1,1	≤ 2,1	≤ 16
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Loon-Plage	10/02/2020	Mousses terrestres	Tortula *Tortula ruralis*	Entier	frais	1,16	14/02/2020	≤ 0,29	≤ 0,32	≤ 0,29	≤ 0,35	≤ 0,29	≤ 0,35	≤ 0,29	≤ 0,70	≤ 0,34

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 84 - Activités en tritium libre (HTO) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,32	06/01/2021	≤ 2,4	≤ 2,3	Frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Végétaux terrestres non consommés	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	2,66	28/10/2020	3,10±0,70	1,93±0,44	Frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	7,71	28/10/2020	≤ 0,60	≤ 0,52	Liquide

n.a. : non analysé.

Tableau 85 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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 - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	18,32	09/06/2021	1,37±0,15	0,039±0,004	Frais
Gravelines - zi proche, à moins de 5 km du site	Gravelines, AS1	11/02/2020	Végétaux terrestre non consommés	Lierre *Hedera helix*	Feuilles annuelles	2,66	24/11/2020	2,90±0,70	0,69±0,17	Frais

n.a. : non analysé.

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 86 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement terrestre du CNPE de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.

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)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Gravelines - zi secondaire, à plus de 5 km, sous les vents dominants, moins de 20 km	Dunkerque	06/10/2020	Légumes	Salades	Feuilles	sec	18,32	21/12/2020	224,5±1,7	4,78±0,04	21	-29,8	100,3±0,8	Frais
Gravelines - zone non influencée, à moins de 20 km du site	Saint-Georges-sur-l'Aa	11/08/2020	Produits laitiers	Lait de vache	Entier	sec	7,71	19/10/2020	229±11	15,27±0,73	67	-21,38	100,6±4,8	Liquide

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 87 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,30	21/09/2020	234±21	3,90±0,60	n.a.	≤ 10	n.a.	≤ 10
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,01	17/09/2020	277±24	13,8±1,7	n.a.	14,0±7,0	n.a.	50,0±9,0
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2021	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,21	17/09/2020	224±20	4,00±0,60	n.a.	≤ 11	n.a.	≤ 10
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2020	Algues	Fucus *Fucus ceranoides*	Entier	cendre	7,64	21/09/2020	1 430±140	7,2±1,0	1,98±0,67	≤ 19	3,68±0,84	≤ 17
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	frais	4,82	13/02/2020	1 397±87	6,7±4,3	n.a.	n.a.	n.a.	15,9±6,7
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	cendre	4,82	07/10/2020	1 330±130	3,36±0,58	3,92±0,98	≤ 18	≤ 2,1	≤ 15
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	cendre	5,14	17/09/2020	1 350±130	3,92±0,59	5,16±0,92	≤ 16	2,57±0,89	14,1±5,9
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	12/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	frais	5,39	14/02/2020	1471±86	8,09±3,23	n.a.	≤ 81	n.a.	14,0±4,9
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cendre	3,97	20/10/2020	89,4±8,6	0,298±0,066	0,22±0,11	≤ 2,5	0,23±0,13	0,32±0,16
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	cendre	12,70	21/09/2020	32,3±3,0	≤ 0,028	0,205±0,045	≤ 0,88	0,288±0,056	≤ 0,71
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	cendre	4,67	03/11/2020	60,5±5,9	0,030±0,013	0,329±0,040	≤ 0,70	0,506±0,059	0,150±0,030

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Chronique	Station	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
										^{228}Ac	^{234}Th	^{234m}Pa	^{210}Pb	
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,45	02/10/2020	127±12	≤ 0,022	≤ 0,057	≤ 0,69	≤ 0,068	≤ 0,83
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	3,37	21/09/2020	130±13	≤ 0,036	≤ 0,10	≤ 1,3	≤ 0,15	≤ 0,90

n.a. : non analysé.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 88 - 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 2020 (Bq.kg^{-1} sec pour les sédiments et les algues, Bq.kg^{-1} frais pour les mollusques, les crustacés et les poissons).

Chronique	Station	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	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am	^{131}I*
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,30	21/09/2020	≤ 0,090	0,180 ±0,050	≤ 0,70	≤ 0,100	≤ 0,16	≤ 0,12	≤ 0,90	≤ 0,23	≤ 0,090	≤ 1,0	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	11/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	1,21	17/09/2020	≤ 0,100	0,110 ±0,050	≤ 0,70	≤ 0,11	≤ 0,17	≤ 0,14	≤ 0,90	≤ 0,25	≤ 0,100	≤ 1,1	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	12/02/2020	Sédiments	Sable de plage	Diamètre inférieur à 2 mm	sec	2,01	17/09/2020	≤ 0,24	2,16 ±0,21	≤ 1,1	0,65 ±0,12	≤ 0,44	≤ 0,24	≤ 1,5	≤ 0,46	≤ 0,25	≤ 1,9	n.a.	n.a.
Gravelines - champ proche	Grand-Fort-Philippe	12/02/2020	Algues	Fucus *Fucus ceranoides*	Entier	cendre	7,64	21/09/2020	≤ 0,14	0,163 ±0,069	≤ 1,1	0,43 ±0,14	≤ 0,29	≤ 0,22	≤ 1,2	≤ 0,33	≤ 0,17	≤ 1,7	≤ 0,14	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	frais	4,82	13/02/2020	≤ 0,72	≤ 0,82	≤ 0,82	≤ 0,96	≤ 0,77	≤ 0,96	≤ 0,77	≤ 1,9	n.a.	≤ 7,2	n.a.	≤ 0,87
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	cendre	4,82	07/10/2020	≤ 0,14	0,275 ±0,076	≤ 1,3	0,23 ±0,11	≤ 0,28	≤ 0,21	≤ 1,8	≤ 0,34	≤ 0,18	≤ 1,8	≤ 0,18	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, prise d'eau	11/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	cendre	5,14	17/09/2020	≤ 0,12	0,254 ±0,065	≤ 1,0	0,33 ±0,11	≤ 0,24	≤ 0,19	≤ 1,1	≤ 0,30	≤ 0,16	≤ 1,6	≤ 0,12	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	12/02/2020	Algues	Fucus *Fucus vesiculosis*	Entier	frais	5,39	14/02/2020	≤ 0,43	≤ 0,54	≤ 0,54	≤ 0,59	≤ 0,49	≤ 0,54	≤ 0,49	≤ 1,62	n.a.	≤ 4,9	n.a.	≤ 0,65
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	cendre	3,97	20/10/2020	≤ 0,017	0,037 ±0,011	≤ 0,040	≤ 0,026	0,035 ±0,016	≤ 0,019	≤ 0,033	≤ 0,040	≤ 0,022	≤ 0,17	≤ 0,020	n.a.
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	cendre	12,70	21/09/2020	≤ 0,0068	0,0109 ±0,0038	≤ 0,053	0,0157 ±0,0066	≤ 0,013	≤ 0,0099	≤ 0,068	≤ 0,015	≤ 0,0083	≤ 0,086	≤ 0,0071	n.a.
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	cendre	4,67	03/11/2020	≤ 0,0042	0,0112 ±0,0025	≤ 0,0074	≤ 0,0070	≤ 0,0059	≤ 0,0051	≤ 0,0061	≤ 0,010	≤ 0,0061	≤ 0,044	0,0063 ±0,0025	n.a.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Chronique	Station	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	^{108m}Ag	^{106}Rh	^{241}Am	^{131}I*
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	4,45	02/10/2020	≤ 0,0055	0,123±0,011	≤ 0,064	≤ 0,0083	≤ 0,011	≤ 0,0083	≤ 0,083	≤ 0,012	≤ 0,0064	≤ 0,069	≤ 0,0059	n.a.
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	cendre	3,37	21/09/2020	≤ 0,0090	0,0759±0,0090	≤ 0,077	≤ 0,013	≤ 0,018	≤ 0,014	≤ 0,090	≤ 0,022	≤ 0,010	≤ 0,12	≤ 0,012	n.a.

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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Tableau 89 - Activités en tritium organiquement lié (TOL) mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.

Chronique	Station	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, au large	31/07/2020	Crustacés aquatiques	Crevette grise	Entier	3,44	07/03/2021	3,00±0,80	0,52±0,14	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, Jetée des Huttes	11/02/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	6,17	30/11/2020	6,3±1,0	0,604±0,100	Frais
Gravelines - champ lointain	Audinghen, lieu-dit Cap Gris-Nez	19/09/2020	Mollusques aquatiques	Moule bretonne *Mytilus edulis*	Chair	4,26	07/03/2021	3,50±0,80	0,52±0,12	Frais
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	3,66	24/11/2020	4,00±0,80	0,76±0,15	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/02/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	4,24	21/11/2020	6,4±1,0	1,00±0,16	Frais

Tableau 90 - Activités en ^{14}C mesurées au sein des échantillons collectés dans l'environnement marin du site de Gravelines lors du suivi radioécologique 2020.

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 ($Bq.kg^{-1}$ sec ou frais)	C_{TOT} ($g.kg^{-1}$ sec ou frais)	$\delta^{13}C/^{12}C$ (‰)	pMC (%)	Unité
Centre Aquacole	Gravelines, lieu-dit Ferme Aquanord	10/02/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	Sec	3,66	19/10/2020	223±11	30,7±1,5	140	-21,41	98,0±4,8	Frais
Gravelines - champ proche	Gravelines, au large	16/01/2020	Poissons	Bar *Dicentrarchus labrax*	Muscle	sec	4,24	19/10/2020	342±17	38,1±1,9	110	-17,36	149,0±7,4	Frais

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 (7 fois sur 10). L'activité la plus élevée (8,1±0,7 Bq.kg^{-1} sec) est observée dans le sol de pâturage de Paluel, Le Tôt, dans la zone sous les vents 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 20).

En plus de l'eau de boisson et du lait de vache, dans lesquels l'activité en ^{3}H libre est recherchée depuis plusieurs années, cette activité a également été recherchée depuis 2015 dans l'herbe, les feuilles de salade, voire le lierre pour les CNPE de Flamanville et Gravelines (depuis 2016 et 2018 respectivement). En 2020, le ^{3}H libre a été recherché dans l'herbe, le lierre, les salades et le lait. Le ^{3}H libre est détecté dans deux des quatre échantillons de lait de vache récoltés, à des niveaux d'activité proches du seuil de décision (activité de 0,7±0,7 et 0,9±0,7 Bq.L^{-1} ED dans l'environnement des CNPE de Penly et Flamanville ; et ≤ 0,6 Bq.L^{-1} ED dans l'environnement des CNPE de Paluel et de Gravelines). Dans les salades échantillonnées sous influence des CNPE de Penly et de Gravelines, l'activité en ^{3}H libre est inférieure au seuil de décision (≤ 2,4 Bq.L^{-1} ED). Dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, l'activité en ^{3}H libre est un peu plus élevée (1,5±0,7 Bq.L^{-1} ED), mais reste de l'ordre de grandeur du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (0,5 à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} pour le TOL d'après [3]). Dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines et dans l'herbe échantillonnée à proximité des CNPE de Paluel et de Penly, l'activité en ^{3}H libre est en revanche plus élevée que ce bruit de fond (2,8±0,7 à 3,3±0,7 Bq.L^{-1} ED), et témoigne d'un apport local en tritium libre.

Depuis 2010, le ^{3}H organiquement lié est lui aussi quantifié dans le lait de vache, à un niveau d'activité généralement proche du seuil de décision. En 2020, le ^{3}H organiquement lié a été recherché dans la salade, l'herbe et les feuilles de lierre, et son activité y est proche du bruit de fond attendu en milieu terrestre hors influence des rejets des INB (0,5 à 2 Bq.L^{-1} pour l'HTO et 0,39 à 1,9 Bq.L^{-1} pour le TOL d'après [3]), hormis dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines, où l'activité en ^{3}H organiquement lié mesurée témoigne d'un apport local (2,9±0,7 Bq.L^{-1} EC).

Enfin, l'activité en ^{14}C dans la salade dans l'environnement du CNPE de Penly et de Gravelines est comparable à la valeur du bruit de fond sur le territoire français hors influence industrielle (224±7 Bq.kg^{-1} C d'après [3]). L'activité en ^{14}C dans le lait est proche de ce bruit de fond dans l'environnement des CNPE de Flamanville et de Gravelines, tandis qu'elle témoigne d'un apport local (244±12 et 246±12 Bq.kg^{-1} C) dans l'environnement des CNPE de Paluel et Penly, sans que la contribution des rejets du site ne soit démontrée. En revanche, 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), et Gravelines (lierre) (à environ un kilomètre ou moins des différents CNPE) était significativement supérieure au bruit de fond hors influence industrielle (activité comprise entre 241±12 Bq.kg^{-1} C, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Flamanville, et 261±13 Bq.kg^{-1} C, dans le lierre échantillonné à proximité du CNPE de Gravelines) ; témoignant d'un apport local probable en ^{14}C dans l'environnement immédiat de ces CNPE pour l'herbe ou le lierre.

À la vue des résultats obtenus dans le cadre du suivi radioécologique 2020, 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, de lait 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 ^{3}H (libre et organiquement lié), ainsi que pour le ^{14}C.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{3}H. 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 ^{110m}Ag), tout comme le ^{3}H 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 ^{3}H 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 18 page 160).

Le ^{137}Cs est le radionucléide artificiel le plus fréquemment détecté au sein des matrices échantillonnées (40 fois sur 49). Les activités en ^{137}Cs sont relativement homogènes de Flamanville à Gravelines (Figure 19 page 161). 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 mBq par kg de matière fraîche. L'^{131}I, recherché dans les algues échantillonnées à proximité des CNPE de Flamanville et de Gravelines, n'est pas détecté à des niveaux supérieurs au seuil de décision.

Les activités en tritium organiquement lié (2,1±0,8 à 14,2±1,4 Bq.L^{-1} EC) dans 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 Bq.L^{-1}, et qui varient généralement de 0,3 à 10 Bq.L^{-1}) 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 (5 des 21 activités mesurées sont supérieures à 5 Bq.L^{-1} EC, avec une activité maximale de 14,2±1,4 Bq.L^{-1} EC dans les patelles récoltées à proximité du CNPE de Flamanville) dans l'environnement des CNPE de Flamanville, Penly et Gravelines en 2020.

Les activités en ^{14}C quantifiées au sein des crustacés, des mollusques et des poissons échantillonnées dans l'environnement marin des CNPE (223±11 à 520±25 Bq.kg^{-1} C) sont pour la plupart (9 des 10 activités mesurées, l'exception étant représentée par les bars d'aquaculture du Centre Aquacole de Gravelines) supérieures au bruit de fond hors influence industrielle (233±5 Bq.kg^{-1} C en 2020 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 [28], 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 mollusques à proximité du CNPE de Flamanville, et pour les

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

poissons à proximité du CNPE de Penly (Figure 20 page 161). Les différences ne sont pas significatives pour les poissons à Paluel. A Flamanville et Gravelines, les poissons n'ont été échantillonnés qu'en champ proche et la comparaison n'est pas possible. Il en est de même pour les crustacés à Flamanville, échantillonnés uniquement en champ proche.

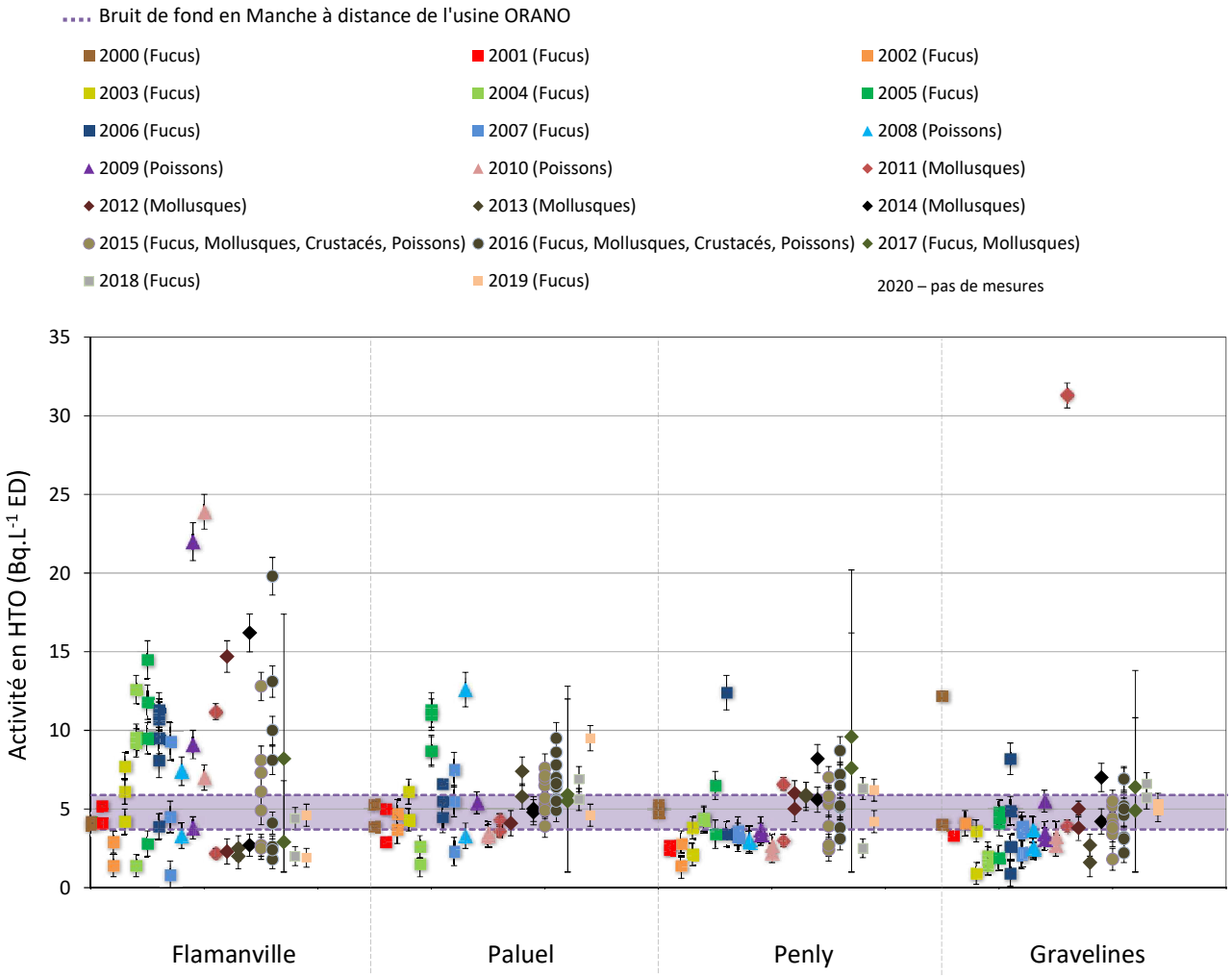

Figure 18 - Activités en tritium libre (Bq.L^{-1} ED) mesurées dans les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons échantillonnés dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord depuis 2000. La zone violette indique le bruit de fond attendu en entrée de Manche (i.e. entre 3,7 et 5,9 Bq.L^{-1} à distance de l'usine ORANO [3, 26, 27]).

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

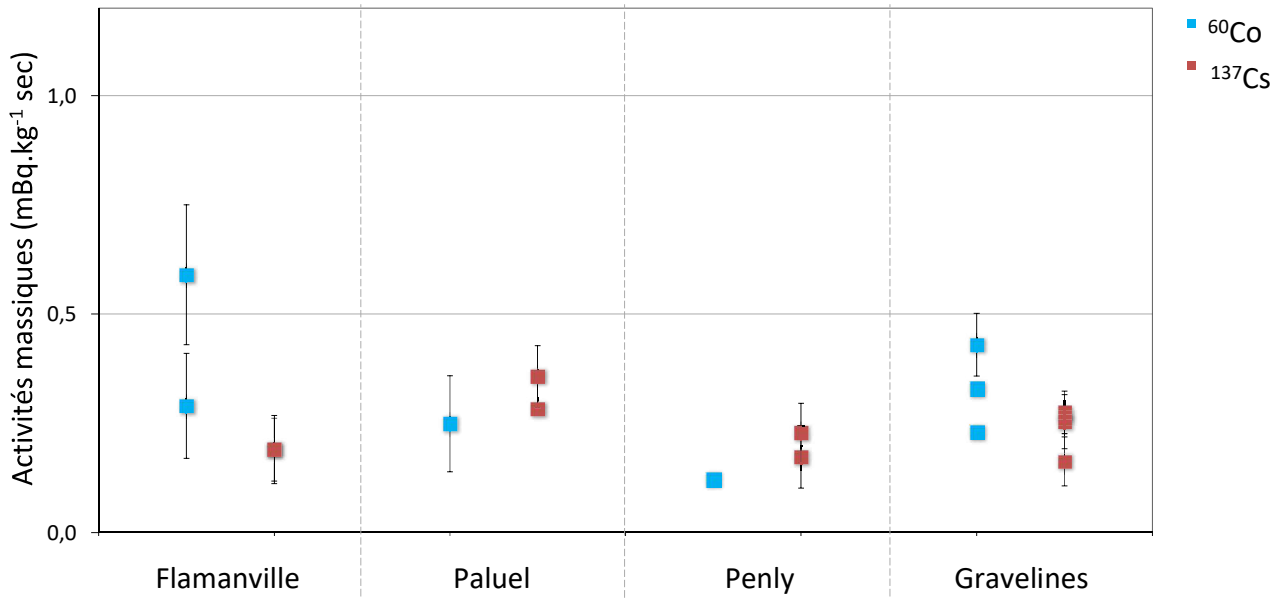

Figure 19 - Activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs mesurées dans les algues échantillonnées en 2020 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord.

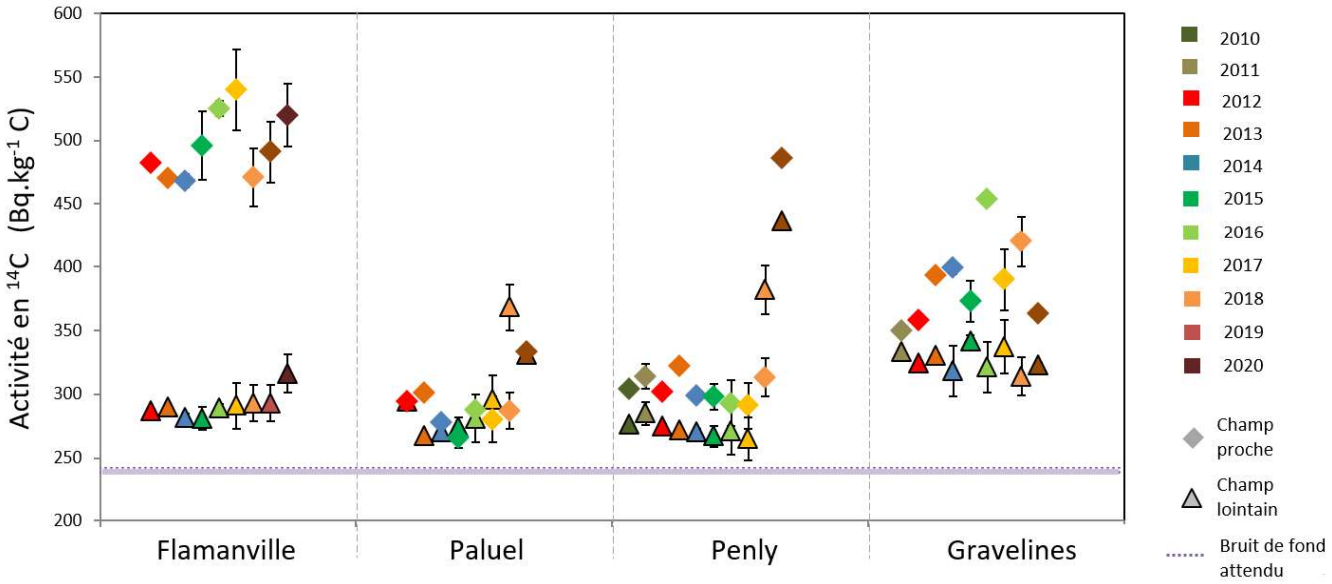

Figure 20 - Activités en ^{14}C (Bq.kg^{-1} C) dans les mollusques (patelles et moules) échantillonnés depuis 2010 dans l'environnement proche des CNPE en Manche et Mer du Nord. Le graphique distingue les prélèvements fait en champ proche de chaque CNPE (losanges) de ceux effectués en champ lointain (triangles), et indique en violet le bruit de fond attendu hors influence industrielle (i.e., 240±2 Bq.kg^{-1} C d'après [3]).

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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. 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; Accessible à l'adresse: http://livre-blanc-tritium.asn.fr/.
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 Sûreté 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 techniques2008. p. 190.
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. Roussel-Debet, S., Gontier, G., Siclet, F., et Fournier, M., *Distribution of Carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants.* Journal of Environmental Radioactivity, 2006. **87**(3): 246-259 p.
17. 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.
18. IRSN, *Tchernobyl, 25 ans après.* in *Collection thématique de l'IRSN*2011, IRSN. 48 p.
19. Renaud, P., Champion, D., et Brenot, J., *Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Conséquences environementales et exposition des personnes.*2007, Paris: Éditions Tec & Doc. Collection Sciences et techniques. Lavoisier.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

20. 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.

21. 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/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/expertise_IRSN_en_matiere_de_rejets_hospitaliers_medecine_nucleaire.

22. IAEA, *Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment* 2004, IAEA. 95 p p.

23. 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.

24. IRSN, *Radionucléides naturels en France*. 2007, IRSN. Rapport Rapport DEI/SESURE n°2007-21, 45 p.

25. Reimann, C., Filzmoserb, P., et Garrettc, R.G., *Background and threshold: critical comparison of methods of determination*. Science of the Total Environment, 2005. **346**: 1-16 p.

26. IRSN, *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014*. 2015, IRSN. 252 p.

27. 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.

28. IRSN, *Synthèse du suivi radioécologique 2013 des 19 centres nucléaires de production d'électricité en exploitation*. 2014, IRSN. 132 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 og 14C data*. Radiocarbon, 1977. **19**(3): 355-363 p.

35. Laboratoire national Henri Becquerel, *Arrondissage 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 137Cs 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.

38. ASN, *Livre blanc du tritium*, 2010, ASN. 304 p p.

39. IAEA, *Monitoring isotopes in rivers : creation of the global network of isotopes in rivers (GNIR)*. 2012, IAEA. Rapport IAEA-TECDOC-1673, 258 p.

40. Rank, D., Papesch, W., Heiss, G., et Tesch, R., *Isotopic composition of river water in the danube basin - results from the joint danube survey 2 (2007)*. Austrian Journal of Earth Sciences, 2009. **102**(2): 170-180 p.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

10. ANNEXES

Annexe 1. Choix des stations de prélèvements 170

Annexe 2. Choix des matrices prélevées 170

2.1. Domaine terrestre 170
2.1.1. Eaux 170
2.1.2. Les bryophytes 170
2.1.3. Les sols 171
2.1.4. L'herbe 171
2.1.5. Les végétaux cultivés 171
2.1.6. Le lait 171
2.2. Domaine aquatique marin 171
2.2.1. Les sédiments 171
2.2.2. Algues 171
2.2.3. Les poissons, mollusques et crustacés 172

Annexe 3. Choix des fréquences d'analyses 172

Annexe 4. Choix des analyses 172

Annexe 5. Méthode de prélèvements sur le terrain 172

5.1. Domaine terrestre 172
5.1.1. Eaux (eau de boisson, eau de nappe) 172
5.1.2. Sols 172
5.1.3. Végétaux 173
5.1.4. Lait 174
5.2. Domaine aquatique marin 174
5.2.1. Sédiments 174
5.2.2. Végétaux 174
5.2.3. Poissons, crustacés, mollusques 174

Annexe 6. Préparation et conditionnement des échantillons 174

6.1. Domaine terrestre 174
6.1.1. Eau de boisson 174
6.1.1.1. Mesurage des émetteurs gamma 174
6.1.1.2. Mesurage du tritium 175
6.1.2. Sols 175
6.1.3. Végétaux 175
6.1.3.1. Mesurage des émetteurs gamma 175
6.1.3.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C 176
6.1.4. Lait 176
6.1.4.1. Mesurage des émetteurs gamma 176
6.1.4.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C 176
6.2. Domaine aquatique marin 176
6.2.1. Sédiments 176
6.2.2. Végétaux 176
6.2.2.1. Mesurage des émetteurs gamma 176
6.2.2.2. Mesurage du tritium et du ^{14}C 176
6.2.3. Poissons, crustacés, mollusques 178
6.2.3.1. Mesurage des émetteurs gamma 178
6.2.3.2. Mesurage du tritium et ^{14}C 178

Annexe 7. Techniques d'analyses 178

7.1. Détermination de la teneur en matière organique et de la granulométrie des sols et des sédiments 178
7.1.1. Teneur en matière organique 178
7.1.2. Granulométrie 178
7.2. Identification des espèces vivantes 179
7.3. Mesure du tritium libre 179
7.4. Mesure du tritium organiquement lié 179
7.5. Mesure du ^{14}C 179
7.6. Spectrométrie γ 180

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

Annexe 8. Expression des résultats et unités utilisées 181

Annexe 9. Radionucléides dans l'environnement 182

9.1. Radioactivité d'origine naturelle 182
9.2. Radioactivité d'origine artificielle 183
9.2.1. Retombées atmosphériques des essais militaires 183
9.2.2. Retombées dues aux accidents d'installations nucléaires 184
9.2.3. Effluents liquides et atmosphériques des CNPE en fonctionnement normal 184
9.2.4. Effluents liquides et atmosphériques d'autres installations 184
9.3. Sources de ^{3}H 184
9.4. Sources de ^{14}C 185

Annexe 10. Laboratoires d'analyses 186

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 10.1 page 169 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 l'^{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 (^{3}H, ^{7}Be et ^{14}C) ainsi que des radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs) sont présents dans l'environnement terrestre. Les activités en radionucléides naturellement présents (^{3}H, ^{14}C) peuvent être augmentées par les rejets d'effluents de l'industrie nucléaire ou les activités militaires. Les dépôts

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

globaux de ces radionucléides (^{3}H, ^{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, ^{110m}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 ^{3}H 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 l'^{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 ^{3}H et ^{14}C (^{54}Mn, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}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 ^{3}H 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 écocomplexe et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

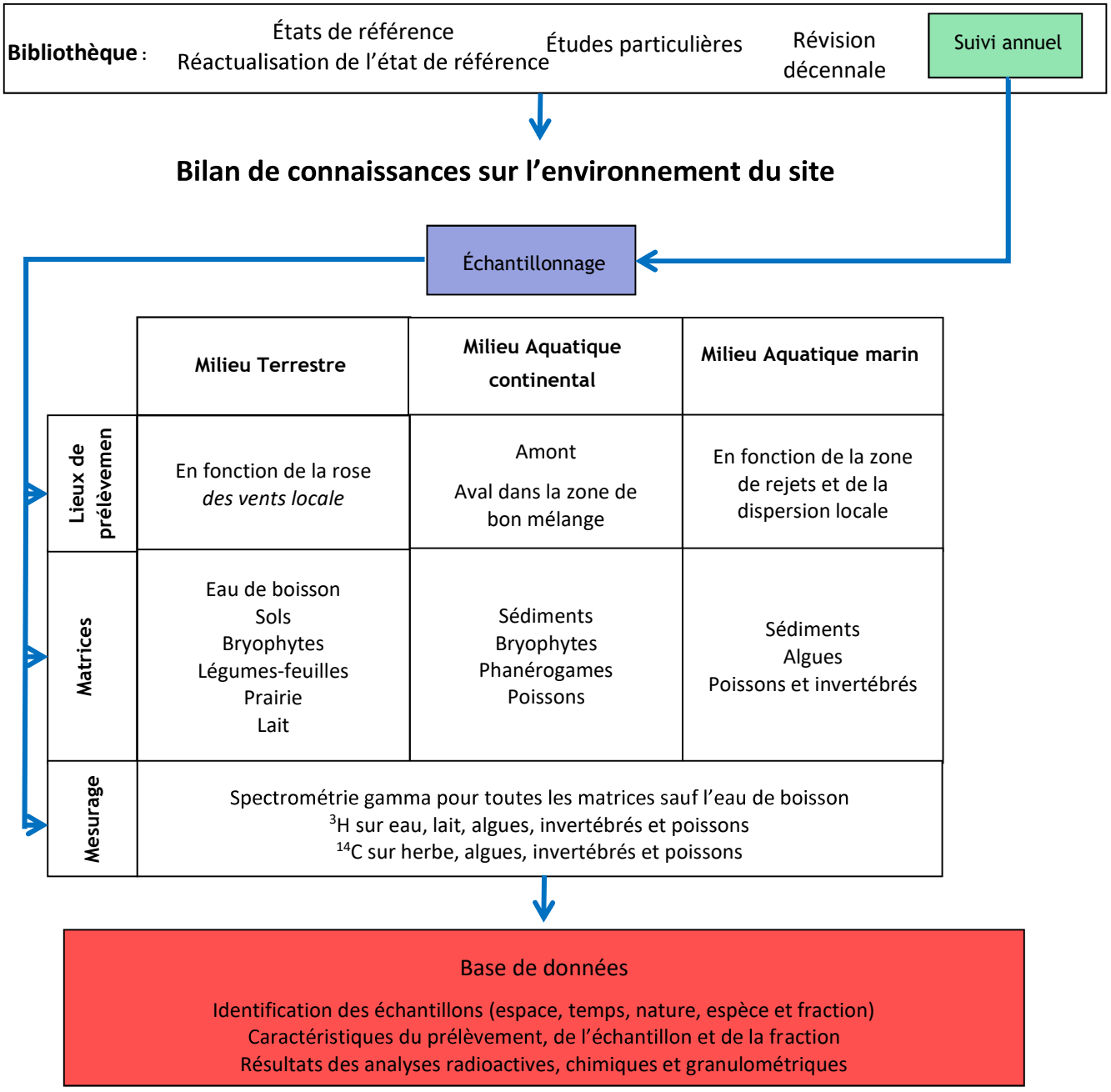

Figure 10.1 - Démarche utilisée pour la réalisation du suivi radioécologique annuel de chaque site.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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. 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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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. Algues

Les macroalgues peuvent concentrer jusqu'à 10 000 fois les radionucléides dissous dans l'eau de mer [22]. 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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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, ^{123m}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.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 sachet 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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{3}H libre, lié et ^{14}C 1à 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

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{3}H 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 10.2 page 175). 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 ($Bq.kg^{-1}$ sec).

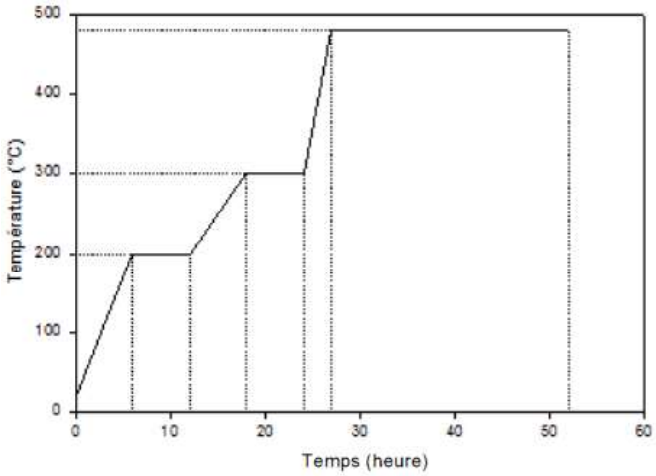

Figure 10.2 - Chronique d'une incinération : montée en température et paliers en fonction du temps.

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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

6.1.3.2. 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.

6.1.4. 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 ^{14}C

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 ^{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 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. 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 incinérés à 480 °C dans un four à moufle (cf. chronique d'une incinération, figure 10.2 page 175). 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 l'^{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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 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 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 Stockes 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 µm et de 50 µm. Le sédiment est tamisé sous un jet d'eau pour éliminer les particules de diamètre inférieur à 50 µm.

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 (^{3}He), 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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 $^{13}C/^{12}C$ 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.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{137m}Ba de période 2,55 minutes et avec un rendement de 5,4 % au ^{137}Ba, stable. Le ^{137m}Ba conduit au ^{137}Ba, avec émission gamma (rendement de 85 %). Dans le rapport, l'activité gamma mesurée du ^{137m}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 $^{13}C/^{12}C$ ($\delta^{13}C$ ci-dessous) :

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

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) :

$$BqS = BqC\ (C\ /\ 1000)$$

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 ± incertitude » (± 2 σ). 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 ± incertitude » ainsi que les SD sont arrondis depuis 2011 selon les règles du Laboratoire National Henri Becquerel [35].

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 :

$$^{137}Cs_{ref} = {}^{137}Cs_{meas}\,\frac{(1.15\pm0.20)\cdot CC_{ref}+(0.43\pm0.16)\cdot FSC_{ref}}{(1.15\pm0.20)\cdot CC_{meas}+(0.43\pm0.16)\cdot FSC_{meas}}$$

IRS ou du secret en matière industrielle et commerciale. ite préalable. intellectuelle

Où :

$^{137}Cs_{ref}$ = activité massique en ^{137}Cs normalisée (une station aval dans ce document) ;

$^{137}Cs_{meas}$ = 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 l'^{238}U comprenant 14 descendants, et à celle du ^{232}Th en comprenant 10. Le ^{7}Be est parfois détecté.

Dans le cas des deux familles du ^{232}Th et de l'^{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 l'^{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 : $^{40}K + (14 \times {}^{238}U) + (10 \times {}^{232}Th) + {}^{7}Be$. 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 [24].

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

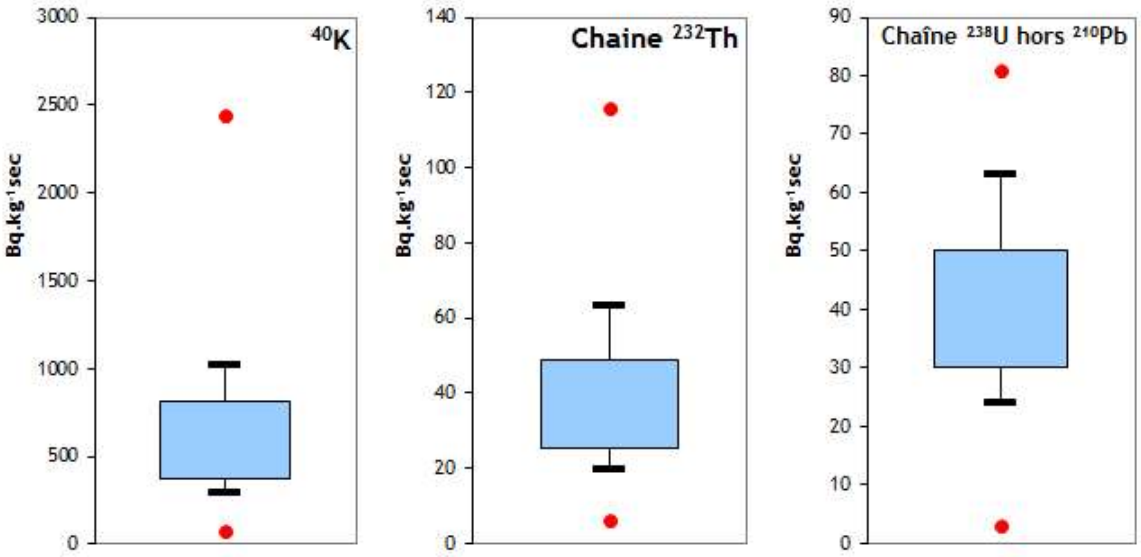

Figure 10.3 – Teneur en ^{40}K et en radionucléides des familles du ^{232}Th et du ^{238}U dans les sols métropolitains (1er et 3ème quartiles, 1er et 9ème déciles, minimum et maximum).

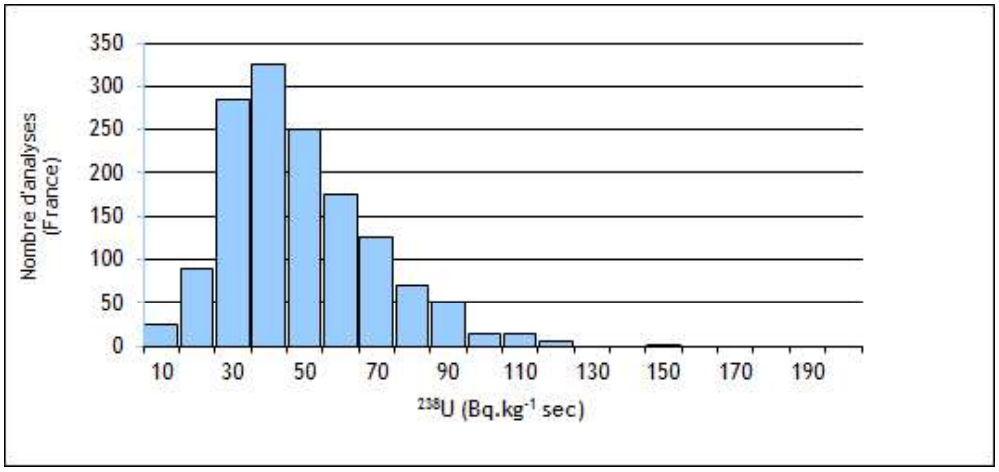

Figure 10.4 – Teneur en ^{238}U dans les sédiments métropolitains.

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

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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}Ce/Pr, ^{141}Ce, ^{137}Cs, ^{54}Mn, ^{57}Co, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{103}Ru, ^{106}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 $^{134+137}$Cs, l'^{131}I, le ^{132}Te, le ^{140}Ba et les $^{103+106}$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}Cs/^{134}Cs est proche de 1 [20]. 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, ^{110m}Ag, ^{123m}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 ^{110m}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 usé 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 ^{3}H

En dehors des rejets de ^{3}H liquides et dans l'atmosphère par les CNPE, le ^{3}H 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-

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 ^{3}H de l'eau de pluie étaient inférieures à 2 $Bq.L^{-1}$. Le ^{3}H 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 proche de 1 $Bq.L^{-1}$.

Hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre sont à l'équilibre entre l'eau atmosphérique et l'eau libre des matrices du milieu terrestre [38]. L'activité en tritium organiquement lié mesurée dans les échantillons biologiques rend compte de l'activité atmosphérique du tritium au cours de la période de croissance de l'échantillon.

En milieu aquatique continental, hors influence industrielle locale, les activités en tritium libre des échantillons sont à l'équilibre avec les activités atmosphériques actuelles [38-40]. Les activités en tritium organiquement lié dans les sédiments sont plus élevées que celles mesurées dans les végétaux et poissons, elles-mêmes supérieures au tritium libre des eaux de surface. Hors influence de toute activité industrielle actuelle, les niveaux observés résultent de l'exposition des organismes aquatiques à deux sources de tritium différenciées par leur forme (libre et organiquement lié) et par leur âge : le tritium libre atmosphérique actuel et le tritium organiquement lié, drainé sur le bassin versant et rémanent d'une époque où les niveaux de tritium libre atmosphérique étaient plus élevés.

En milieu aquatique marin, l'activité du tritium libre est de l'ordre de 0,1 $Bq.L^{-1}$ dans les eaux marines de surface [14]. Elle est comprise entre 0,3 et 10 $Bq.L^{-1}$ le long des côtes de la Manche et de la mer du Nord, principalement du fait des rejets d'effluents liquides effectués par l'usine de traitement du combustible usé ORANO de la Hague.

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 2020, proche de 224 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [3].

En milieu aquatique, l'activité spécifique du ^{14}C varie avec sa dilution dans les substances carbonées, en particulier les carbonates anciens issus des roches sédimentaires appauvries en carbone 14. Contrairement au milieu terrestre, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique ; les activités spécifiques dans l'eau et les végétaux, hors influence industrielle locale y sont plus faibles : inférieures à 220 $Bq.kg^{-1}$ de carbone [3, 28].

En milieu marin, le ^{14}C rejeté est en grande majorité sous forme minérale dissoute [23] et peut donc être incorporé ensuite à la matière organique. A 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 [17]. 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 $Bq.kg^{-1}$ de carbone.

IRSN
Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

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 Isotoptech 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 $^{13}C/^{12}C$** **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

IRSN

Sous réserve du droit des tiers, ce document ne peut être communiqué, divulgué ou reproduit à ou par des tiers sans autorisation écrite préalable. Il est susceptible de contenir des informations confidentielles, au regard de la sécurité notamment, ou protégées au titre de la propriété intellectuelle ou du secret en matière industrielle et commerciale.

INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

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

COURRIER
B.P 17 - 92260 Fontenay-aux-Roses

TÉLÉPHONE
+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET
www.irsn.fr

MEMBRE DE
ETSON