



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

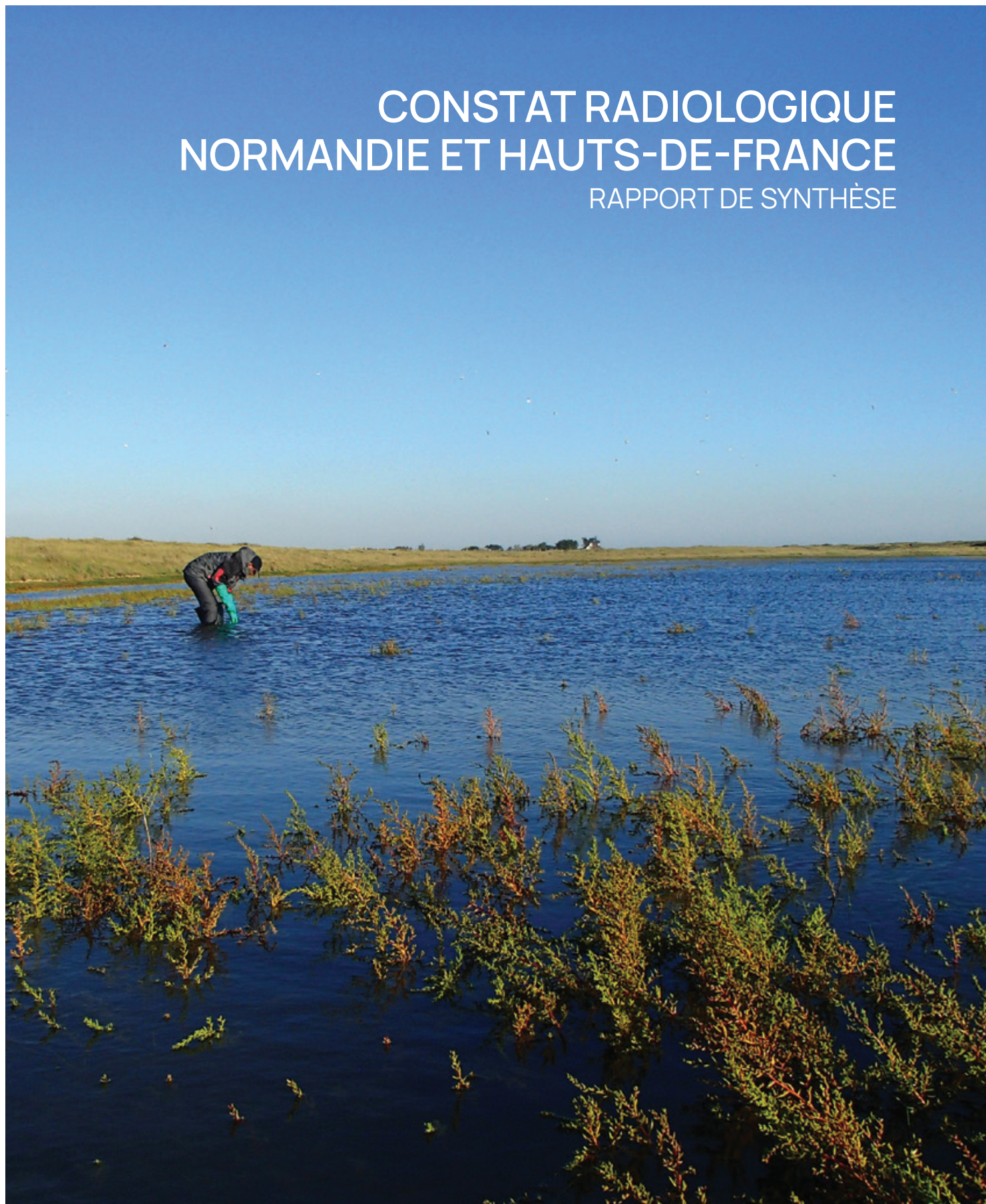
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**IRSN**

INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# CONSTAT RADIOLOGIQUE NORMANDIE ET HAUTS-DE-FRANCE

## RAPPORT DE SYNTHÈSE



MEMBRE DE

**ETSON**

# L'EXPERT PUBLIC DES RISQUES NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

Elle est assortie d'une obligation de transparence qui conduit l'Institut à publier régulièrement ses résultats de mesure et des synthèses sur l'état radiologique des territoires.

L'INSTITUT  
COMPTE  
ENVIRON **1 770**  
COLLABORATEURS

parmi lesquels  
de nombreux  
ingénieurs,  
médecins,  
agronomes,  
vétérinaires,  
techniciens,  
experts et  
chercheurs.

Pour mener à bien  
ses missions,  
l'IRSN dispose  
**D'UN BUDGET  
D'ENVIRON  
275 M€**

## DES RÉSEAUX DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE CONÇUS POUR UNE SURVEILLANCE RÉGULIÈRE

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

### Deux réseaux pour surveiller l'air

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

### Deux réseaux pour surveiller l'eau

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

### Un réseau pour surveiller les aliments

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

### Et les autres compartiments...

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

## ET UNE APPROCHE TERRITORIALISÉE...

En complément de sa surveillance régulière, l'IRSN réalise des études ponctuelles – appelées « constats radiologiques » – dont l'objectif est de dresser la synthèse des connaissances sur les niveaux de radioactivité à l'échelle d'une région, d'un territoire, d'un bassin versant... et, le cas échéant, de réaliser de nouvelles campagnes de prélèvements pour améliorer le niveau des connaissances.

Ces campagnes permettent la mesure d'échantillons rarement analysés, de denrées présentant une valeur économique particulière pour le territoire ou de répondre à des attentes ou des questions particulières des parties prenantes (collectivités locales, associations de citoyens, commissions d'information...). Ces constats sont l'occasion pour le citoyen de mieux comprendre et de s'approprier une information par nature complexe et d'agir sur la nature même de la surveillance effectuée.

## ... POUR DES MESURES RENDUES PUBLIQUES

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

# PRÉAMBULE

**L**es constats radiologiques, engagés à partir de 2008, se sont inscrits dans une démarche complémentaire à la surveillance régulière assurée par l'IRSN, afin de compléter la connaissance de la radioactivité dans l'environnement français, tant dans des zones situées à distance des installations nucléaires – et donc moins exposées à leurs rejets – que sur des matrices moins étudiées, comme certaines denrées emblématiques des territoires étudiés. Le constat radiologique Normandie et Hauts-de-France, initié en 2014, couvre deux régions et dix départements ainsi que la Manche et la partie sud de la mer du Nord.

Ce rapport présente dans un premier temps les caractéristiques de la zone d'étude (territoire, étendue géographique...) ainsi que les acteurs qui participent aujourd'hui à la surveillance radiologique locale. Dans un second temps, l'origine des radionucléides rencontrés est précisée, depuis les sources communes à l'ensemble du territoire (rémanence des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, radioactivité naturelle) jusqu'aux installations nucléaires de la zone géographique étudiée rejetant de la radioactivité. Ce travail constitue également une première étude des industries générant des déchets à radioactivité naturelle renforcée (sites de phosphogypses notamment) implantées sur le territoire du constat, qui pourra être approfondie ultérieurement.

Le volet aquatique du constat s'attache à établir un référentiel à grande échelle : dans le compartiment continental, avec des analyses portant sur de nombreux cours d'eau dont certains pour lesquels aucune donnée n'était jusqu'alors disponible, et dans le domaine marin, avec des prélèvements inédits à distance des côtes réalisés en partenariat avec l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER). L'étude du volet atmosphérique a retenu une approche plus centrée sur les installations nucléaires, avec l'ambition de réaliser des mesures plus poussées que celles réalisées dans le cadre de la surveillance régulière, tant du point de vue de l'étendue spatiale que de la météorologie. Sur le volet terrestre enfin, les prélèvements et mesures ont été réalisés sur des denrées peu ou pas mesurées jusqu'à ce jour, notamment des « denrées symboliques » représentatives du territoire. Ces travaux ont également permis d'étoffer la connaissance du bruit de fond radiologique français.

La dernière partie de ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre de campagnes ponctuelles et ciblées sur des thématiques précises, telles que la qualité des eaux, qu'elles soient souterraines ou destinées à la consommation humaine, les activités mettant en œuvre de la radioactivité dite naturelle renforcée telles que les sites de stockage de phosphogypses, les rejets des centres hospitaliers ou le marquage des sédiments de la Seine. Deux installations (la SOMANU et le GANIL), ne faisant auparavant pas l'objet d'un suivi en routine par l'IRSN, ont par ailleurs fait l'objet d'un point radiologique, avec la réalisation de prélèvements et de mesures à proximité de ces installations.



L'Escaut près de Watrelos (octobre 2015) © Rémi VERSCHAEVE/IRSN

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>RÉSUMÉ</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
2.1	RAPPELS SUR LA DÉMARCHE DES CONSTATS RADIOLOGIQUES RÉGIONAUX	7
2.2	ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE	9
2.3	LES ACTEURS DE LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE TERRITOIRE DU CONSTAT	9
<b>3</b>	<b>ORIGINES DES RADIONUCLÉIDES NATURELS ET ARTIFICIELS POTENTIELLEMENT PRÉSENTS SUR LE TERRITOIRE DU CONSTAT</b>	<b>10</b>
3.1	LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE	10
3.2	LES REJETS DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES OU DES SITES METTANT EN ŒUVRE DE LA RADIOACTIVITÉ	11
	Les Centres nucléaires de production d'électricité (CNPE)	12
	L'usine de retraitement du combustible usé de la Hague	12
	Le centre de stockage de la Manche	13
	La base navale de Cherbourg	14
	Le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL)	14
	La société de maintenance nucléaire (SOMANU)	14
	Les centres de médecine nucléaire	15
	Les industries générant des déchets à radioactivité naturelle renforcée	15
<b>4</b>	<b>APPROCHES MISES EN ŒUVRE DANS LE CADRE DU CONSTAT NORMANDIE ET HAUTS-DE-FRANCE</b>	<b>16</b>
4.1	DÉFINITION DES ZONES DE PRÉLÈVEMENT PAR RAPPORT AUX SITES NUCLÉAIRES	16
4.2	LE VOLET AQUATIQUE : RÉALISER UN RÉFÉRENTIEL À L'ÉCHELLE RÉGIONALE	17
	Le volet aquatique continental	17
	Le volet aquatique marin	22
	Synthèse des prélèvements réalisés	25
4.3	LE VOLET ATMOSPHÉRIQUE : RENFORCER LA CONNAISSANCE À PROXIMITÉ DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES	26
	Données disponibles et exploitation des résultats	26
	Plan d'échantillonnage et études menées	27
	Améliorer la connaissance sur les aérosols atmosphériques	27
	La mesure du tritium dans l'atmosphère	27
	La mesure du débit de dose gamma ambiant	29
	Synthèse des prélèvements réalisés	29

<b>4.4</b>	<b>LE VOLET TERRESTRE : ACQUÉRIR DES DONNÉES COMPLÉMENTAIRES SUR LES NIVEAUX D'ACTIVITÉS DANS CE MILIEU ET NOTAMMENT DANS LES DENRÉES</b>	<b>30</b>
	Exploitation des données disponibles	30
	Stratégie de prélèvements et études réalisées	32
	Synthèse des prélèvements et des mesures <i>in-situ</i> réalisés	34

## **5** AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE **36**

<b>5.1</b>	<b>BRUIT DE FOND EN MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL</b>	<b>36</b>
	Les radionucléides naturels	36
	Le tritium dans les bassins versants du constat Normandie et Hauts-de-France	38
	Le suivi du carbone 14	40
	Bruit de fond en césium 137	41
	Synthèse sur le bruit de fond en milieu aquatique continental	42
<b>5.2</b>	<b>BRUIT DE FOND EN MILIEU AQUATIQUE MARIN</b>	<b>42</b>
	Les radionucléides naturels	43
	Activité en tritium en Manche et en mer du Nord	44
	Le suivi du carbone 14 dans le milieu marin	47
	Les produits de fission et d'activation	49
	Les transuraniens dans le milieu marin	56
	Synthèse sur le bruit de fond en milieu aquatique marin	59
<b>5.3</b>	<b>ÉTAT RADIOLOGIQUE DU COMPARTIMENT ATMOSPHÉRIQUE</b>	<b>60</b>
	Le suivi des aérosols atmosphériques	60
	Exploitation des données disponibles sur le débit d'équivalent de dose ambiant	64
	Le tritium dans les eaux de pluie	67
	Synthèse sur le bruit de fond dans le milieu atmosphérique	69
<b>5.4</b>	<b>CARTOGRAPHIE DU BRUIT DE FOND DANS LE MILIEU TERRESTRE</b>	<b>69</b>
	La rémanence des essais atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl	70
	Niveaux d'activités mesurés dans les denrées et les productions emblématiques	72
	Cartographie des niveaux de tritium en milieu terrestre	73
	Synthèse sur le bruit de fond dans le milieu terrestre	74

## **6** ÉTUDES MENÉES DANS LE CADRE DU CONSTAT NORMANDIE ET HAUTS-DE-FRANCE **75**

<b>6.1</b>	<b>QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES</b>	<b>75</b>
	Nappes phréatiques sous les installations nucléaires	75
	Eaux de consommation humaine sur le territoire du constat	80
<b>6.2</b>	<b>LES INDUSTRIES GÉNÉRANT DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE RENFORCÉE</b>	<b>81</b>
	Les sites de stockage de phosphogypses	81
	Les industries de traitement et de transformation des minerais de titane	85
	L'industrie de production ou d'utilisation de composés uranifères et thorifères	86
<b>6.3</b>	<b>FOCUS SUR LES REJETS DES CENTRES DE MÉDECINE NUCLÉAIRE</b>	<b>88</b>

6.4	ACTUALISATION DES DONNÉES RADIOLOGIQUES SUR LES SÉDIMENTS DE LA SEINE	89
6.5	CARTOGRAPHIE DES REJETS EN TRITIUM AUTOUR DU CNPE DE GRAVELINES ET DE L'USINE DE LA HAGUE	91
	Campagne de mesure du tritium à proximité du CNPE de Gravelines	91
	Activités en tritium dans l'environnement de la Hague	94
6.6	CARACTÉRISATION DE L'IMPACT DES REJETS DE LA SOMANU	98
	Impact des rejets liquides sur la Flamenne	98
	Impact sur le milieu terrestre	100
6.7	BRUIT DE FOND EN TRITIUM AUTOUR DU GANIL AVANT LE DÉMARRAGE DE SPIRAL2	102
<b>7</b>	<b>SYNTHÈSE ET CONCLUSION</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>LISTE DES ACRONYMES</b>	<b>108</b>
<b>10</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX</b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>113</b>
11.1	ANNEXE 1 - PRODUCTIONS DÉPARTEMENTALES DES DENRÉES CIBLES DU CONSTAT	113
11.2	ANNEXE 2 - PRÉSENTATION DE LA BOÎTE À MOUSTACHES	114
11.3	ANNEXE 3 - LOCALISATION DES ZONES DE PÊCHES DES CAMPAGNES IFREMER	115
11.4	ANNEXE 4 - TABLEAUX DE RÉSULTATS	116

Les travaux réalisés dans le cadre du constat radiologique régional Normandie et Hauts-de-France ont permis de collecter de nombreuses données, souvent inédites, à proximité comme à distance des installations nucléaires, notamment sur des indicateurs peu étudiés dans le cadre de la surveillance radiologique régulière.

Afin de contribuer à l'information des acteurs du territoire sur la radioactivité présente dans leur environnement et de renforcer la participation du public aux travaux de l'IRSN, un groupe de travail pluraliste a été mis en place dès le lancement de ce constat. Les propositions de ce comité de suivi ont notamment conduit l'IRSN à s'intéresser aux sites mettant en œuvre de la radioactivité naturelle renforcée, en particulier les sites de stockages de phosphogypses. À la demande des acteurs locaux, un regard a également été porté sur les niveaux d'activités dans les eaux souterraines, qu'il s'agisse des nappes phréatiques à l'aplomb des installations nucléaires ou du suivi sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

L'approfondissement des connaissances sur le bruit de fond, volet important de cette étude, a été conduit dans tous les compartiments de l'environnement avec les meilleures méthodes métrologiques disponibles à l'IRSN. En milieu aquatique continental et marin, les radionucléides naturels et artificiels ont été quantifiés précisément, à des niveaux ou à des seuils de décision très bas, permettant de disposer de niveaux de référence sur différents cours d'eau ainsi qu'en Manche et en mer du Nord. L'exploitation des données du volet terrestre a par ailleurs confirmé les niveaux très faibles de radioactivité artificielle dans

les végétaux, les sols et les denrées, avec, pour ces dernières, un échantillonnage représentatif des productions agricoles des territoires étudiés. Les mesures réalisées ont également permis de confirmer des marquages radiologiques déjà connus, liés aux essais nucléaires atmosphériques des décennies 50 à 70, à l'accident de Tchernobyl ou encore à des incidents survenus sur certaines des installations nucléaires de la zone étudiée.

Le constat a également permis de caractériser plus finement l'influence du fonctionnement normal de certaines des installations de la zone géographique étudiée. Les prélèvements et mesures atmosphériques, réalisés à des fréquences plus élevées et avec une métrologie performante, ont mis en évidence les fluctuations des activités des radionucléides dans l'air (en particulier du tritium) du fait des rejets de ces installations. Sur le volet aquatique, les mesures effectuées en aval des centres de médecine nucléaire ont confirmé la présence d'iode 131 lié au secteur médical. Sur le volet terrestre, les mesures de tritium organiquement lié ont corroboré les niveaux d'activités de ce radionucléide mesuré dans le compartiment atmosphérique. De plus, des campagnes menées dans l'environnement de certaines installations ont permis de préparer leur intégration au plan de surveillance régulière de l'IRSN.

Enfin, le constat Normandie et Hauts-de-France a été l'occasion de tester de nouveaux dispositifs de surveillance, qui sont aujourd'hui progressivement déployés dans le cadre de la surveillance régulière ainsi que d'un nouveau programme d'étude radiologique de sites mis en œuvre par l'IRSN.



Prélèvement de scrobiculaires en baie de Somme en partenariat avec les équipes du GEMEL (juillet 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN



# 2 INTRODUCTION

La surveillance radiologique de l'environnement en France constitue une des missions permanentes confiées à l'IRSN<sup>(1)</sup>. Les activités menées par l'Institut dans ce domaine visent notamment à renforcer la connaissance des niveaux de radioactivité sur l'ensemble du territoire national, à détecter toute élévation anormale des niveaux de radioactivité dans l'environnement et à contribuer à l'évaluation de l'exposition des populations autour des sites nucléaires français (centrales nucléaires, installations de stockage de déchets radioactifs, sites de recherche, etc.). Elles ont par ailleurs vocation à fournir des informations complémentaires et indépendantes de celles produites par les exploitants.

La présente étude, portant sur les régions Normandie et Hauts-de-France, s'intéresse au quart nord-ouest de la France. Afin de permettre une répartition dans le temps de la charge de travail, cette dernière a été conduite par compartiment de l'environnement, en distinguant les milieux aquatique, atmosphérique et terrestre. Après une présentation de la démarche du constat, de la méthodologie et des prélèvements réalisés, ce rapport vise à restituer les résultats acquis sur ces trois volets.

## 2.1 RAPPELS SUR LA DÉMARCHE DES CONSTATS RADIOLOGIQUES RÉGIONAUX

La démarche adoptée par l'IRSN pour les constats radiologiques régionaux a été définie de façon commune pour les différentes études qui ont été menées depuis 2009 dans ce cadre et qui, *in fine*, couvrent une grande partie du territoire métropolitain. Les constats radiologiques régionaux visaient, en complément de la surveillance régulière exercée sur l'ensemble du territoire national, à établir des référentiels actualisés des niveaux de radioactivité dans l'environnement à l'échelle de grands ensembles géographiques. Ils permettent ainsi de consolider et de synthétiser cette connaissance en tenant compte de ses différentes origines (rejets des installations nucléaires, retombées liées aux tirs atmosphériques d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl, mais également rejets d'autres industries et des centres de médecine nucléaire).



Figure 1 : Étendue géographique du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France

1 Décret n°2016-283 du 10 mars 2016 relatif à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

L'accent a été mis sur des composantes qui ne sont pas habituellement analysées, notamment un panel des denrées emblématiques produites sur la zone étudiée ou des bioindicateurs, ainsi que sur des radionucléides moins fréquemment mesurés. En outre, les meilleures performances météorologiques disponibles à l'IRSN ont été mobilisées pour être en capacité d'atteindre des niveaux d'activités radiologiques très bas.

L'établissement d'un constat radiologique passe en premier lieu par l'examen des données déjà disponibles, notamment celles acquises par l'IRSN et les acteurs du Réseau national de mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) dans le cadre de leur surveillance. Ces mesures ont été complétées et actualisées par des prélèvements et des analyses spécifiques.

Afin de contribuer à l'information des acteurs du territoire sur la radioactivité présente dans leur environnement et de renforcer la

participation du public aux travaux de l'IRSN, un groupe de travail avec des acteurs du territoire a été mis en place dès le lancement de ce constat. Ce groupe était composé de représentants des différentes commissions locales d'information (CLI de Gravelines, CLIN de Paluel-Penly, CLI de Flamanville, CLI de l'ANDRA CSM, CLI Orano La Hague, CLI SOMANU) concernées par ce constat, d'associations (ACRO, Stop EPR, GRAPPE, Air Normand, Atmo Hauts-de-France...), d'autorités (DGCCRF), d'administrations locales (DREAL, Agence de l'eau, Conseil général) et de l'IRSN. Cette structure a notamment permis aux acteurs locaux de partager leurs connaissances et leurs attentes vis-à-vis de cette étude. Les membres ont également été invités à participer aux missions de prélèvements.

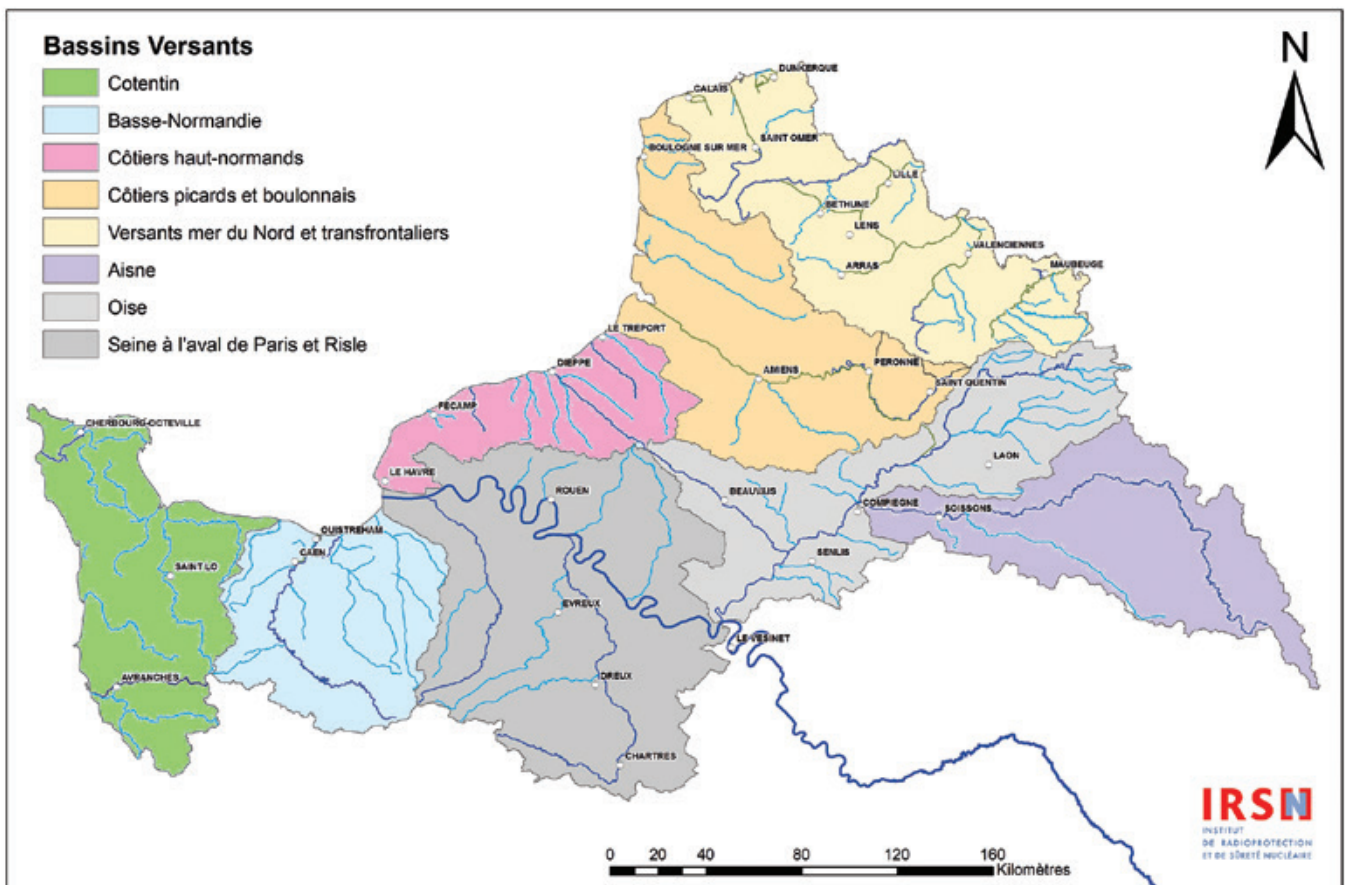


Figure 2 : Étendue géographique du volet aquatique continental du constat Normandie et Hauts-de-France

## 2 2

## ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le territoire concerné par le constat Normandie et Hauts-de-France couvre dix départements (Figure 1) sur une surface de 61 690 km<sup>2</sup>, soit plus de 10 % de la surface de la France métropolitaine. La population totale résidant dans les régions Hauts-de-France et Normandie est d'approximativement 9 millions de personnes, avec deux grandes métropoles, Lille (59) et Rouen (76). L'agriculture est par ailleurs une activité prépondérante dans ces deux régions.

Sur le volet aquatique, le territoire couvert par le constat prend en compte d'une part le bassin de la Seine en aval de Paris ainsi que les cours d'eau côtiers normands, et d'autre part le bassin hydrographique Artois-Picardie. Ce dernier bassin regroupe de nombreux fleuves côtiers ainsi que les têtes des bassins versants de l'Escaut et de la Sambre, elle-même affluente de la Meuse. Tous ces bassins versants ont pour exutoire la Manche ou la mer du Nord (Figure 2). Concernant le volet marin, celui-ci s'étend des côtes bretonnes (Roscoff) à la frontière avec la Belgique.

## 2 3

## LES ACTEURS DE LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE TERRITOIRE DU CONSTAT

Les exploitants nucléaires ont la responsabilité d'assurer le contrôle de leurs rejets d'effluents et de surveiller ceux-ci, dans l'emprise du site mais également dans son environnement. Cette surveillance est encadrée par des prescriptions réglementaires qui imposent la réalisation, par les exploitants, d'un programme complet de prélèvements et de mesures. L'IRSN réalise également une surveillance régulière sur l'ensemble du territoire national, à proximité comme à distance des sites nucléaires.

Outre ces acteurs, d'autres entités effectuent des mesures dans l'environnement, telles que :

- l'ACRO (Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest), association créée en octobre 1986 à la suite de l'accident de Tchernobyl, qui réalise des prélèvements et des mesures citoyennes de radioactivité, principalement dans la Manche ;

- LABEO MANCHE, laboratoire départemental d'analyses de la Manche situé à Saint-Lô et créé en 1947, qui réalise des analyses d'un grand nombre de polluants (physico-chimie, microbiologie, radioactivité...), principalement sur l'eau. LABEO effectue environ 200 prélèvements à des fins de mesure de la radioactivité chaque année, principalement à la demande du Conseil départemental de la Manche ;
- la CLI de Gravelines (Commission locale d'information), créée par le Conseil départemental du Nord en 1987. De façon générale, les CLI jouent un rôle d'information de la population sur la sûreté de l'exploitation, le suivi de l'impact environnemental des INB, la sécurité des populations dans le voisinage de celles-ci et la radioprotection des personnes travaillant sur le site. La CLI de Gravelines formalise des propositions auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire et du CNPE de Gravelines et participe régulièrement à des inspections menées par l'ASN. Elle contribue également à la réalisation de prélèvements et de mesures à proximité de la centrale de Gravelines.

Ces différents acteurs publient, au même titre que l'IRSN et les exploitants, leurs résultats de mesures au Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) (Figure 3).

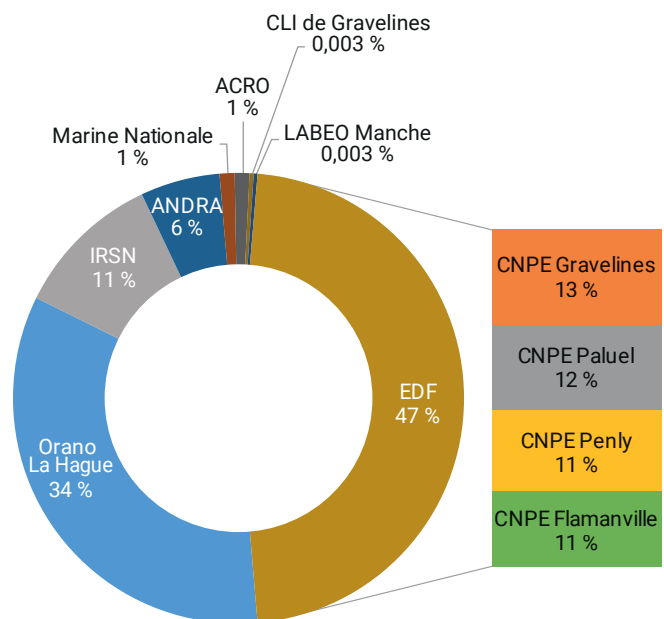


Figure 3 : Répartition des prélèvements réalisés par différents acteurs présents sur le territoire du constat pour l'année 2017 (source : RNM)

# ORIGINES DES RADIONUCLÉIDES NATURELS ET ARTIFICIELS POTENTIELLEMENT PRÉSENTS SUR LE TERRITOIRE DU CONSTAT

**C**e chapitre présente de manière synthétique les principales sources de radioactivité à l'origine des radionucléides naturels et artificiels potentiellement présents sur le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France.

## 3.1 LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE

Le bruit de fond radiologique est le terme utilisé pour désigner les activités des radionucléides présents dans l'environnement, hors influence des activités humaines rejetant ou mettant en œuvre de la radioactivité (installations nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers...). En France métropolitaine, ce bruit de fond résulte d'une double composante issue d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'apports anciens liés notamment aux retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

Les radionucléides naturellement présents à la surface de la Terre peuvent avoir une double origine. On retrouve en premier lieu les radionucléides telluriques présents dans l'écorce terrestre depuis sa formation. Il s'agit principalement du potassium 40, et des produits des chaînes de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232. Ces derniers produisant par désintégrations successives 36 radionucléides, en particulier le radium 226, le radon 222, le plomb et le polonium 210, tous présents dans la chaîne de l'uranium 238 (Figure 4).

Au total, on dénombre une quarantaine de radionucléides telluriques, présents dans tous les compartiments de l'environnement (sols, air, eaux continentale et marine, faune et flore). Les autres radionucléides d'origine naturelle proviennent de l'interaction du rayonnement cosmique avec certains atomes présents dans la haute atmosphère. Les principaux radionucléides cosmogéniques ainsi formés sont le tritium, le carbone 14, le béryllium 7 et le sodium 22.

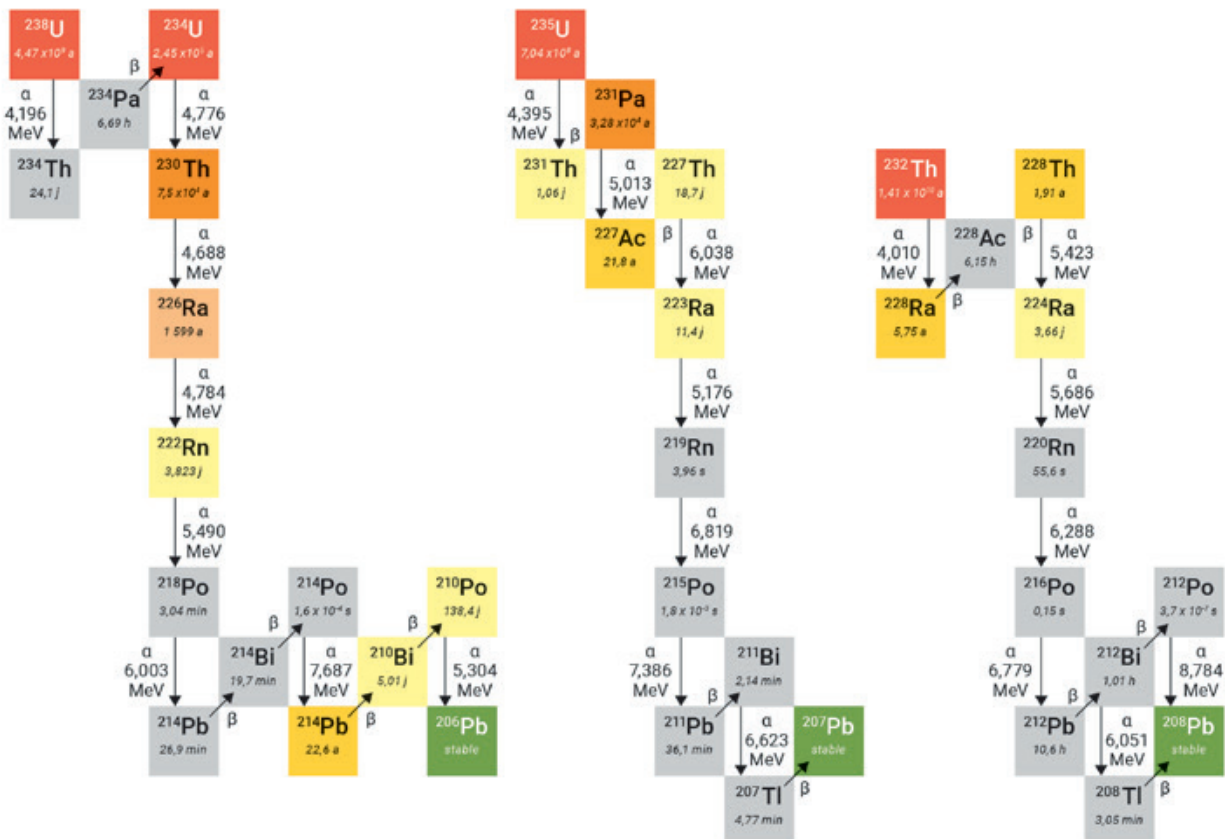


Figure 4 : Chaînes de désintégration de l'uranium 238, du thorium 232 et de l'uranium 235<sup>(2)</sup>

2. L'échelle de couleur plus ou moins foncée traduit une période radioactive plus ou moins longue.

## 3 2 LES REJETS DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES OU DES SITES METTANT EN ŒUVRE DE LA RADIOACTIVITÉ

La seconde composante du bruit de fond radiologique est d'origine anthropique. Elle résulte des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980 par les États-Unis, l'Union Soviétique, la Grande-Bretagne, la Chine et la France ainsi que de l'accident de Tchernobyl survenu en avril 1986. Plusieurs dizaines d'années après leur dépôt, le césium 137, le strontium 90 ou les isotopes du plutonium sont encore aujourd'hui les témoins des marquages issus de ces retombées et le sol en constitue le réservoir qui alimente les autres composantes de l'environnement. En France métropolitaine, les retombées atmosphériques issues de l'accident nucléaire survenu à la centrale de Fukushima en mars 2011 ont en revanche été très faibles et ne sont aujourd'hui plus mesurables dans l'environnement.

De grandes quantités de tritium et de carbone 14 ont également été libérées dans l'atmosphère lors des tirs atmosphériques d'armes nucléaires dans l'hémisphère nord qui sont venus s'ajouter au tritium et carbone 14 naturellement présents dans l'air. Par ailleurs, le carbone 14 et le tritium sont aujourd'hui les principaux radionucléides rejetés dans l'environnement par les centrales nucléaires et les usines de retraitement de combustibles usés. Estimée à 227 Bq/kg de carbone sur la période de réalisation de ce constat (2015-2017), l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone est proche du niveau cosmogénique (226 Bq/kg C.). Pour le tritium, on considère que le bruit de fond dans la vapeur d'eau atmosphérique se situait autour de 1 Bq/L sur cette même période, ce qui correspond à une activité volumique de l'air de l'ordre de 0,01 Bq/m<sup>3</sup> [1].

Sur le territoire du constat, quatre centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) sont exploités le long des côtes françaises de la Manche et de la mer du Nord : Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines. À ces sites s'ajoutent l'usine Orano de retraitement du combustible usé de la Hague, le centre de stockage de la Manche exploité par l'ANDRA et la base navale de Cherbourg, tous situés dans la presqu'île du Cotentin. Parmi les installations nucléaires, on compte également le Grand accélérateur national d'ions lourds (GANIL) à Caen et l'atelier de maintenance de la SOMANU à Maubeuge. Ces différentes installations (Figure 5) sont autorisées, dans le cadre de leur activité, à rejeter des effluents liquides et/ou gazeux dans l'environnement, et à ce titre ont l'obligation de surveiller l'impact de leurs rejets. À celles-ci s'ajoutent des centres de médecine nucléaire et des industries générant des déchets à radioactivité naturelle renforcée dont la plupart ont cessé leur activité.

L'inventaire des radionucléides présents dans les rejets des installations a été réalisé préalablement à l'établissement des plans de prélèvements et d'analyses relatifs aux différents volets de ce constat. Le chapitre suivant présente une vue synthétique de ces différentes installations.

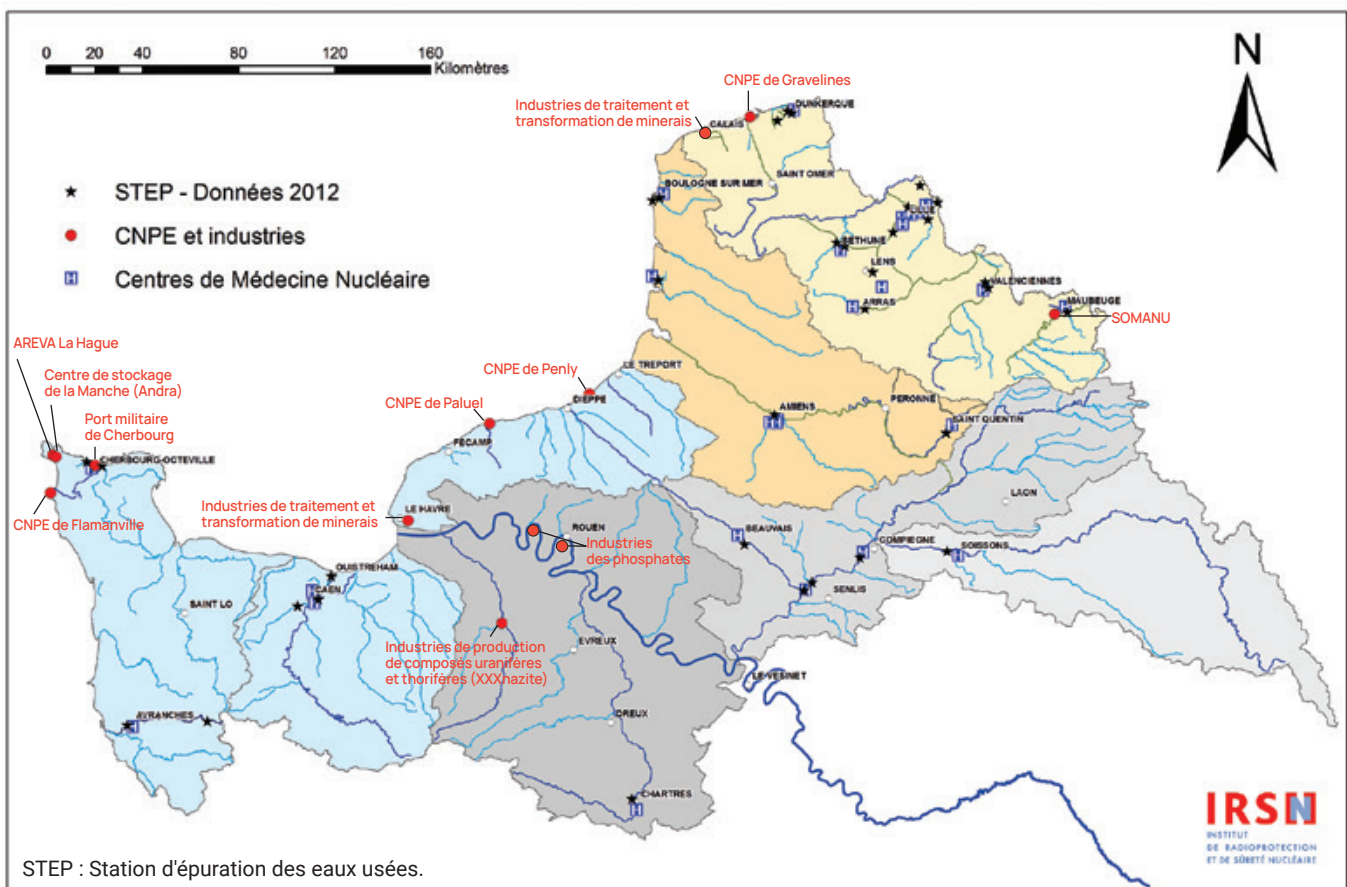


Figure 5 : Principales installations sur le territoire du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France

## Les Centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) —

Les CNPE produisent de l'électricité à partir de réactions nucléaires en utilisant les propriétés de fission des atomes d'uranium. Tous les réacteurs électrogènes français actuellement en service sont des réacteurs à eau pressurisée (REP). Le Tableau 1 détaille le nombre et la puissance des centrales présentes sur le territoire du constat.

**Tableau 1 :** Liste des réacteurs présents sur les 4 CNPE du constat (source : EDF)

CNPE	Nombre de réacteurs	Mise en service	Palier	Puissance
Flamanville	2	1985-1986	P4	1 300 MW
	1	En construction	EPR	1 650 MW
Paluel	4	1984-1986	P4	1 300 MW
Penly	2	1990-1992	P4	1 300 MW
Gravelines	6	1980-1985	CPY	900 MW

Les CNPE, de par leur activité, émettent des radionucléides qui sont en partie rejetés après traitement (filtration, dégazage, évaporation, passage sur résine, etc.) sous forme liquide (en mer ici) ou gazeuse via des cheminées de rejets. Les activités

rejetées sont directement liées au temps de fonctionnement et à la puissance des réacteurs, et les principaux radionucléides émis par voies liquide et gazeuse sont :

- le tritium ( $^3\text{H}$ ) et le carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) ;
- des gaz rares tels que le xénon 133 ( $^{133}\text{Xe}$ ) ou le krypton 85 ( $^{85}\text{Kr}$ ) ;
- des iodes (notamment l'iode 131 et l'iode 133) ;
- d'autres produits de fission (PF) ou d'activation (PA) tels que le cobalt 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), le cobalt 58 ( $^{58}\text{Co}$ ) ou le césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ).

Les tableaux 2 et 3 présentent la répartition des rejets liquides et gazeux des quatre CNPE présents sur le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France [2].

## L'usine de retraitement du combustible usé de la Hague —

Le site Orano de la Hague est une usine de retraitement de combustibles. Il assure le retraitement des combustibles usés provenant de réacteurs nucléaires. Le procédé consiste à séparer les matières fissiles présentes dans le combustible usé, l'uranium et le plutonium, des autres produits présents (produits de fission, d'activation et actinides mineurs) en vue de leur réutilisation dans les réacteurs nucléaires sous forme de combustible MOX. Cette séparation effectuée, les matières récupérées sont envoyées sur les autres installations de l'aval du cycle du combustible nucléaire afin d'être réutilisées, entreposées sur place ou stockées dans les installations de déchets.

**Tableau 2 :** Rejets liquides des 4 CNPE présents sur le territoire du constat en 2017 (données EDF)

CNPE		Iodes (GBq)	$^3\text{H}$ (GBq)	$^{14}\text{C}$ (GBq)	PF + PA (GBq)
1300 MW	Flamanville	0,01	50 000	24,5	0,47
	Paluel	0,01	56 200	24,5	2,11
	Penly	0,01	58 000	50,2	0,31
900 MW	Gravelines	0,03	58 700	31,2	2,19
<b>TOTAL</b>		<b>0,06</b>	<b>222 900</b>	<b>130,4</b>	<b>5,08</b>

**Tableau 3 :** Rejets gazeux des 4 CNPE présents sur le territoire du constat en 2017 (données EDF)

CNPE		Gaz rares (GBq)	Iodes (GBq)	$^3\text{H}$ (GBq)	$^{14}\text{C}$ (GBq)	Autres PF + PA (GBq)
1300 MW	Flamanville	580	0,024	1200	330	0,003
	Paluel	500	0,034	1700	610	0,008
	Penly	410	0,018	700	480	0,003
900 MW	Gravelines	2 740	0,077	2 420	1 000	0,010
<b>TOTAL</b>		<b>4 230</b>	<b>0,153</b>	<b>6 020</b>	<b>2 420</b>	<b>0,024</b>

Tableau 4 : Bilan des rejets gazeux de l'usine Orano de la Hague de 2010 à 2017 (données Orano)

Radionucléide	Activité (TBq)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Gaz rares radioactifs dont krypton 85	226 000	192 000	216 000	289 000	286 000	315 000	320 000	285 000
Tritium	56,8	50	55	61,9	66,3	78,2	74,5	71,6
Carbone 14	16	14,5	16,3	20,6	21,9	19,5	19,1	16,6
Iodes radioactifs	0,005	0,0049	0,00535	0,00658	0,00536	0,00558	0,00641	0,00612
Autres émetteurs bêta et gamma artificiels	0,000114	0,000097	0,000091	0,000098	0,000098	0,000095	0,000104	0,000106
Émetteurs alpha artificiels	0,0000019	0,0000018	0,0000017	0,0000018	0,0000017	0,0000004	0,0000004	0,0000004

Tableau 5 : Bilan des rejets liquides de l'usine Orano de la Hague de 2014 à 2017 (données Orano)

Radionucléide	Limite (TBq)	Activité (TBq)			
		2014	2015	2016	2017
Tritium	18 500	12 700	13 700	12 300	11 900
Iodes	2,6	1,55	1,66	1,44	1,28
Carbone 14	14	8,32	8,52	7,55	7,33
Strontium 90	11	0,47	0,22	0,10	0,24
Césium 137	6	0,86	0,56	0,66	0,82
Césium 134	0,5	0,043	0,033	0,050	0,083
Ruthénium 106	15	0,043	1,52	1,37	2,00
Cobalt 60	1,4	0,07	0,06	0,06	0,06
Autres émetteurs bêta gamma	55	2,27	2,03	1,68	2,54
Émetteurs alpha artificiels	0,14	0,021	0,027	0,023	0,018

Ces activités de retraitement conduisent à des rejets gazeux (Tableau 4) et liquides (Tableau 5) plus variés et en plus grande quantité que ceux des centrales nucléaires [3]. L'usine de la Hague dispose notamment d'une autorisation de rejet de radionucléides artificiels émetteurs alpha, ce qui n'est pas le cas des CNPE. L'usine de la Hague rejette également du krypton 85, lors du découpage des gaines de combustible irradié [4].

## - Le centre de stockage de la Manche

Le centre de stockage de la Manche (CSM) a été le premier centre français de stockage en surface de déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte. Exploité par l'ANDRA (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs), il a reçu ses premiers colis de déchets à partir de 1969 et a été fermé en juin 1994. Le site a depuis été réaménagé et doté d'une couverture étanche. Ce stockage est rentré, du fait de la publication du décret n° 2003-30 du 10 janvier 2003<sup>(3)</sup>, dans une phase de surveillance pour une durée de plusieurs centaines d'années.

Au nord du centre, le bâtiment des bassins regroupe l'ensemble des exutoires des réseaux de collecte des eaux de ruissellement récupérées au niveau de la couverture. Il regroupe également les cuves d'entreposage des effluents ayant potentiellement percolé au travers des ouvrages de stockage, qui sont ensuite transférés vers le site Orano puis rejetés en mer. L'ANDRA effectue une surveillance de ses rejets liquides. Le tritium est le principal radionucléide émis par l'installation. Un incident détecté en 1976 a par ailleurs durablement pollué en tritium les eaux souterraines de la nappe phréatique [5].

Comme tenu de la nature et de la vocation du site, l'ANDRA ne dispose pas d'une autorisation de rejet vis-à-vis des effluents gazeux. Du tritium et du carbone 14 en faible quantité sont toutefois émis dans l'air par dégazage à travers la couverture. Il existe également un relâchement de radon dans l'environnement

<sup>3</sup> Décret n° 2003-30 du 10 janvier 2003 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) à modifier, pour passage en phase de surveillance, le centre de stockage de déchets radioactifs de la Manche (installation nucléaire de base n° 66), situé sur le territoire de la commune de Digulleville (Manche).

local dû à la présence de radium et d'uranium dans les déchets qui, en se désintégrant, induisent une accumulation du radon dans les ouvrages de stockage. Une partie de ce radon peut s'accumuler dans les galeries souterraines et être par la suite rejetée à l'extérieur par la ventilation mécanique de l'installation.

## – La base navale de Cherbourg –

Cherbourg est la troisième base navale de France métropolitaine après Brest et Toulon. La DGA (Direction générale de l'armement) et Naval Group (anciennement DCNS), installés au cœur de l'arsenal, sont spécialisés dans la construction et le démantèlement de sous-marins à propulsion nucléaire. Ces installations présentent également la spécificité d'être intégrées au cœur d'une agglomération importante.

Compte tenu de la proximité des installations de la Hague, l'influence des activités de la base navale de Cherbourg sur les différents compartiments de l'environnement reste toutefois difficilement quantifiable. Ainsi les résultats des mesures effectuées dans la rade de Cherbourg (notamment en  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  et  $^{244}\text{Cm}$ ) dans les différents compartiments environnementaux marins et côtiers confirment que cette zone est directement influencée par les rejets de l'usine de la Hague.

## – Le Grand accélérateur national d'ions lourds (GANIL) –

Le GANIL a été créé à Caen par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Mis en service en 1983, les caractéristiques de l'accélérateur de particules ont été étendues avec la mise en service de la boucle SPIRAL (2001) puis de SPIRAL 2 (2016), ce qui a conduit à une nouvelle autorisation de rejets de l'installation. Ses domaines d'expérimentation s'étendent de la radiothérapie à la physique de l'atome et de son noyau, de la matière condensée à l'astrophysique.

Les rejets du GANIL (INB 113) sont encadrés par la décision ASN n°2015-DC-0515 du 7 juillet 2015<sup>(4)</sup>. Cette décision ne délivre aucune autorisation de rejet liquide et fixe les limites de rejets gazeux, déclinées dans le Tableau 6.

**Tableau 6 : Limites de rejets des effluents gazeux du GANIL**

Radionucléide	Limite annuelle de rejet pour les installations d'origine (GBq)	Limite annuelle de rejet pour l'installation SPIRAL2 phase 1 (GBq)
Tritium	2,10	6,50
Gaz rares	32,7	2,20.10 <sup>3</sup>
Iodes	0,194	5,0.10 <sup>-4</sup>
Autres émetteurs $\beta$ et $\gamma$	9,70.10 <sup>3</sup>	1,40.10 <sup>3</sup>

## – La société de maintenance nucléaire (SOMANU) –

L'installation SOMANU, exploitée par Framatome, est un atelier de maintenance nucléaire implanté à Maubeuge, dans le département du Nord. Le site assure des activités de réparation, d'entretien et d'expertise d'équipements et matériels provenant principalement des réacteurs nucléaires.

La SOMANU est autorisée à rejeter des effluents radioactifs liquides issus du lavage des tenues de zone et du lavage des sols des ateliers (arrêté du 7 août 1986). Les effluents les plus actifs ne sont pas rejetés mais transférés vers des installations de traitement (CEA Saclay ou CENTRACO à Marcoule). Par courrier du 26 février 2018, la SOMANU a informé le Ministre de l'écologie et le Président de l'ASN qu'en application du décret n° 2007-830 du 11 mai 2007<sup>(5)</sup>, son installation ne relevait plus du régime des INB mais de celui du régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Ce changement de régime a été acté par courrier du 25 mai 2018 et le Préfet du Nord a ensuite autorisé, par arrêté préfectoral du 22 juin 2018, la SOMANU à poursuivre l'exploitation de ses installations.

Les effluents liquides à contrôler doivent respecter les limites et seuils rappelés ci-après<sup>(6)</sup> [6]:

- activité volumique rejetée 1 kBq/L et limite annuelle fixée à 400 MBq pour l'ensemble des radionucléides autres que le potassium 40 et le radium ;
- activité volumique ajoutée dans la rivière la Flamenne calculée après dilution totale dans le milieu en valeur moyenne hebdomadaire : 0,4 Bq/L pour l'ensemble des radionucléides autres que le potassium 40 et le radium ;
- activité volumique maximale en tritium dans la rivière la Flamenne en aval du point de rejet : 40 Bq/L ;
- absence d'émetteurs alpha et débit de rejet limité à 2,5 m<sup>3</sup>/h.

<sup>4</sup> Arrêté du 16 septembre 2015 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0515 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 juillet 2015 fixant les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents de l'installation nucléaire de base n° 113 exploitée par le groupement d'intérêt économique GANIL.

<sup>5</sup> Décret n° 2007-830 du 11 mai 2007 relatif à la nomenclature des installations nucléaires de base.

<sup>6</sup> Arrêté du 16 février 2005 modifiant l'arrêté du 7 août 1986 relatif à l'autorisation de rejet d'effluents radioactifs liquides par l'atelier de maintenance nucléaire de la Société de maintenance nucléaire à Maubeuge.



## Les centres de médecine nucléaire \_

La médecine nucléaire regroupe l'ensemble des applications médicales mettant en œuvre des substances radioactives à des fins de diagnostic ou de thérapie, qualifiées dans ce cas de « produits radiopharmaceutiques ». Les deux radionucléides les plus utilisés aujourd'hui sont le technétium 99 métastable pour le diagnostic fonctionnel et l'iode 131 pour le traitement de l'hyperthyroïdie et des cancers thyroïdiens. Ces deux radionucléides à courtes périodes (6 h pour  $^{99m}\text{Tc}$  et 8 j pour  $^{131}\text{I}$ ), représentent à eux seuls près de 99 % de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire.

Les établissements disposant d'un centre de médecine nucléaire sont autorisés à rejeter des radionucléides dans l'environnement en respectant les règles de gestion imposées par la réglementation (arrêté du 23 juillet 2008<sup>(7)</sup>). Dans le cas de rejets dans un réseau d'assainissement, les conditions du rejet sont fixées par l'autorisation prévue par l'article L. 1331-10 du Code de la santé publique.

Malgré leur courte période, il est donc fréquent de mesurer du technétium 99 métastable et surtout de l'iode 131 dans les stations d'épuration (STEP) en aval des grandes agglomérations (Figure 5) et dans une moindre mesure dans les cours d'eau. Une partie des radionucléides utilisés en médecine nucléaire mesurée dans l'environnement provient également des patients traités en ambulatoire ou des sanitaires des services hospitaliers échappant aux circuits spécifiques.

## Les industries générant des déchets à radioactivité naturelle renforcée \_

Les procédés de production de certaines activités industrielles, non liées au cycle électronucléaire, peuvent modifier les équilibres physico-chimiques des radionucléides naturels contenus dans les matières utilisées et les concentrer dans les déchets produits. Un renforcement de la radioactivité naturelle s'opère par exemple dans les industries extractrices de minerais et de ressources géologiques, et lors des étapes successives de séparation, d'épuration, de transformation, et d'utilisation des sous-produits.

Sur le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France, les principaux sites concernés sont liés à ces activités de transformation de minerai ou d'utilisation de composés uranifères ou thorifères, ainsi qu'à la production de phosphates pour la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais. On peut notamment citer l'usine Millenium Inorganic Chemicals au Havre, la société Tioxyde Europe SAS à Calais et l'usine Arkema à Serquigny, ainsi que les sites de stockage de phosphogypses situées à Wattlelos et Douvrin, Rogerville près du Havre et à proximité de Rouen à Grand-Quevilly, Anneville-Ambourville et Saint-Étienne-du-Rouvray.

<sup>7</sup> Arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision n° 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008 fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, prise en application des dispositions de l'article R. 1333-12 du code de la santé publique.

# APPROCHES MISES EN ŒUVRE DANS LE CADRE DU CONSTAT NORMANDIE ET HAUTS-DE-FRANCE

**A**u cours des dernières décennies, de nombreux résultats d'analyses ont été acquis dans le cadre de la surveillance régulière ou à l'occasion d'études spécifiques. Cependant, l'essentiel des mesures réalisées par les différents acteurs restent concentrées autour des installations nucléaires. Les données précédemment acquises ont donc été complétées au travers d'études particulières, en s'éloignant des sites pour se rapprocher des grandes agglomérations et pour traiter d'enjeux moins étudiés au quotidien.

## 4.1 DÉFINITION DES ZONES DE PRÉLÈVEMENT PAR RAPPORT AUX SITES NUCLÉAIRES

Préalablement à la présentation de la méthodologie appliquée aux différents volets, il est utile de rappeler que la démarche des constats radiologiques distinguait les zones proches des installations nucléaires (ZI) et les zones éloignées (ZNI) en vue de guider la réalisation des prélèvements. La Figure 6 donne un aperçu général du zonage ainsi défini.

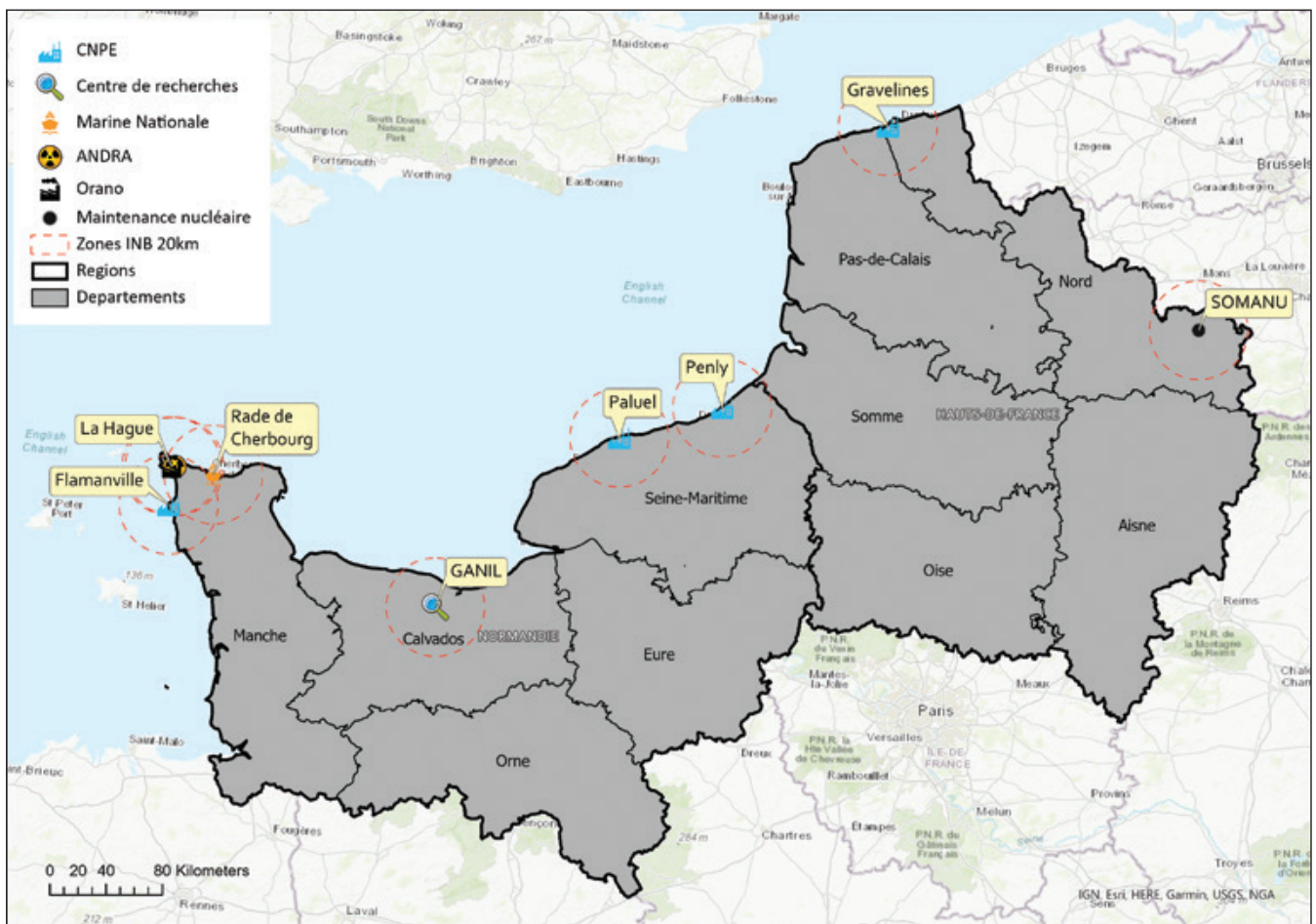


Figure 6 : Aperçu général des ZI et ZNI sur tout le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France

Pour les volets atmosphérique et terrestre, la zone proche (ZI) est définie comme étant située dans un rayon de 5 à 10 km autour des émissaires de rejets atmosphériques et « sous les vents dominants ». C'est dans cette zone que la probabilité d'une influence des rejets de l'installation sur l'environnement est la plus élevée. On considère à l'inverse une zone éloignée (ZNI) qui se situe à plus de 20 km du point de rejet de l'installation considérée. Au-delà de 10 km et encore plus à 20 km de l'installation, la zone n'est pas considérée comme totalement hors influence des rejets de l'installation mais sous influence bien moindre que la zone proche. Une majorité des prélèvements réalisés spécifiquement à l'occasion de ce constat ont été réalisés dans ces deux zones, notamment sur le volet terrestre.

Pour le cas des effluents liquides rejetés en milieu fluvial, les zones potentiellement influencées dans le milieu aquatique sont situées en aval de chacune des installations, les zones non influencées étant situées en amont. En milieu marin, les zones aquatiques sont à définir en fonction de l'existence de rejets littoraux directs (Manche – mer du Nord) ou indirects (via les apports des fleuves en mer) et de la courantologie générale. Sur le volet aquatique, plus complexe dans la réalisation des prélèvements, l'IRSN a pu bénéficier de l'appui de partenaires extérieurs comme l'Office national des milieux aquatiques (ONEMA) et l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), ce qui explique la différence de volumétrie, en termes de nombre d'échantillons prélevés, par rapport aux autres volets, et notamment au volet terrestre dont la quasi-totalité des prélèvements ont été réalisés par l'IRSN lors de campagnes spécifiques.

## 4 2 LE VOLET AQUATIQUE : RÉALISER UN RÉFÉRENTIEL À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Comme pour les autres volets, l'objectif sur le volet aquatique était d'établir un état de référence des niveaux actuels de radioactivité rencontrés. Il s'agissait ainsi de s'intéresser aux différentes matrices des milieux aquatiques continental, littoral et marin, en rendant compte de la rémanence des retombées anciennes et des hétérogénéités imputables aux rejets actuels ou historiques des installations nucléaires présentes sur le quart nord-ouest de la France<sup>(8)</sup> [7]. Par ailleurs, lors des réunions d'échange avec les acteurs du territoire, des questionnements sur certaines problématiques telles que les rejets des centres de médecine nucléaire ou les sites de stockage de phosphogypse ont été formulés par le groupe de suivi et intégrés à la stratégie d'étude du volet aquatique.

### - Le volet aquatique continental -

Le volet aquatique continental du constat Normandie et Hauts-de-France prend en compte l'ensemble des bassins versants du quart nord-ouest de la France et couvre un territoire légèrement plus vaste que les limites administratives des régions Normandie et Hauts-de-France (Figure 2).



Campagne de pêche électrique par les équipes de l'ONEMA (novembre 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN

8 Il convient de noter que, de par la zone géographique de l'étude, l'influence des installations britanniques peut également avoir un impact sur les niveaux rencontrés.

### Exploitation des données disponibles et stratégie de prélèvements et de mesures

L'analyse des données antérieures a montré que l'essentiel de celles-ci se concentraient autour des installations nucléaires (Figure 7). Les campagnes d'échantillonnage se sont donc focalisées sur des rivières rarement voire jamais étudiées auparavant et sur la Seine, ainsi que sur la quantification de l'activité des radionucléides artificiels issus des centres de médecine nucléaire par des prélèvements réalisés en aval des grandes agglomérations.

Pour ce constat régional, les cours d'eau échantillonnés et les points de prélèvement ont été choisis pour leur proximité avec les installations nucléaires autorisées à rejeter des effluents radioactifs, mais également pour l'importance de la densité démographique de leurs bassins versants. En milieu aquatique continental, les variations des concentrations en radionucléides sont liées à la distance à l'ouvrage de rejet et aux conditions hydrauliques, caractérisées notamment par le débit, les arrivées d'affluents, les échanges avec la nappe phréatique ou encore la présence de sinuosités dans l'écoulement.

L'exploitation des mesures historiques a également permis de définir les radionucléides d'intérêt. En croisant ces données avec les enjeux locaux, les analyses suivantes ont été planifiées :

- spectrométrie gamma systématique sur les échantillons de végétaux et de sédiments prélevés ;

- iode 131 en aval des stations d'épuration des grandes agglomérations sur les eaux et les végétaux aquatiques ;
- tritium libre (HTO) dans tous les échantillons d'eau ;
- tritium sous sa forme liée (TOL) dans les végétaux à proximité des installations nucléaires ainsi que sur quelques points de référence à l'échelle du territoire du constat ;
- carbone 14 dans les végétaux aquatiques à proximité des installations nucléaires ;
- strontium 90 dans quelques sédiments répartis sur l'ensemble de la zone ;
- américium 241 et isotopes du plutonium et de l'uranium sur quelques prélèvements de sédiments, notamment en aval de confluences importantes.

### « Cartographie du bruit de fond » en milieu aquatique continental

Au total, 32 stations réparties sur l'ensemble de la zone ont été échantillonnées (Figure 8). Des échantillons d'eau, de sédiments et de phanérogames aquatiques ont été prélevés par l'IRSN sur chaque grand bassin versant hydrographique. Toutefois, de par la configuration hydrogéomorphologique des cours d'eau (berges artificialisées et profondeurs importantes des chenaux), il n'a pas toujours été possible d'obtenir l'ensemble des types d'échantillons envisagés dans le plan de prélèvement.

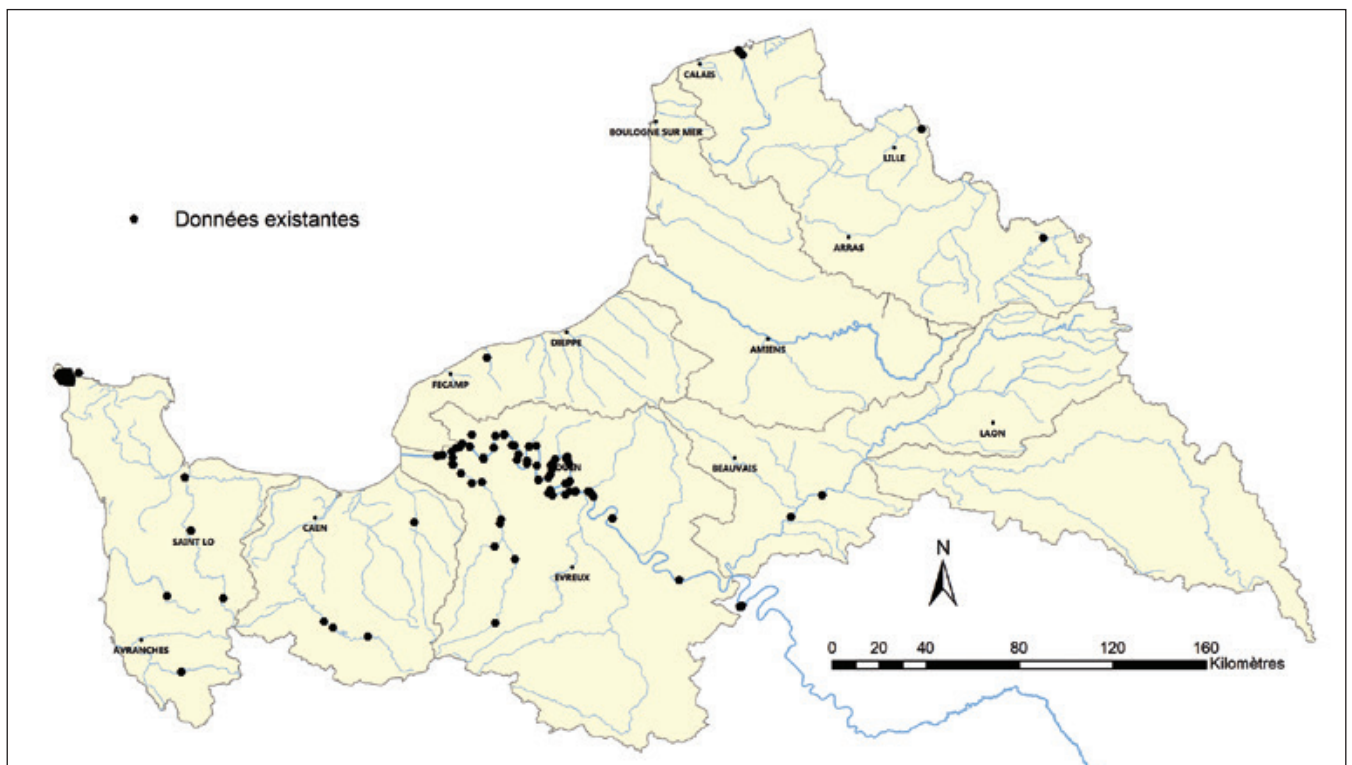


Figure 7 : Résultats de mesures radiologiques disponibles pour le volet aquatique continental en 2015

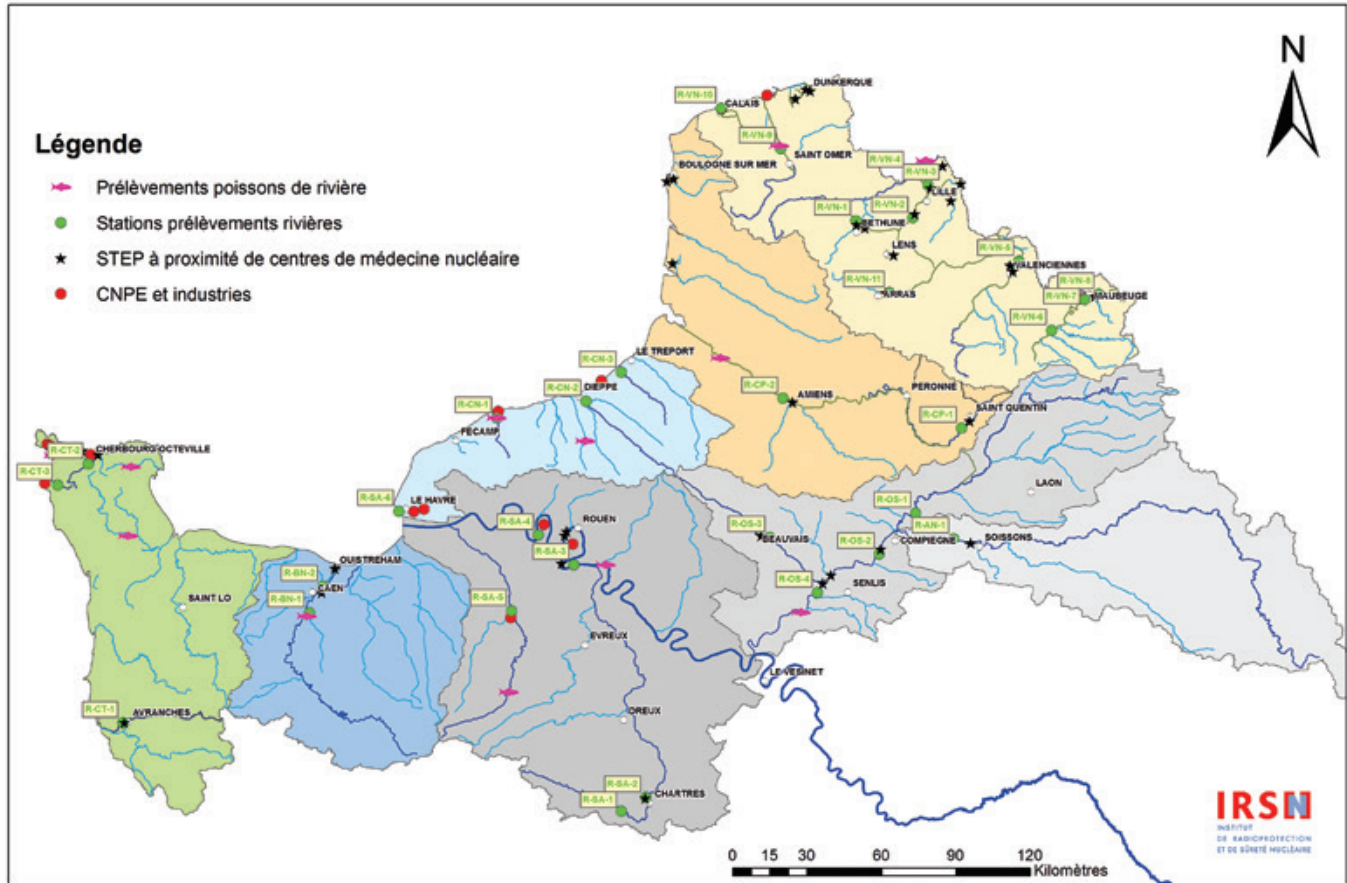


Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement relatives au volet aquatique continental

La collaboration avec l'Office National de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) a permis, à l'occasion de la campagne d'évaluation des peuplements piscicoles pour l'année 2015, d'obtenir des lots de poissons répartis sur l'ensemble du territoire couvert. Le choix des espèces a été défini avec l'ONEMA en fonction des capacités du milieu et a conduit à privilégier les familles des cyprinidés (carpes, brèmes) et des siluridés (silures), c'est-à-dire des espèces de milieu de chaîne trophique, dont les capacités de reproduction sont plus importantes que celles des ésoicidés (brochet) ou des anguillidés (anguille). Dix lots de poissons ont ainsi pu être prélevés dans le cadre la collaboration avec l'ONEMA (Tableau 7). Un onzième lot a été constitué grâce à la collaboration de la fédération de pêche d'Eure-et-Loir dans le cadre du groupe de suivi.

### Considérer l'ensemble des installations susceptibles de rejeter des radionucléides dans le milieu aquatique

En complément du travail de cartographie du bruit de fond, une demande du groupe de suivi portait sur la prise en compte de sites ou de problématiques non couverts par la surveillance régulière de l'IRSN. Les discussions avec les membres du groupe de suivi ont conduit à inclure les sites présentant de la radioactivité naturelle renforcée en particulier les sites de stockage de phosphogypses. L'accent a également été mis sur certaines installations d'intérêt qui, à l'époque du lancement du constat, n'étaient pas ou peu suivies par l'IRSN comme, par exemple, le cours d'eau recevant les effluents liquides de la SOMANU.

Tableau 7 : Plan de prélèvements et de mesures sur les poissons du volet aquatique continental (stations ONEMA)

Bassins versants	Nom attribué	Commune	Spectrométrie gamma	Tritium (TOL)	Carbone 14
Cotentin	Saire	Brillevast	x	x	x
	Douve	Picauville	x		
Côtiers haut-normands	Durdent	Paluel	x	x	x
	Scie	Heugleville-sur-Scie	x	x	x
Côtiers picards et boulonnais	Somme	Bray-sur-Somme	x		
Versants mer du Nord et transfrontaliers	Deûle canal	Don	x		
	Aa	Verchocq	x		
Seine en aval de Paris et Risle	Seine	Poses	x	x	x
	Risle	Ambenay	x		
	Eure	Lèves	x		
Nombre d'analyses			10	4	4

### Actualiser les données de l'étude IRSN sur les sédiments de la Seine

Après une première étude menée en 2004, l'IRSN a été sollicité par le Grand port maritime de Rouen en 2008 pour réaliser des mesures de radionucléides sur les sédiments retirés dans le cadre des opérations de dragage de l'estuaire de la Seine. Les mesures réalisées avaient alors mis en évidence des activités significatives en plutonium et en américium 241 dans les sédiments et fait l'objet d'un rapport publié en 2009 [8]. Cette étude avait donné lieu à des expertises complémentaires ayant abouti à la publication d'un article sur le site de l'Autorité de Sûreté Nucléaire en juin 2014 [9] accompagné d'un avis de l'IRSN [10].

Lors des réunions du groupe de suivi, une demande a été formulée pour que de nouvelles analyses soient réalisées sur les sédiments prélevés à l'occasion des campagnes d'entretien du chenal de navigation. L'IRSN s'est donc rapproché du Grand port maritime de Rouen pour obtenir des échantillons de boues issus des opérations de dragage. Deux prélèvements effectués au niveau de la zone portuaire de Rouen (BRQ) et le plus en aval de l'estuaire de la Seine sous dominante marine (pk368) ont pu être récupérés par l'IRSN et analysés. Un troisième prélèvement de sédiments a été réalisé au niveau de la station IRSN de Croissy-sur-Seine afin de disposer d'un niveau de référence en aval immédiat de Paris (Figure 9).

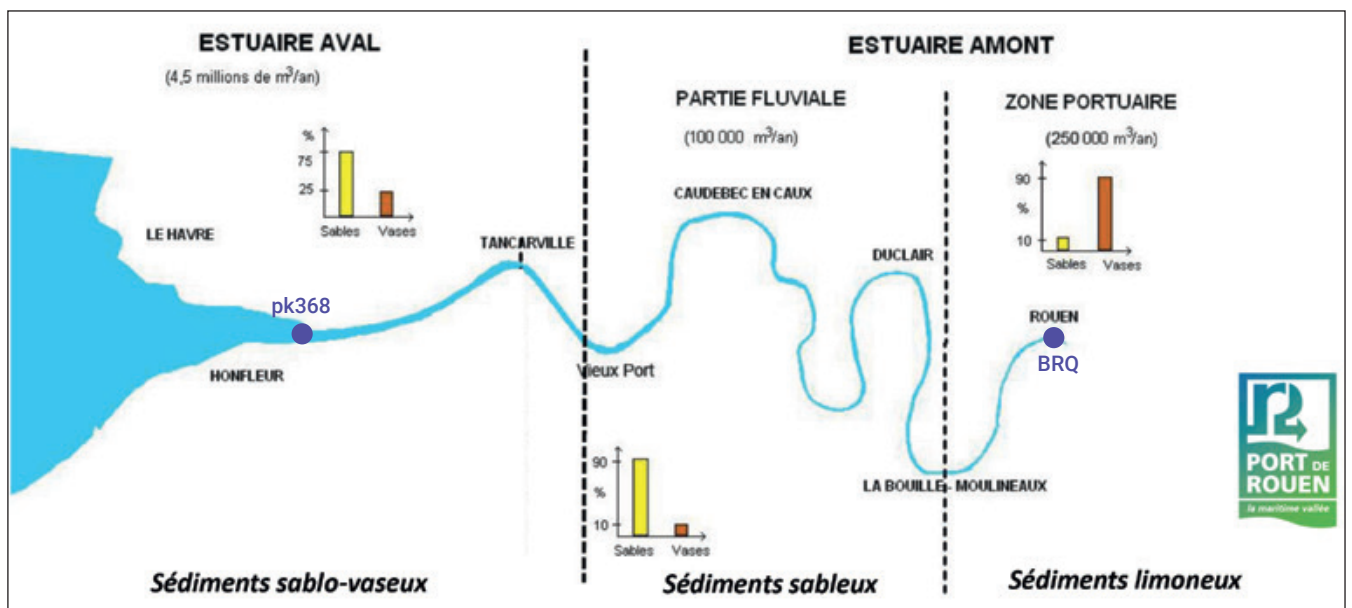


Figure 9 : Localisation des deux stations de dragage sédimentaire sur la Seine aval

Au total, 82 prélèvements ont été réalisés dans le cadre du volet aquatique continental du constat Normandie et Hauts-de-France (principalement de l'eau et des sédiments prélevés sur

l'ensemble du territoire du constat par les équipes de l'IRSN) (Figures 10 et 11).

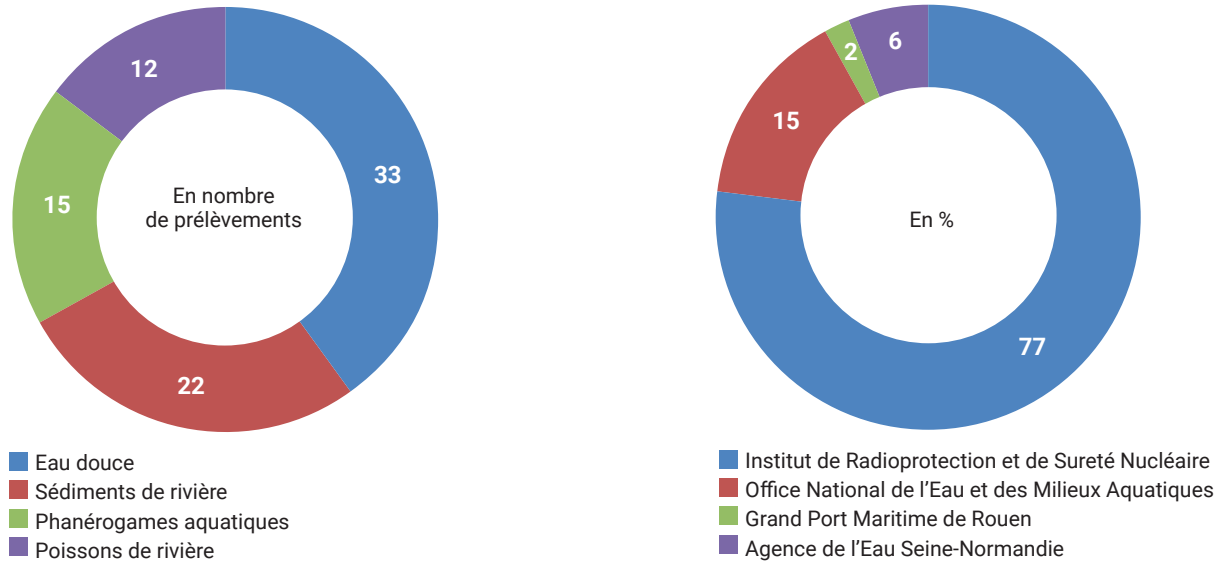


Figure 10 : Bilan des campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre du volet aquatique continental

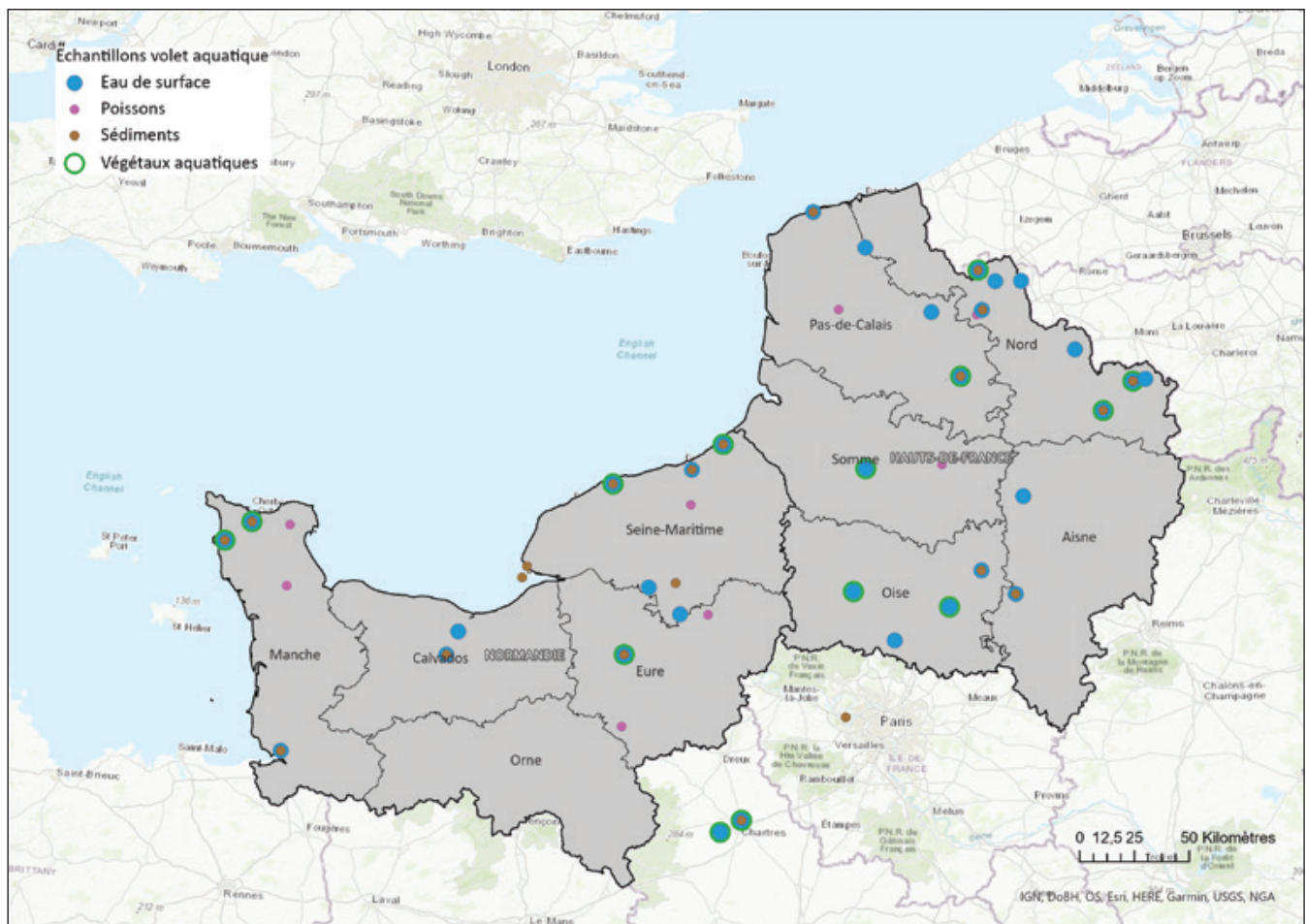


Figure 11 : Natures et localisation des prélèvements réalisés sur le volet aquatique continental

## Le volet aquatique marin

Le volet aquatique marin couvre le chenal de la Manche et la partie sud de la mer du Nord. Il se décline en deux environnements : le milieu marin littoral et le milieu marin hauturier. Le milieu littoral s'étend géographiquement des côtes bretonnes (Roscoff) jusqu'à la frontière Belge, et le milieu marin des côtes du comté de Cornouailles en Angleterre jusqu'aux côtes néerlandaises où l'Escaut se jette en mer du Nord.

### Bilan des données disponibles sur le milieu marin

L'IRSN réalise une surveillance régulière du milieu marin et du littoral à partir de différentes stations côtières sur l'ensemble de la façade maritime. Les deux tiers des stations de prélèvements encadrent la pointe du Cotentin car la majorité des radionucléides artificiels observés dans la Manche provient des rejets liquides de l'usine de retraitement de la Hague. Les mesures et les modélisations de dispersion des radionucléides rejetés en mer montrent que ceux-ci sont détectables jusqu'en mer du Nord. Une partie se propage également à l'ouest sans pour autant être décelée significativement à la station de Roscoff en Bretagne, considérée comme une zone « amont » de la Manche, non influencée.

### Acquérir des données sur le milieu marin offshore

Sur ce compartiment, l'objectif était de compléter les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance régulière par l'ajout de quelques stations d'échantillonnage sur le littoral ou de matrices d'intérêt, et de réaliser un état des lieux approfondi des ressources halieutiques (zone offshore) afin d'améliorer la connaissance des radionucléides en Manche et en mer du Nord. La dilution en milieu marin étant plus importante que celle du milieu aquatique continental, la stratégie de prélèvement pour ce volet s'est davan-

tage orientée vers les bioindicateurs (algues, mollusques, crustacés, poissons) qui concentrent les polluants et permettent ainsi de mieux rendre compte de l'état du milieu que des mesures ponctuelles et locales dans l'eau de mer.

Compte tenu des contraintes liées à la réalisation des prélèvements en mer, l'IRSN a engagé un certain nombre de partenariats pour avoir accès à des échantillons prélevés au large des côtes françaises, et a ainsi pu bénéficier, grâce à un partenariat avec l'IFREMER, de la campagne Manche Occidentale pluridisciplinaire (CAMANOC) qui s'est déroulée entre le 16 septembre et le 13 octobre 2014. Cette expédition visait à échantillonner l'ensemble de l'écosystème marin : eau, compartiments planctoniques, poissons et céphalopodes pélagiques, oiseaux et mammifères marins. À l'occasion de cette campagne, l'IRSN a pu obtenir :

- 10 lots de poissons (chinchard, merlan, sardines, dorade grise) ;
- 11 lots de céphalopodes (encornets) ;
- 9 échantillons de sédiments des fonds marins.

La stratégie de prélèvement visait à cerner la presqu'île du Cotentin tout en prenant en compte deux stations considérées comme « amont » par rapport au courant marin, hors influence des rejets de l'usine Orano la Hague (Figure 12).

Le partenariat avec l'IFREMER a également permis de profiter de la campagne IBTS (International Bottom Trawl Survey), réalisée tous les ans depuis 1976, afin de calculer un indice d'abondance des principales espèces de poissons commerciaux exploités en Manche orientale et en mer du Nord. Lors de la campagne de 2015, l'IFREMER a transmis 7 lots de poissons (merlan et soles), 1 lot de céphalopodes (encornets) et 7 sédiments de fonds marins. En complément, trois lots de poissons (merlan, plie com-

Tableau 8 : Synthèse des prélèvements obtenus grâce au partenariat avec l'IFREMER dans le cadre de leurs différentes campagnes de prélèvements

Campagnes	Espèces (nombre de lots)			
	Poissons	Céphalopodes	Sédiments	Coquilles Saint-Jacques
CAMANOC (2014)	10	11	9	-
IBTS (2015)	7	1	7	-
IBTS (2016)	3			-
Campagne annuelle d'évaluation de la ressource (2016)	-	-	-	2
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>2</b>



mune et hareng) ont été prélevés lors de la campagne 2016 ainsi que deux lots de coquilles Saint-Jacques prélevés en baie de Seine à l'occasion des campagnes de prospection estivale de l'IFREMER (Tableau 8).

Sur l'ensemble des prélèvements réalisés, et compte-tenu du spectre assez large de radionucléides susceptibles d'être mesurés, en lien avec les rejets en mer de l'usine de la Hague, les mesures suivantes ont été réalisées :

- spectrométrie gamma sur l'ensemble des échantillons ;
- analyse de tritium et de carbone 14 dans tous les échantillons ;
- analyse de strontium 90 sur quelques échantillons de poissons et de sédiments ;
- analyses de plutonium, d'américium et d'uranium isotopique sur quelques poissons et sédiments ;
- analyse de polonium 210 sur des échantillons de poissons et de coquilles Saint-Jacques afin de compléter les connaissances sur la contribution de ce radionucléide naturel à la dose liée à l'ingestion de produits de la mer.

### Réaliser une campagne de prélèvements sur les produits issus de la pêche à pied

Concernant la caractérisation de l'environnement littoral, l'IRSN réalise chaque année de nombreux suivis sur la côte à proximité des installations nucléaires. Afin de compléter les données acquises dans le cadre de la surveillance régulière ou d'études, une attention particulière a été portée aux produits liés à l'activité de pêche à pied.

Dans ce cadre, des collaborations scientifiques avec le Groupe d'étude des milieux estuariens et littoraux (GEMEL), les comités régionaux des pêches (CRPBN et CRPMEM) et la Direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), d'une part, et l'Agence de l'Eau Seine Normandie d'autre part, ont été mis en place. Une campagne de terrain qui a permis de recueillir des échantillons de salicornes, asters maritimes, mollusques (scrobiculaires) et sédiments, a ainsi été effectuée en baie de Somme en juillet 2015. À cela s'ajoute la communication par l'Agence

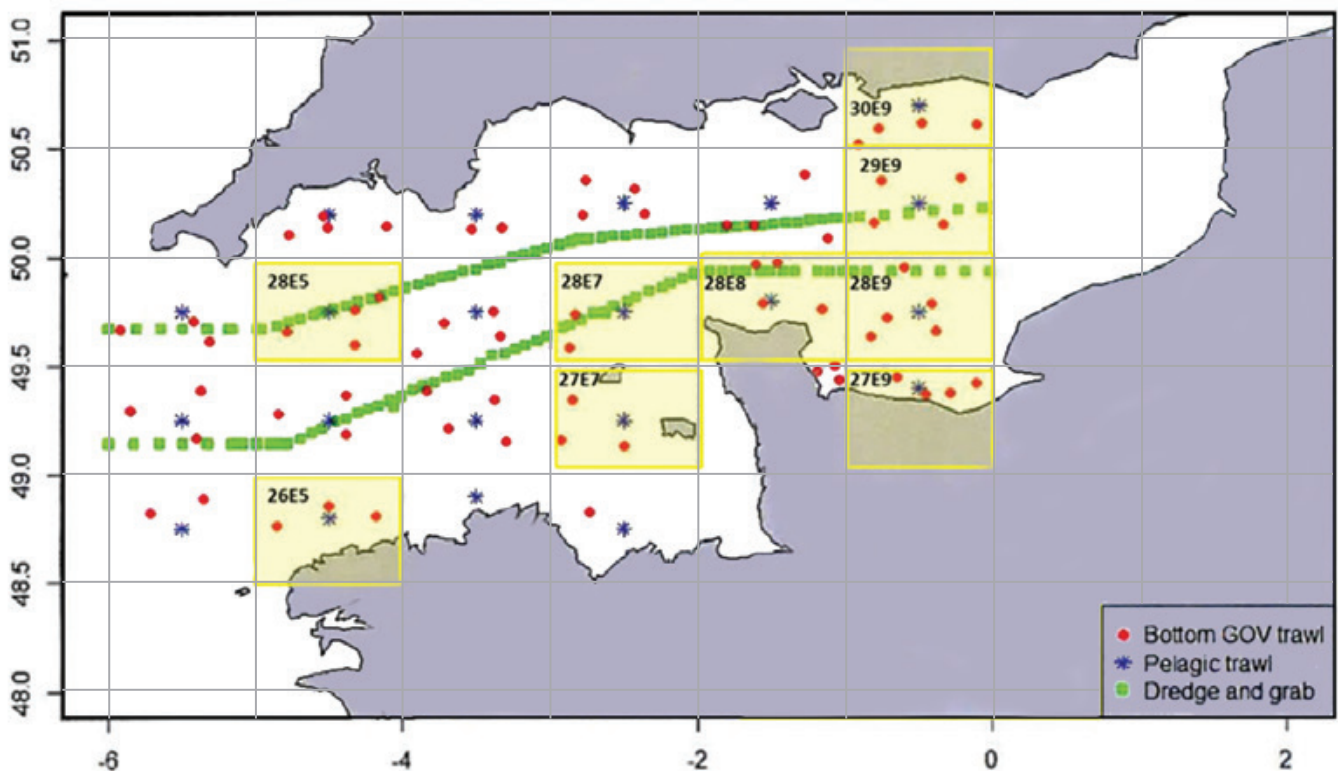


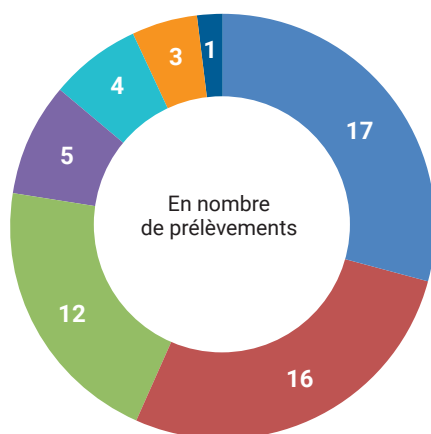
Figure 12 : Exemple de maillage retenu pour la campagne en Manche occidentale de 2014 et localisation des prélèvements IRSN

régionale de santé (ARS) de ses résultats de surveillance sanitaire des coquillages de pêche à pied récréative en Normandie [13]. L'ensemble des prélèvements et des analyses réalisés sur le volet pêche à pied sont détaillés dans le Tableau 9.

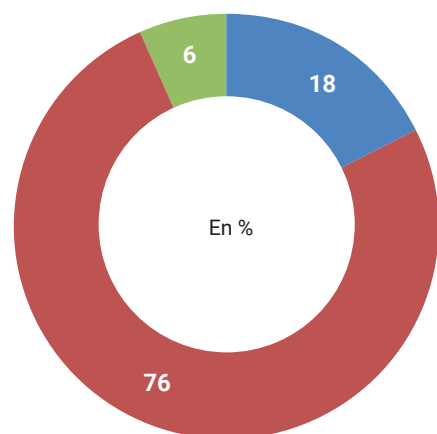
Les prélèvements réalisés dans le cadre du volet marin représentent un total de 62 échantillons, en grande majorité des poissons et des sédiments prélevés au large grâce à la collaboration avec l'IFREMER (Figures 13 et 14).

**Tableau 9 :** Plan de prélèvements et de mesures relatif au volet marin littoral

Pêche à pied	Localisation	Matrices	Spectrométrie gamma	Tritium (TOL)	Carbone 14	Strontium 90	Pu/Am	Iode 129	Polonium 210	U iso
Baie du Mont Saint-Michel	Mont-Saint-Michel	Crustacés	X	X	X	X	X		X	
Côte des Havres	Pointe d'Agon	Sédiments, algues, salicornes, mollusques	X	X	X	X	X	X		X
Cotentin	Baie des Veys	Sédiments, algues, salicornes, mollusques	X	X	X	X	X	X	X	X
Côte fleurie	Delta de l'Orne	Crustacés	X	X	X	X	X		X	
Côte Picarde	Baie de Somme	Sédiments, algues, salicornes, mollusques	X	X	X	X	X	X	X	X
Côte des dunes de Flandres	Bray-Dunes	Sédiments	X			X	X			X
<b>Nombre d'analyses</b>			<b>12</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>



- Poissons marins
- Sédiments marins
- Encornets
- Crustacés
- Salicornes et Asters
- Mollusques filtreurs
- Algues marines



- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
- Groupe d'étude des milieux estuariens et littoraux

**Figure 13 :** Bilan des campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre du volet aquatique marin

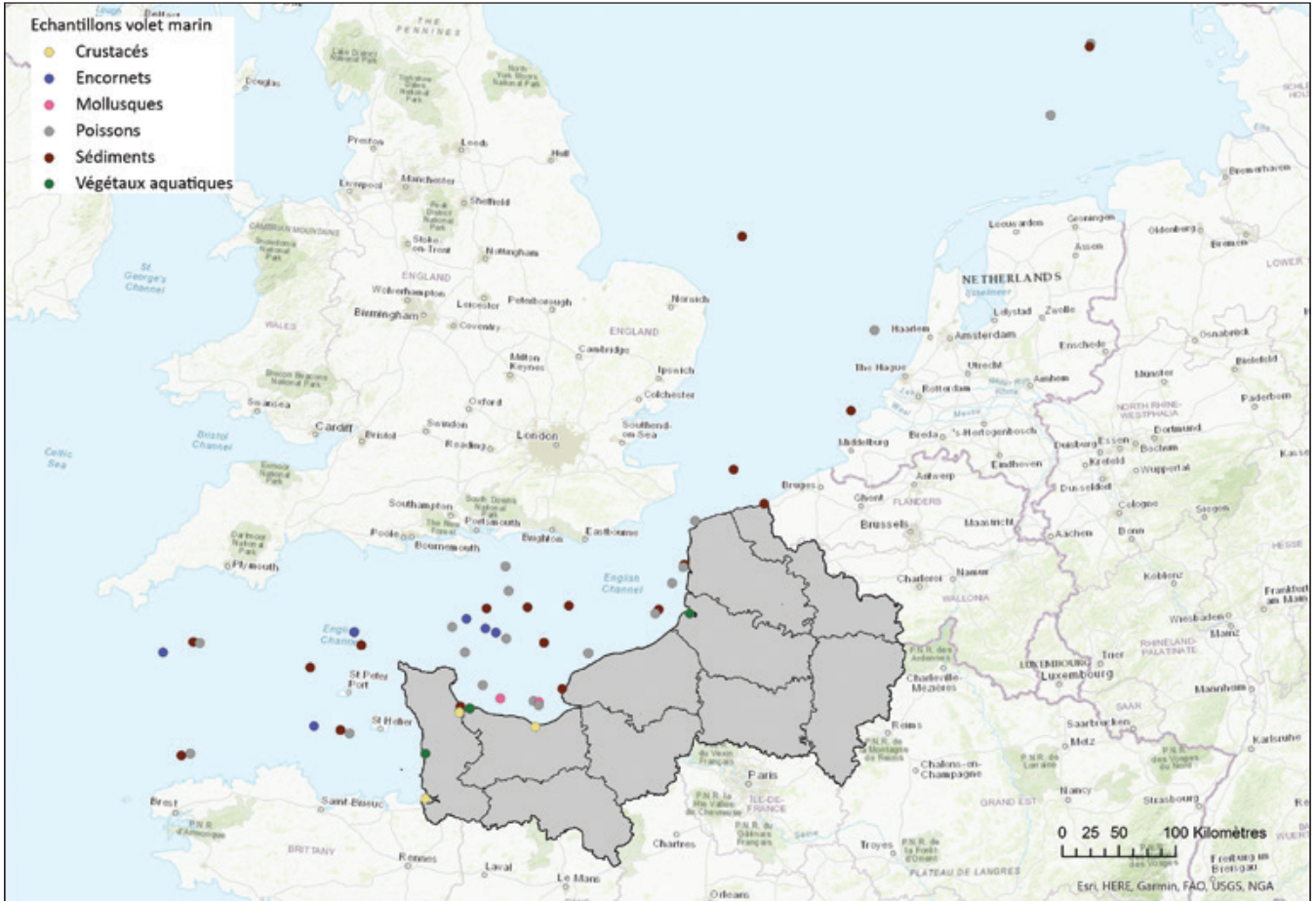


Figure 14 : Natures et localisation des prélèvements réalisés pour le volet aquatique marin

## – Synthèse des prélèvements réalisés –

Au total, 144 prélèvements ont été réalisés dans le cadre du volet aquatique du constat Normandie et Hauts-de-France.

La Figure 15 illustre l'apport du constat Normandie et Hauts-de-France sur la connaissance des niveaux d'activité dans les

différents compartiments à l'échelle du quart Nord-ouest de la France ainsi qu'en Manche et mer du Nord par rapport aux données précédemment acquises dans le cadre de la surveillance par les différents acteurs et programmes de recherche de l'IRSN.

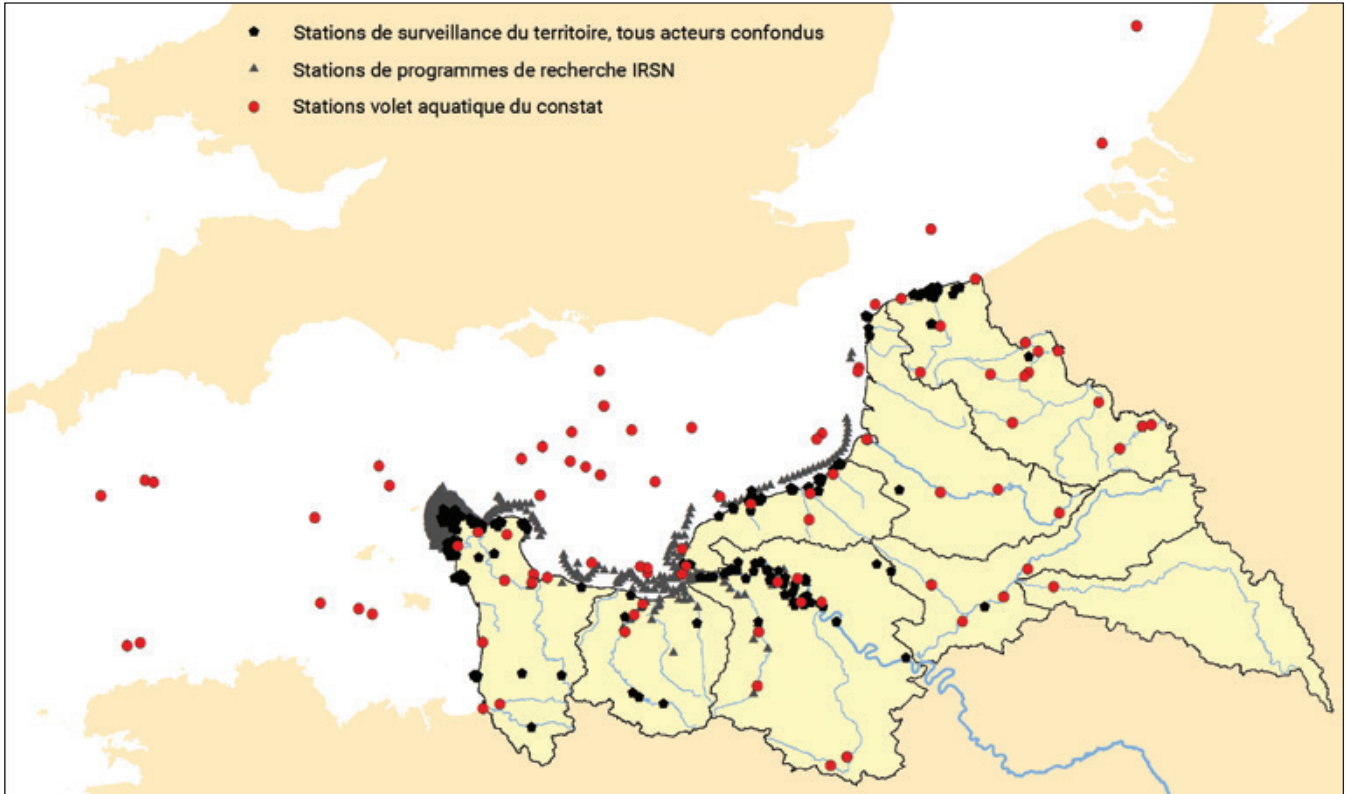


Figure 15 : Données disponibles et prélèvements réalisés dans le cadre du volet aquatique du constat Normandie et Hauts-de-France

## 4 3 LE VOLET ATMOSPHÉRIQUE : RENFORCER LA CONNAISSANCE À PROXIMITÉ DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

La surveillance radiologique du compartiment atmosphérique a été initiée à la fin des années 50 avec pour objectif de mesurer les retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques réalisés dans l'hémisphère nord. Depuis, avec la diminution progressive des niveaux d'activités liés à ces retombées et celle des rejets des installations nucléaires, les moyens mis en œuvre dans le cadre de la surveillance régulière ne permettent le plus souvent pas, malgré l'amélioration des performances des appareils et des moyens météorologiques mis en œuvre, de quantifier les trop faibles activités de radionucléides ajoutées du fait des activités humaines. Les constats radiologiques, en complément des études ponctuelles qui peuvent être menées par l'IRSN, sont donc une opportunité pour mettre en œuvre des moyens complémentaires à la surveillance régulière permettant de mieux caractériser ce compartiment.

### Données disponibles et exploitation des résultats

Autour des sites nucléaires, la surveillance de la radioactivité dans l'atmosphère est réalisée au moyen de deux types de dispositifs : les réseaux de mesure en continu (débit de dose gamma ambiant) destinés à l'alerte en cas d'accident de grande ampleur sur une installation nucléaire et les dispositifs de prélèvement en continu (air, gaz, eau de pluie) utilisés pour déceler *a posteriori*, par des analyses réalisées au laboratoire, de plus faibles augmentations des niveaux de radioactivité liées à des événements de moindre ampleur ou aux rejets chroniques de ces installations.

L'ensemble des dispositifs déployés autour des installations, en particulier les dispositifs de mesures en continu, représente une fraction importante des résultats acquis chaque année mais ne permet pas d'évaluer finement les niveaux dans l'air sous influence des installations car la plupart des résultats obtenus ne sont pas significatifs ou sont difficilement interprétables.

La caractérisation fine de certains phénomènes et radionucléides nécessite donc la mobilisation de moyens complémentaires qu'il est possible de mettre en œuvre dans le cadre d'études

spécifiques ponctuelles comme les constats radiologiques. Ces études sont également l'occasion pour l'IRSN de répondre aux préoccupations portées par les parties prenantes locales à travers le comité de suivi.

## Plan d'échantillonnage et études menées

Pour le volet atmosphérique, le choix a été fait de mener des études spécifiques sur le site Orano de la Hague et le CNPE de Gravelines, qui génèrent les rejets radioactifs les plus importants sur le territoire du constat. Pour ces deux sites, l'objectif était d'essayer de caractériser plus finement l'influence des rejets de ces installations sur l'air environnant. Ainsi, les études suivantes ont été réalisées et ont conduit au plan d'analyses détaillé dans le Tableau 10 :

- analyse de l'évolution avec la distance des teneurs en tritium de l'air et plus particulièrement la délimitation de la zone influencée par les rejets autour du CNPE de Gravelines et de l'usine de retraitement de la Hague ;
- acquisition de données de référence sur les aérosols à proximité des sites de la Hague et de Gravelines et croisement avec les données de la surveillance régulière ;
- suivi de la concentration hebdomadaire en tritium dans les dépôts humides à proximité des installations nucléaires ;
- exploitation plus poussée des différentes mesures du débit d'équivalent de dose réalisées dans le cadre de la surveillance régulière de l'IRSN sur le territoire du constat.

## Améliorer la connaissance sur les aérosols atmosphériques

Les stations aérosols sont des dispositifs de prélèvement qui aspirent l'air au moyen d'une pompe au travers d'un filtre, qui est relevé et mesuré en laboratoire. En complément des stations 80 m<sup>3</sup>/h de l'IRSN situées à proximité des sites nucléaires, une station aérosols à grand débit (300 m<sup>3</sup>/h) a été installée à proximité du CNPE de Gravelines au niveau de la station AS1 (Figure 16) et du site de la Hague, sur la plateforme technique de l'IRSN située à Omonville-la-Petite (Figure 17), sous les vents dominants dans les deux cas. Les prélèvements ont eu lieu entre mars et octobre 2015 pour le site de la Hague et entre mai 2017 et avril 2018 à Gravelines.

Par ailleurs, l'IRSN opère dans le cadre de sa surveillance régulière des aérosols une station d'un débit de 700 m<sup>3</sup>/h à Alençon (Orne). Considérée comme très éloignée des rejets des installations nucléaires, elle permet de connaître le bruit de fond dans l'air des radionucléides naturels et artificiels hérités des retombées anciennes.

## La mesure du tritium dans l'atmosphère

La surveillance du tritium dans l'atmosphère est classiquement assurée par la collecte de prélèvements d'eau de pluie, méthode simple et peu onéreuse pour surveiller les niveaux de radioactivité

Tableau 10 : Plan d'analyses et critères associés

	Type de surveillance ou nature du contrôle	Installation	Critères stratégiques associés/type de prélèvement				Commentaire
			Tritium (HTO)	Débit de dose	Spectrométrie gamma	Filtres aérosols	
Mesure en temps réel	Air au niveau du sol	Orano la Hague		X	X		1 point (sous les vents dominants)
	Rayonnement gamma ambiant	Toutes		X			1 point
Mesure en différé	Air au niveau du sol	Toutes	X			X	1 point de prélèvement
		Orano la Hague	X			X	2 stations de prélèvement en continu d'aérosols à 300 m <sup>3</sup> /h
		Gravelines					
	Pluie	Toutes	X				1 point de prélèvement hebdomadaire (station AS1)

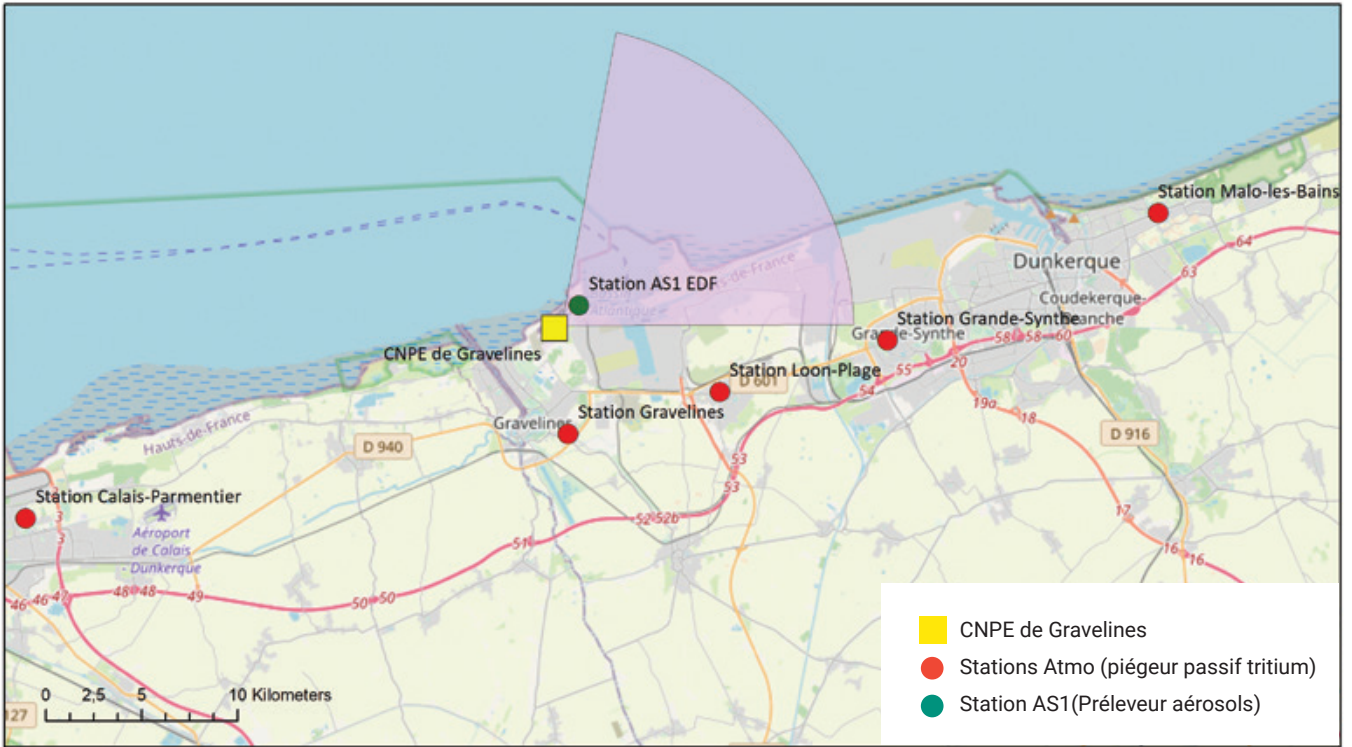


Figure 16 : Localisation des stations d'intérêt du réseau ATMO de la balise aérosols grand débit

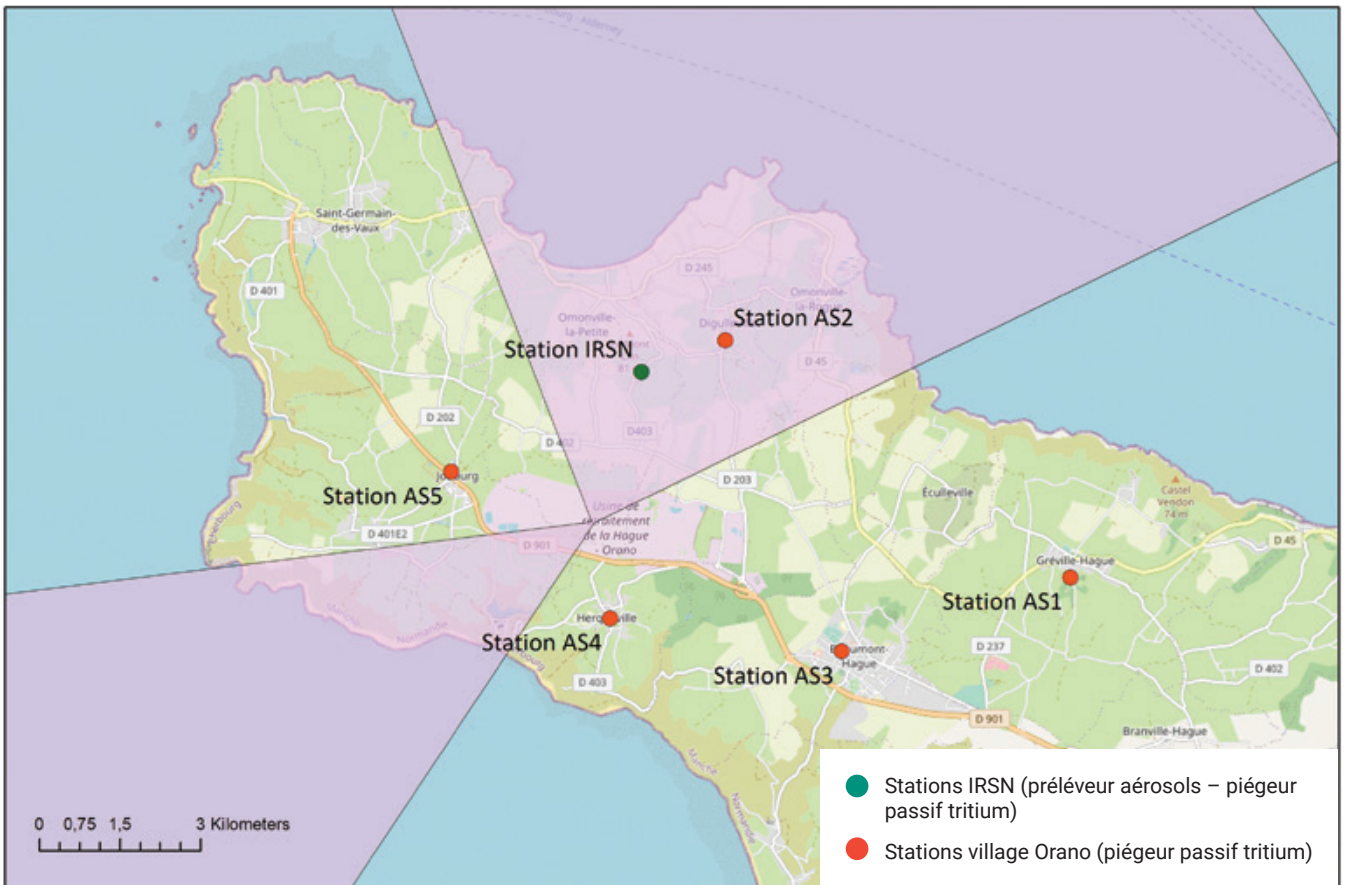


Figure 17 : Localisation des stations d'intérêt du réseau de surveillance d'Orano la Hague et de la balise aérosols grand débit

dans l'air au travers des dépôts humides. Le suivi du tritium dans l'atmosphère peut également être réalisé à l'aide d'un appareil appelé « barboteur » (également utilisé pour la mesure du carbone 14) ou à l'aide d'un condenseur ou de « piègeurs passifs » qui permettent de capter le tritium présent dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau pour ensuite le mesurer en laboratoire

Dans le cadre du constat, les fréquences d'analyse du tritium dans l'eau de pluie ont été augmentées (analyse hebdomadaire au lieu de mensuelle) autour des 4 CNPE et de l'usine de la Hague de janvier 2016 à mars 2017. De plus, autour du CNPE de Gravelines, une étude plus approfondie mettant en œuvre des piègeurs passifs du tritium a été réalisée avec le concours d'ATMO Hauts-de-France – qui dispose de stations de surveillance de la qualité de l'air à proximité de ce CNPE – sur lesquels ont été implantés les piègeurs passifs tritium (Figure 16). Les valeurs en tritium dans les eaux de pluie, disponibles dans le RNM, ont permis d'orienter la localisation de zones d'intérêt et de sélectionner les implantations les plus pertinentes pour l'installation des dispositifs de mesure. Sur les cinq stations retenues, les prélèvements ont eu lieu de mars à octobre 2016.

Une étude similaire a été menée entre octobre 2016 et mai 2017 dans l'environnement de l'usine de la Hague. La Figure 17 présente la localisation des points de surveillance d'Orano sur lesquels l'IRSN a implanté des dispositifs de piégeage passif du tritium. Sur cette carte figure également la station expérimentale IRSN située à Omonville-la-Petite où est également implanté un collecteur d'eau de pluie.

## - La mesure du débit de dose gamma ambient \_

La mesure du débit d'équivalent de dose gamma ambient dans l'atmosphère est assurée en routine par des équipements tels que ceux du réseau de télémessure Téléray de l'IRSN ou du réseau de balises des exploitants, qui permettent une restitution des résultats en direct. Associés à des dispositifs de communication, ils constituent un réseau de détection et d'alerte, mais permettent également de disposer d'une valeur de référence locale et d'observer les variations saisonnières du débit d'équivalent de dose. La surveillance du territoire est complétée par un réseau d'une centaine de dosimètres passifs Radio-photo-luminescence (RPL) répartis de manière relativement homogène sur le territoire et relevés tous les trimestres.

Pour la caractérisation du débit de dose (différé ou en temps réel), les travaux menés dans le cadre du constat n'ont pas donné lieu à des campagnes de mesures particulières mais à l'exploitation des données acquises dans le cadre de la surveillance régulière.

## - Synthèse des prélèvements réalisés \_

Au total, 511 prélèvements ont été réalisés et analysés dans le cadre du volet atmosphérique du constat Normandie et Hauts-de-France. Les analyses se répartissent entre des mesures par spectrométrie gamma pour les filtres aérosols (83) et des mesures de tritium sur les eaux atmosphériques (428). Le Tableau 11 présente une synthèse des prélèvements et analyses réalisés.

**Tableau 11** : Synthèse des prélèvements et analyses réalisés dans le cadre du volet atmosphérique

Matrice	Installation	Localisation	Durée	Période	Type d'analyse	Nombre de prélèvements
Eau de pluie	4 CNPE EDF	AS1	Janvier 2016 – mars 2017	Hebdomadaire	<sup>3</sup> H	195
	Orano La Hague	AS1 + Station IRSN	Janvier 2016 – mars 2017	Hebdomadaire	<sup>3</sup> H	71
Aérosols (Station grand débit)	Orano La Hague	Station IRSN	Mars – octobre 2015	Hebdomadaire	spectrométrie gamma	31
	EDF Gravelines	AS1	Mai 2017 et avril 2018	Hebdomadaire	spectrométrie gamma	52
Tritium vapeur d'eau (piège passif)	EDF Gravelines	5 stations	Mars – octobre 2016	Bimensuel	<sup>3</sup> H	85
	Orano La Hague	4 stations Orano + station IRSN	Octobre 2016 – mai 2017	Bimensuel	<sup>3</sup> H	77

## 4 4

## LE VOLET TERRESTRE : ACQUÉRIR DES DONNÉES COMPLÉMENTAIRES SUR LES NIVEAUX D'ACTIVITÉS DANS CE MILIEU ET NOTAMMENT DANS LES DENRÉES

Dans le milieu terrestre, les constats radiologiques sont l'occasion pour l'IRSN de s'intéresser aux spécificités propres à chaque territoire et de compléter les données obtenues dans le cadre de la surveillance régulière en réalisant des prélèvements et des mesures à distance des installations nucléaires. Le constat Normandie et Hauts-de-France a ainsi permis de déterminer des valeurs de référence dans les denrées agricoles représentatives de la zone, mais également dans les végétaux terrestres ainsi que dans les sols.

### Exploitation des données disponibles

#### Mesures de radioactivité

La répartition des prélèvements réalisés dans chaque département par les différents producteurs de données du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) dans le compartiment terrestre est présentée Figure 18 [14]. On constate que la grande majorité des prélèvements réalisés dans le cadre de la surveillance régulière se situe dans les départements de la Manche, de la Seine-Maritime, du Nord et du Pas-de-Calais. À l'inverse, en lien avec l'absence d'installation nucléaire dans les autres départements (Oise, Orne, Aisne, Somme et Eure), la connaissance sur les niveaux de radioactivité dans les différents compartiments de l'environnement pourrait être améliorée. À noter également que très peu de données sont disponibles dans le Calvados malgré la présence du GANIL à Caen.

Au 1<sup>er</sup> janvier 2020, ces prélèvements représentaient environ 32 000 résultats de mesures pour 7 600 prélèvements réalisés depuis 2009, dont la grande majorité – environ 25 000 – sont des résultats de mesures de spectrométrie gamma. Comme pour la surveillance du compartiment atmosphérique, avec la diminution progressive des rejets des installations nucléaires et de la rémanence des retombées atmosphériques, peu de radionucléides artificiels mesurés en spectrométrie gamma présentent des valeurs supérieures aux seuils de décision.

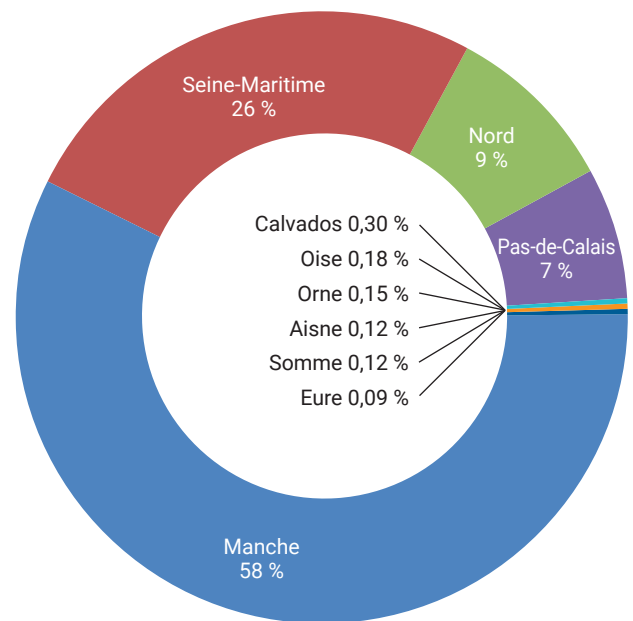


Figure 18 : Répartition des prélèvements par département dans le compartiment terrestre en 2018 (source : RNM)

On peut également observer une hétérogénéité du nombre de prélèvements par type de matrice, avec une prépondérance des laits et autres denrées en zone éloignée des sites nucléaires alors que les échantillons de sols sont majoritairement effectués à proximité des installations, du fait de l'obligation réglementaire pour les exploitants nucléaires d'analyser cette matrice (Figure 19).

#### Données de la statistique agricole

Une autre composante importante des travaux relatifs au volet terrestre concerne l'analyse des spécificités du territoire, en particulier du milieu agricole. Il ressort ainsi des réflexions préparatoires menées pour définir la stratégie d'étude que les surfaces agricoles occupent une grande partie du territoire, et que les spécificités propres à chaque région doivent être prises en compte dans l'élaboration du plan de prélèvement. Ainsi, on peut noter que sur le territoire du constat les céréales, la betterave sucrière et la pomme de terre sont majoritairement cultivées dans les Hauts-de-France alors que la polyculture et l'élevage bovin occupent la majeure partie des terres agricoles en Normandie (Figure 20) [17].

On peut également relever qu'à elles seules, les régions Normandie et Hauts-de-France représentent 24,7 % de la production française de lait. La production laitière se répartit entre les différents départements. Le département de la Manche, reste le premier producteur avec environ 15 000 hl produit chaque année, la Normandie produisant à elle seule environ 15 % du lait français.



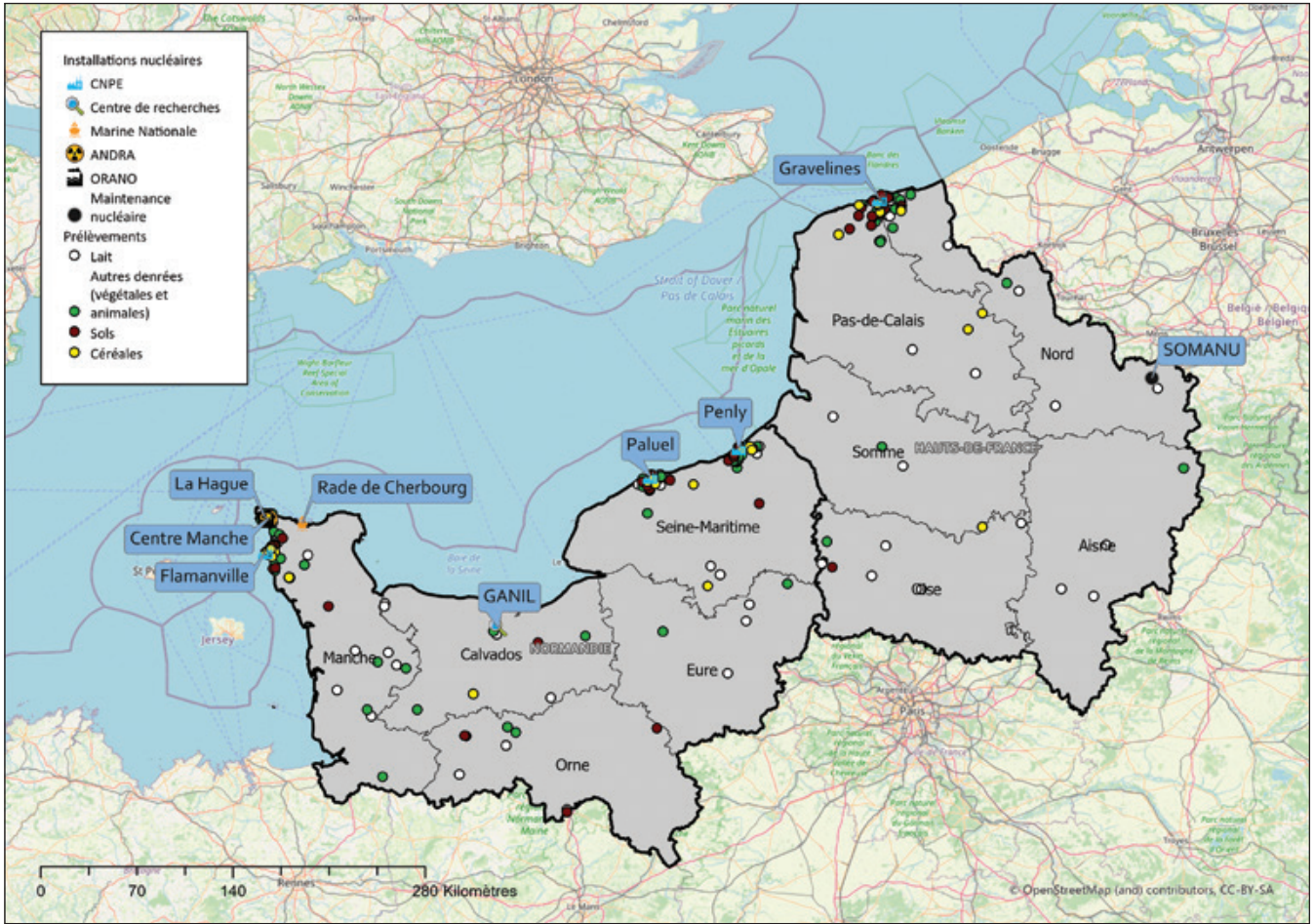


Figure 19 : Prélèvements existants par type de matrice sur le territoire du constat

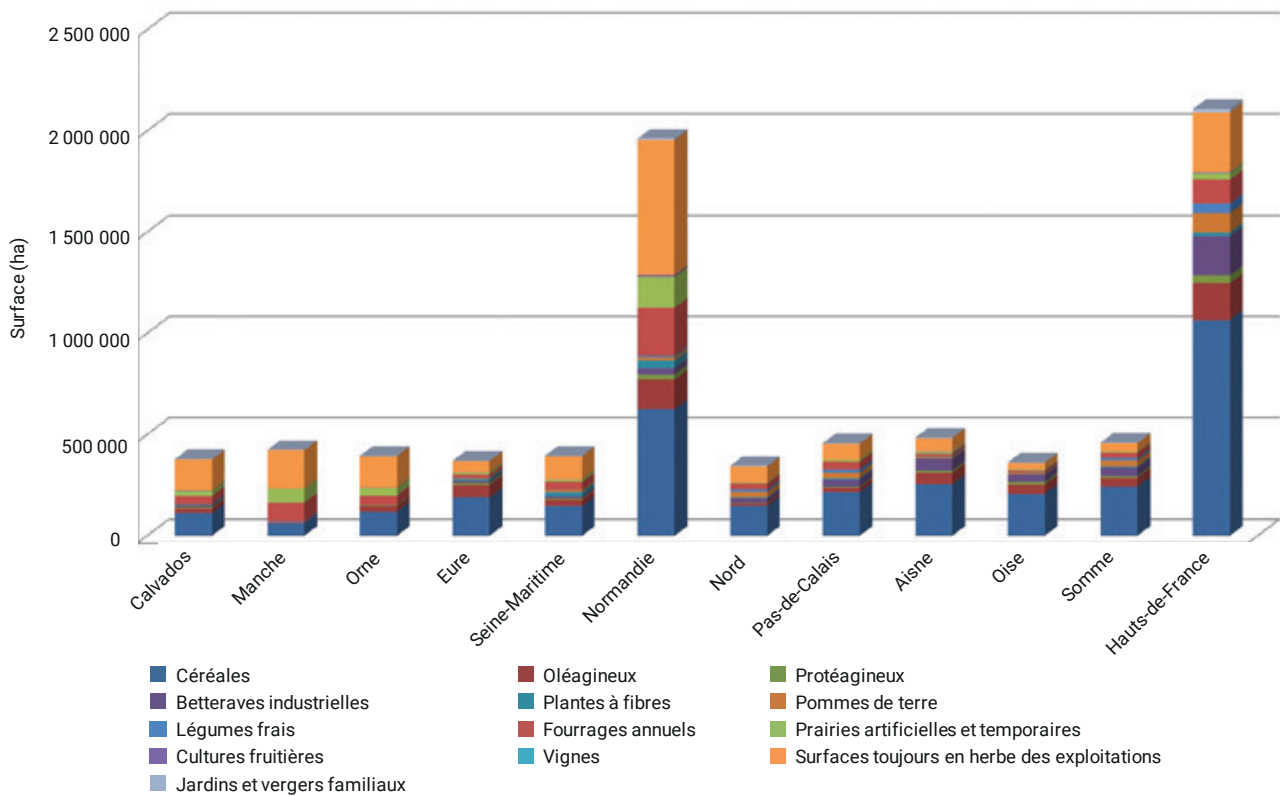


Figure 20 : Surfaces dédiées aux différentes productions agricoles sur le territoire du constat (données 2013)

## Stratégie de prélèvements et études réalisées

### Productions agricoles et denrées emblématiques du territoire

Comme évoqué précédemment, la définition du plan de prélèvement se fonde sur l'analyse des données issues de la statistique agricole et le critère retenu pour sélectionner une production représentative de chaque département pour l'analyser a été fixé à 3 % de la production française. Ainsi, l'objectif pour chaque denrée dont la production départementale excédait 3 % de la production française était de pouvoir prélever et analyser un échantillon à proximité de chaque installation nucléaire du département et un autre en zone éloignée. Le Tableau 12 présente le plan de prélèvement résultant de cette stratégie (le détail est donné en Annexe 1).

Comme indiqué précédemment, les constats radiologiques représentent également une opportunité pour l'IRSN d'effectuer des prélèvements et des mesures de denrées emblématiques du territoire. Pour cela, un produit bénéficiant d'une AOP (Appellation d'Origine Protégée), d'une AOC (Appellation d'origine contrôlée) ou d'une IGP (Indication géographique protégée) a été sélectionné par département, en essayant de prélever un échantillon à proximité et un échantillon à distance des installations nucléaires (si les limites géographiques de l'appellation le permettent). Cette proposition a conduit à la liste de prélèvements présentée dans le Tableau 13 :

Tableau 12 : Plan de prélèvements du volet productions agricoles représentatives de chaque département

Département	Zone proche	Zone éloignée	Total
Aisne	-	10	10
Nord	12	6	18
Oise	-	3	3
Pas-de-Calais	-	10	10
Somme	-	9	9
Calvados	5	5	10
Manche	27	9	36
Orne	-	1	1
Eure	-	5	5
Seine-Maritime	8	4	12
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>62</b>	<b>114</b>

Le plan de prélèvement prévoyait un total de 132 prélèvements à réaliser par les équipes de l'IRSN avec l'appui de la DGAL et de la DGCCRF en ce qui concerne les prélèvements de viande et de légumes. Les denrées emblématiques ont également été collectées au Marché d'intérêt national de Rungis (94), en s'appuyant sur les obligations en matière de traçabilité agroalimentaire, et lors de missions de terrain auprès de producteurs locaux réalisées par l'IRSN.

Tableau 13 : Liste des prélèvements AOP/AOC envisagés pour le constat Normandie et Hauts-de-France

Région	Département	AOP / AOC	À distance des installations	À proximité des installations
Hauts-de-France	Aisne	Maroilles	1	0
	Nord	Lingots du Nord	1	2
	Oise	Pommeau Calvados	1	0
	Pas-de-Calais	Volailles de Licques	1	0
	Somme	Prés-salés de la baie de Somme	1	0
Normandie	Calvados	Calvados Domfrontais	1	1
	Manche	Prés-salés de la baie du Mont-Saint-Michel	1	3
	Orne	Camembert	1	0
	Eure	Pommeau de Normandie	1	0
	Seine-Maritime	Neufchâtel	1	2
<b>TOTAL</b>			<b>10</b>	<b>8</b>

### « Cartographie du bruit de fond » en milieu terrestre

Afin de disposer de données de référence sur l'ensemble du territoire du constat, des prélèvements d'herbes, de sol et des mesures directes par spectrométrie gamma *in situ* ont été réalisés sur l'ensemble du territoire du constat à proximité et à distance des installations nucléaires (Figure 21).

La stratégie d'étude a conduit à définir un point en zone proche de chaque installation nucléaire et un point en zone éloignée pour chaque département en choisissant en général le chef-lieu de département afin de se rapprocher des grandes agglomérations. Pour chacun des points retenus, les prélèvements et les mesures suivantes ont été réalisés :

- un prélèvement d'herbe pour mesure par spectrométrie gamma bas niveau pour les points hors influence ;
- une mesure par spectrométrie gamma *in situ* ;
- deux prélèvements de carottes de sol :
  - pour mesure par spectrométrie gamma avec recherche des radionucléides naturels ;

- pour conservation après lyophilisation dans le but d'intégrer l'échantillothèque de l'IRSN, et permettre le cas échéant d'être utilisé dans le cadre d'une future étude ou pour réaliser d'autres mesures (spectrométrie alpha, strontium 90...).

### Prise en compte des aspects liés à la qualité des eaux souterraines

Lors des échanges avec le groupe de suivi, des questions ont émané des représentants locaux concernant l'impact des installations nucléaires sur la qualité des eaux souterraines. Celle-ci fait l'objet d'un suivi de la part des exploitants d'installations nucléaires dans le cadre de leur surveillance réglementaire. De son côté, contrairement aux autres compartiments de l'environnement, l'IRSN n'est pas en mesure de réaliser une surveillance des eaux souterraines indépendante de celle des exploitants, les piézomètres étant en général situés dans l'enceinte des sites nucléaires. L'IRSN analyse en revanche les données transmises par les exploitants au RNM et dans certains cas, lorsque la configuration du terrain le permet, par la réalisation de prélèvements sur des sources à proximité des sites nucléaires.

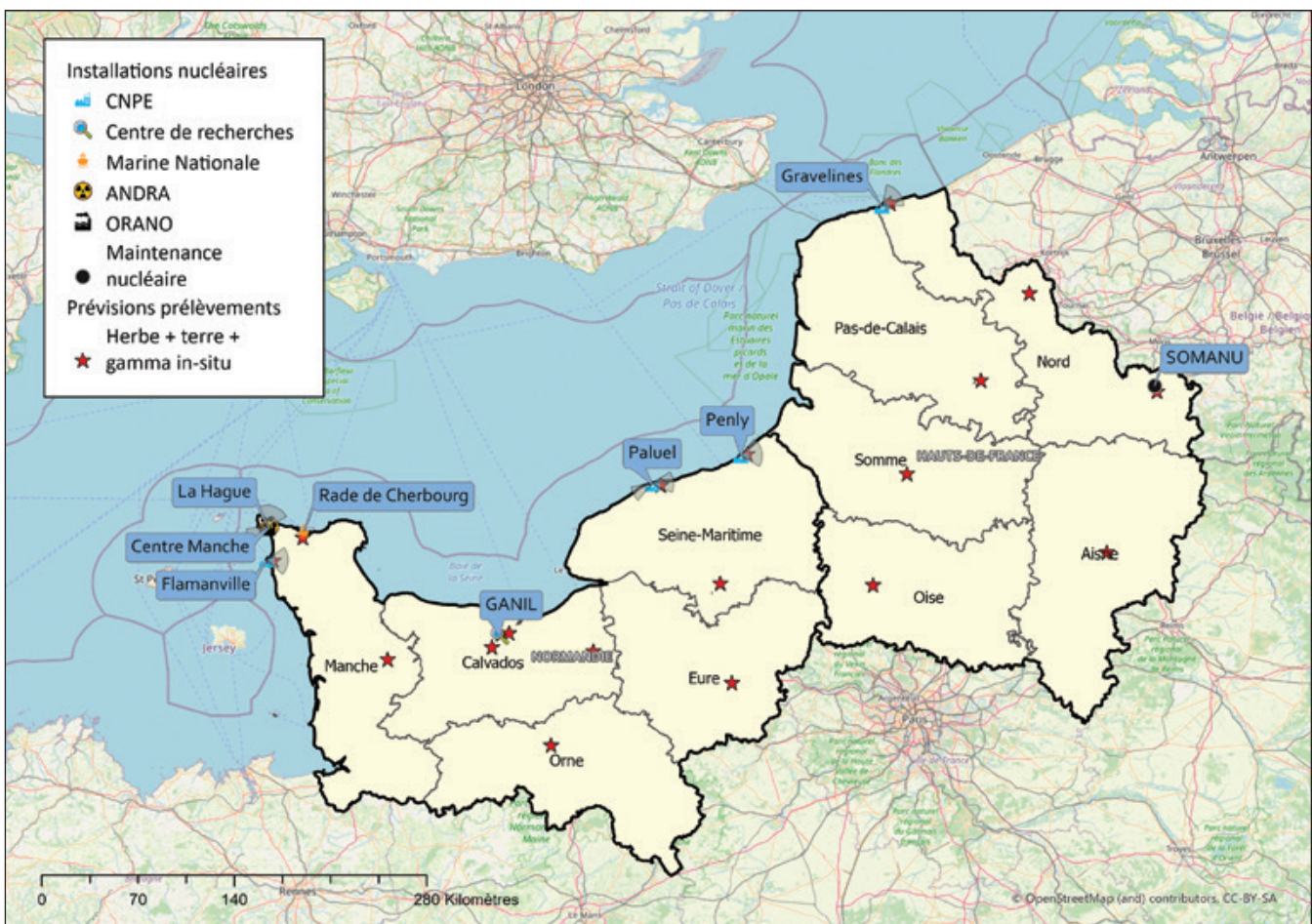


Figure 21 : Localisation des points de référence herbe, gamma *in-situ* et sol

Afin de répondre aux préoccupations des membres du groupe de suivi, l'IRSN a proposé dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France, de procéder à une exploitation des données de mesures transmises par les exploitants nucléaires au RNM et des résultats disponibles dans la base de données SISE-EAUX pour ce qui concerne les analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de l'eau de distribution.

### Caractérisation de l'environnement du GANIL

L'IRSN a également profité des travaux du constat pour organiser une campagne de prélèvements autour du GANIL à Caen afin de disposer de résultats de mesures (en particulier de tritium) avant la mise en service de la nouvelle boucle de l'accélérateur. Ce projet d'extension avait en effet conduit le GANIL à demander une modification de son autorisation de rejets gazeux à 6,5 GBq en limite annuelle pour le tritium (Tableau 6).

À l'occasion de cette campagne, des mesures par spectrométrie gamma *in situ* ont été réalisées dans l'environnement du GANIL ainsi que des prélèvements de végétaux terrestres (herbes et légumes) et de sol. En lien avec les radionucléides susceptibles d'être rejetés, des mesures de spectrométrie gamma ont été réalisées sur tous les prélèvements ainsi que des mesures de tritium libre et de tritium organiquement lié sur les échantillons d'herbes et de légumes.

## Synthèse des prélèvements et des mesures *in situ* réalisés

La complexité inhérente à la réalisation des prélèvements en milieu terrestre et les difficultés liées à la disponibilité des productions identifiées initialement, notamment à proximité des installations nucléaires, ont rendu la réalisation du plan de prélèvements difficile. Au total sur les 160 prélèvements prévus dans le cadre du volet terrestre du constat, seuls 75 prélèvements ont été réalisés par les équipes de l'IRSN, ainsi que 21 mesures par spectrométrie gamma *in situ* (Tableau 14). Pour pallier à cette difficulté, les campagnes de prélèvements ont porté sur des territoires qui n'étaient pas couverts par des prélèvements réalisées dans le cadre de la surveillance régulière ou sur des matrices pour lesquelles l'IRSN ne disposait pas de niveaux de référence.

Tous les prélèvements ont été mesurés en spectrométrie gamma après calcination à 400°C afin de diminuer au maximum les limites de détection. Des analyses complémentaires ont également été

**Tableau 14** : Liste des prélèvements réalisés dans le cadre du volet terrestre du constat

Nature de prélèvement	Espèce	Nombre de prélèvement
Animaux d'élevage et gibier	Cheval	3
	Volaille de Licques*	1
Boissons alcoolisées	Cidre*	5
Céréales	Blé	1
Produits laitiers	Camembert*	1
	Maroilles*	1
	Neufchâtel*	2
	Pont-L'Évêque*	1
Légumes	Betterave potagère	4
	Blette	1
	Chou-fleur	2
	Epinard	1
	Lingots du Nord*	1
	Poireau	1
	Pomme de Terre	11
Végétaux terrestres	Herbes	17
Sols	Sols non cultivés	22
<b>TOTAL</b>	<b>75</b>	

\* Prélèvements faisant l'objet d'un AOP ou d'une AOC.

réalisées sur les denrées et productions emblématiques pour déterminer les activités d'autres radionucléides :

- plutonium 238 et 239+240 et américium 241 par radiochimie sur 6 prélèvements en zone éloignée des INB dans la Manche, l'Orne, le Nord et le Pas-de-Calais (pommes de terre et chou-fleur) ;
- carbone 14 sur 2 prélèvements dans la Manche ;
- tritium libre et lié sur 22 prélèvements, notamment près du GANIL et dans tous les prélèvements d'herbe ;
- strontium 90 sur 10 prélèvements en zone éloignée des installations dans l'Orne, le Calvados, la Manche, l'Eure, la Seine-Maritime, l'Aisne, le Nord et le Pas-de-Calais.

En synthèse, la Figure 22 présente la localisation des prélèvements effectués spécifiquement pour ce constat dans le milieu

terrestre par rapport aux données disponibles avant le constat Normandie et Hauts-de-France.

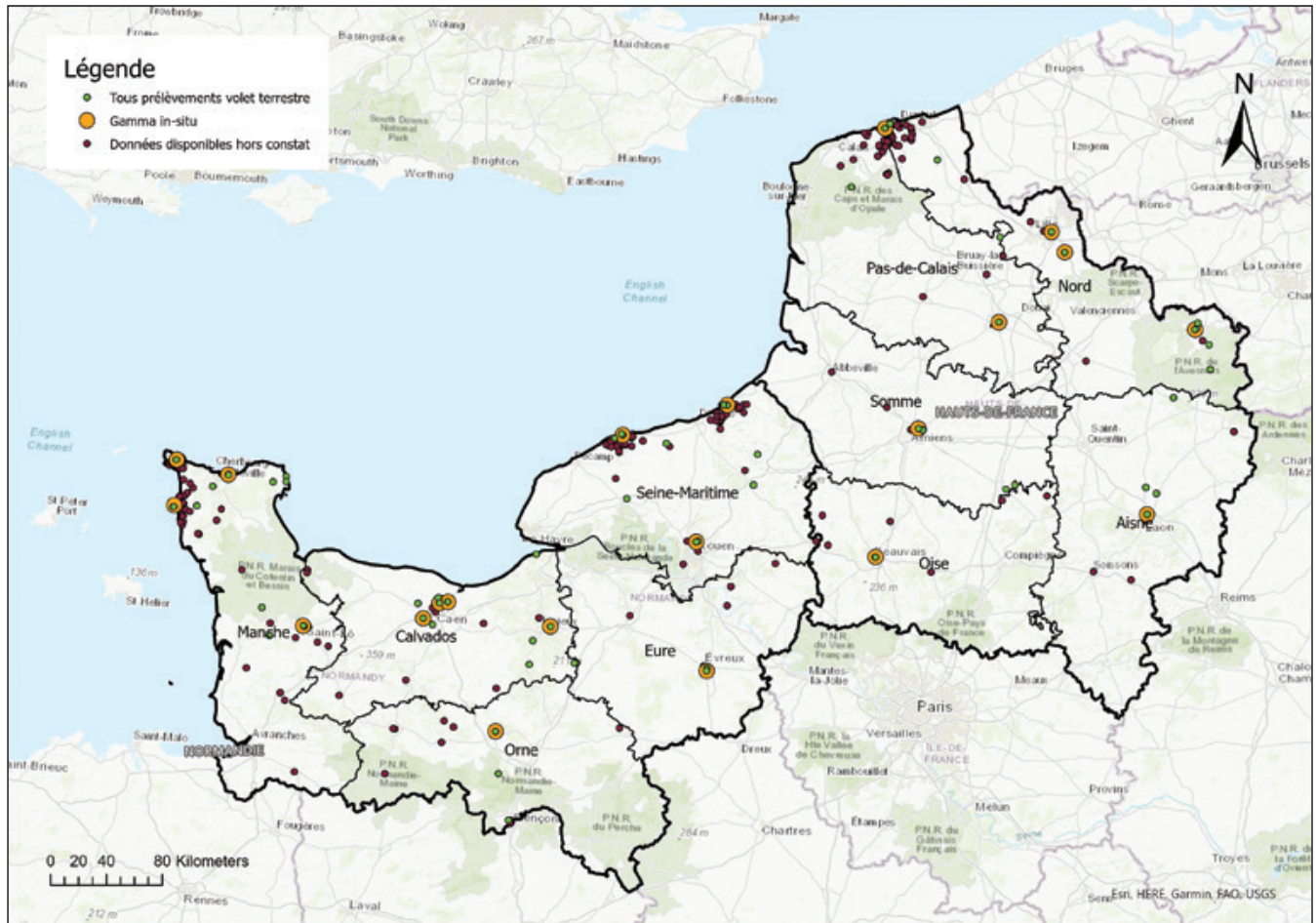


Figure 22 : Prélèvements réalisés dans le cadre du constat par rapport aux données disponibles auparavant

# AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR LE BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE

**U**n des objectifs assigné aux constats radiologiques est de contribuer à la connaissance du bruit de fond dans le but de disposer *in fine* d'un référentiel actualisé des niveaux de radioactivité dans les différentes composantes de l'environnement. Les plans d'échantillonnage du volet aquatique et du volet terrestre ont été élaborés autour de cet objectif et ont couvert l'ensemble du territoire du constat. Pour le volet atmosphérique, la stratégie d'échantillonnage s'est concentrée sur l'environnement de l'usine de la Hague et du CNPE Gravelines qui sont les installations nucléaires qui rejettent le plus de radionucléides sur le territoire du constat.

## 5 1 BRUIT DE FOND EN MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

Le travail d'analyse préalable a montré que l'essentiel des données disponibles sur le volet aquatique continental se concentrait sur les cours d'eau influencés ou potentiellement influencés par les rejets des installations nucléaires et sur quelques radionucléides susceptibles d'être rejetés par ces installations. Les données acquises dans le cadre du volet aquatique ont permis de compléter la connaissance des niveaux d'activité, en particulier ceux des cours d'eau situés hors influence des rejets des installations nucléaires ou des radionucléides peu ou pas mesurés dans le cadre de la surveillance régulière.

### - Les radionucléides naturels \_

En milieu aquatique continental, les radionucléides naturellement présents dans les différents compartiments sont d'origine cosmogénique ( $^3\text{H}$  et  $^{14}\text{C}$ ) ou tellurique ( $^{40}\text{K}$ , U et Th) et, quelle que soit la matrice observée, le potassium 40 est le radionucléide majeur, tant du point de vue des niveaux d'activité que de la fréquence de détection. Les activités mesurées dans les eaux de surface prélevées dans le cadre du constat varient cependant en fonction de la charge sédimentaire du cours d'eau (fraction particulaire) et de la nature géologique des terrains traversés. Cette relation entre les activités des radionucléides naturels d'origine tellurique et la nature des roches sous-jacentes peut également être influencée par les propriétés physico-chimiques du potassium et des éléments des chaînes de l'uranium et du thorium (notamment leur solubilité).

Parmi les données nouvellement acquises, de faibles activités en uranium, thorium et radium ont été mesurées dans les sédiments de la Divette, de la Flammenne, et de la Seine au port de Rouen (Tableau 15). Pour comparaison, les valeurs de référence dans les sédiments des grands fleuves français sont généralement comprises entre 9 et 62 Bq/kg sec pour l'uranium 238 et le radium 226, et entre 16 et 55 Bq/kg sec pour le thorium 232 [20] [21].



Prélèvements de sédiments au cône de Berthois dans l'Escaut (octobre 2015) © Rémi VERSCHAEVE/IRSN

Tableau 15 : Résultats d'analyse des radionucléides naturels dans les échantillons de sédiments dulçaquicoles

Bassins Versant	Rivières	Communes	Activités en Bq/kg sec						
			<sup>40</sup> K	<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	<sup>210</sup> Pb
Cotentin	Sée	Avranches	297 ± 39	nm	10 ± 4	nm	nm	16 ± 3	17 ± 4
Cotentin	Diélette	Tréauville	887 ± 109	nm	22 ± 3	nm	nm	58 ± 7	26 ± 4
Cotentin	Divette	Cherbourg-Octeville	487 ± 61	13 ± 1	11 ± 2	nm	nm	23 ± 3	17 ± 3
Basse-Normandie	Orne	Saint-André-sur-Orne	552 ± 70	nm	29 ± 11	nm	nm	42 ± 6	59 ± 10
Côtiers Hauts-Normands	Durdent	Paluel	113 ± 16	nm	11 ± 2	nm	nm	12 ± 2	13 ± 6
Côtiers Hauts-Normands	Arques	Martin-Eglise	263 ± 34	nm	15 ± 3	nm	nm	19 ± 3	21 ± 4
Côtiers Hauts-Normands	Yères	Touffreville-sur-Eu	317 ± 41	nm	27 ± 4	nm	nm	25 ± 4	36 ± 6
Versants mer du Nord	Sambre	Locquignol	488 ± 62	nm	40 ± 6	nm	nm	40 ± 6	43 ± 7
Versants mer du Nord	Flamenne	Douzies	151 ± 20	8,5 ± 0,9	13 ± 3	6,8 ± 1,7	9,3 ± 0,8	12 ± 2	15 ± 3
Versants mer du Nord	Deule	Santes	399 ± 52	nm	nm	nm	nm	23 ± 4	nm
Versants mer du Nord	Lys	Deulemont	418 ± 54	nm	18 ± 4	nm	nm	28 ± 5	37 ± 7
Versants mer du Nord	Scarpe	Athies	503 ± 64	nm	24 ± 4	nm	nm	35 ± 5	63 ± 12
Versants mer du Nord	Watergang du Sud	Calais	311 ± 39	nm	13 ± 3	nm	nm	33 ± 4	68 ± 10
Aisne	Aisne	Fontenoy	100 ± 15	nm	6 ± 2	nm	nm	5 ± 1	7 ± 2
Oise	Oise	Bailly	265 ± 36	nm	12 ± 4	nm	nm	19 ± 3	19 ± 5
Seine à l'aval de Paris et Risle	Eure	Lèves	329 ± 44	nm	25 ± 6	nm	nm	34 ± 5	193 ± 26
Seine à l'aval de Paris et Risle	Seine	Rouen	226 ± 29	5,7 ± 0,6	12 ± 3	6,4 ± 1,5	10 ± 1	20 ± 3	41 ± 6
Seine à l'aval de Paris et Risle	Risle	Nassandres	112 ± 17	11 ± 1	10 ± 4	5,7 ± 1,6	53 ± 4	39 ± 6	18 ± 4

nm : non mesuré

L'ensemble des résultats obtenus sur les radionucléides d'origine naturelle (<sup>40</sup>K et chaînes du <sup>232</sup>Th, de <sup>235</sup>U et de <sup>238</sup>U) ne met en évidence aucune activité supérieure au bruit de fond naturel.

Le cas particulier de la Risle à Nassandres sera traité dans le chapitre 6.2 relatifs aux activités générant des déchets à radioactivité naturelle renforcée.





Tableau 16 : Résultats en tritium lié mesuré sur les végétaux aquatiques et les poissons

Matrices	Stations	Espèces	Activité en TOL (Bq/L ec)	Activité en TOL (Bq/kg frais)
Végétaux	La Divette à Cherbourg-Octeville	Hydrophyte	< 0,7	< 0,023
	La Dielette à Tréauville	Hydrophyte	1,1 ± 0,7	0,025 ± 0,016
	La Durdent à Paluel	Hydrophyte	0,7 ± 0,6	0,083 ± 0,065
	L'Yères à Touffreville-sur-Eu	Hydrophyte	< 0,9	< 0,039
	La Somme à Dreuil-les-Amiens	Hydrophyte	3,5 ± 0,8	0,172 ± 0,046
	La Flamenne à Maubeuge	Algues filamenteuses	3,6 ± 0,3	0,275 ± 0,064
	La Lys à Deulemont	Hydrophyte	1,3 ± 0,7	0,066 ± 0,044
Poissons	La Saire à Brillevast	Chevesne	1,7 ± 0,8	0,220 ± 0,110
	La Seine à Poses	Chevesne	6,6 ± 0,9	1,103 ± 0,161
	La Durdent à Paluel	Truite de mer	4,8 ± 0,9	1,221 ± 0,244
	La Scie à Heugleville-sur-Scie	Truite fario	2,1 ± 0,8	0,324 ± 0,116

Concernant les végétaux aquatiques, la plupart des échantillons, toutes espèces confondues, présentent des valeurs significatives en tritium organiquement lié (TOL) comprises entre 0,7 et 3,6 Bq/L d'eau de combustion (0,025 et 0,27 Bq/kg frais), en cohérence avec les activités mesurées sur la période du constat (2015-2017) dans les cours d'eau hors influence d'installations nucléaires (Tableau 16).

Pour les poissons, le tritium lié à la matière organique a été analysé sur quatre échantillons prélevés grâce à la collaboration avec l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) dans :

- la Saire, petit fleuve côtier du nord-est Cotentin situé à 30 km à l'est de la Hague, en dehors de la zone d'influence de l'installation ;
- la Seine à Poses, qui draine les eaux de l'amont du fleuve (influence prépondérante du CNPE de Nogent), en s'affranchissant cependant de l'influence de la marée qui remonte dans l'estuaire ;
- la Durdent, fleuve côtier de Haute-Normandie s'écoulant à 2 km du CNPE de Paluel, soumis à l'influence marine et potentiellement aux retombées des rejets atmosphériques de l'installation (voir ci-dessus) ;

- la Scie, fleuve côtier de Haute-Normandie s'écoulant à l'ouest de Dieppe, à 35 km du CNPE de Paluel et 20 km du CNPE de Penly, et donc en dehors de la zone d'influence des deux installations.

Les mesures dans les poissons du milieu dulçaquicole de ces quatre fleuves témoignent de leur localisation : les teneurs dans les chevesnes de la Saire et les truites fario de la Scie sont comparables à celles mesurables dans l'environnement hors influence des installations (comprises entre 1,7 et 2,1 Bq/L d'eau de combustion soit 0,22 et 0,32 Bq/kg frais). Les chevesnes pêchés dans la Seine à Poses témoignent d'un marquage dû à l'influence du CNPE de Nogent sur le milieu aquatique (6,6 ± 0,9 Bq/L d'eau de combustion soit 1,10 ± 0,16 Bq/kg frais). Les truites de mer de la Durdent, qui passent une partie de leur cycle de croissance en mer avant de remonter le fleuve, présentent un léger marquage (4,8 ± 0,9 Bq/L d'eau de combustion soit 1,22 ± 0,24 Bq/kg frais), sans pour autant que celui-ci puisse être attribué aux rejets du CNPE de Paluel (influence atmosphérique et marine) ou à ceux de l'usine de retraitement de la Hague (influence marine).

## Le suivi du carbone 14

L'exploitation des données antérieures relatives au milieu aquatique continental s'appuie sur peu de mesures de carbone 14 dans les végétaux et la faune aquatiques. En effet, ce radionucléide est davantage suivi en milieu marin et dans les compartiments atmosphérique et terrestre. Les quelques données disponibles tendent toutefois à montrer que l'activité de carbone 14 par unité de masse de carbone dans les cours d'eau et les lacs est toujours inférieure à celle observée dans les autres composantes de l'environnement, en raison d'une dilution plus ou moins importante par les carbonates présents dans le milieu.

Dans le cadre du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France, l'IRSN a effectué quelques analyses sur les végétaux aquatiques et les poissons. Le choix des zones retenues s'est arrêté sur des rivières proches des installations nucléaires et dont l'échantillonnage était techniquement possible (Tableau 17).

Ces résultats ne mettent pas en évidence d'influence des activités liées aux installations nucléaires sur les cours d'eau investigués : les activités mesurées en carbone 14 sont proches des valeurs communément constatées en milieu aquatique [1]. On peut toutefois relever que l'activité en carbone 14 mesurée sur l'échantillon de truites de mer pêché dans la Durdent à Paluel est légèrement plus élevée que les activités mesurées sur les autres poissons prélevés dans le cadre du constat, ce qui confirme l'influence potentielle des activités mesurées en Manche sur cette espèce qui y passe une partie de son cycle de vie.

**Tableau 17** : Activité mesurée en carbone 14 dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France

Matrices	Stations	Espèces	Résultats (Bq/kg de C)
Végétaux	La Divette à Cherbourg-Octeville	Hydrophyte	224,8 ± 2,6
	La Dielette à Treauville	Hydrophyte	234,1 ± 2,7
	La Durdent à Paluel	Hydrophyte	141,2 ± 1,8
	L'Yères à Touffreville-sur-Eu	Hydrophyte	175,4 ± 2,2
	La Flamenne à Maubeuge	Algues filamenteuses	170,7 ± 2,2
Poissons (chair)	La Saire à Brillevast	Chevesne	229,7 ± 2,7
	La Seine à Poses	Chevesne	225,2 ± 2,7
	La Durdent à Paluel	Truite de mer	291,9 ± 3,3
	La Scie à Heugleville-sur-Scie	Truite fario	161 ± 12

## Bruit de fond en césium 137

Les campagnes de prélèvements menées pour cette étude se sont focalisées sur les cours d'eau peu suivis dans le cadre de la surveillance régulière et ont couvert l'ensemble des matrices (eau, sédiments, végétaux aquatiques et poissons). L'activité volumique du césium 137 dans les eaux douces continentales étant très faible, elle nécessite des échantillons de très grand volume (plusieurs mètres-cubes) pour mesurer le césium dans la fraction dissoute. Les mesures de prélèvements de taille plus réduite effectués dans le cadre de ce constat ont donné des résultats le plus souvent inférieurs à 0,05 Bq/L et quelquefois inférieurs à 0,02 Bq/L sur les échantillons d'eau brute mesurés par spectrométrie gamma (Figure 24).

Dans les plantes aquatiques, les teneurs en césium n'ont pu être quantifiées que dans 6 des 11 échantillons prélevés. Avec des valeurs comprises entre 0,03 et 0,2 Bq/kg frais, elles se situent dans la gamme basse des valeurs mesurées en France ; les activités massiques des 5 autres échantillons étaient trop faibles pour être quantifiées car inférieures à des seuils de décisions

compris entre 0,01 et 0,04 Bq/kg frais. Il en est de même des activités massiques de césium 137 dans les échantillons de poissons : elles n'ont pu être quantifiées entre 0,04 et 0,17 Bq/kg frais que dans seulement 5 des 12 échantillons analysés (Tableau 18). Enfin, dans les échantillons de sédiments, les activités massiques de césium 137 sont comprises entre 0,6 et 4,7 Bq/kg sec (Figure 24). En comparaison, les mesures effectuées dans le cadre du constat radiologique rémanence publié par l'IRSN en 2015 (dans les zones du territoire où les dépôts de l'accident de Tchernobyl ont été les plus importants) présentent des valeurs comprises entre 3,9 et 14 Bq/kg sec dans les sédiments des fleuves de l'Est de la Corse, et de 490 à 2310 Bq/kg sec dans les sédiments des lacs d'altitude du Mercantour [23]. Les niveaux aujourd'hui observés en milieu aquatique continental confirment donc les faibles retombées de l'accident de Tchernobyl sur le quart Nord-Ouest de la France.

D'une période radioactive relativement courte (2,2 ans), le césium 134 issu des retombées de l'accident de Tchernobyl n'est plus, de nos jours, détectable dans l'environnement compte tenu de sa décroissance radioactive.

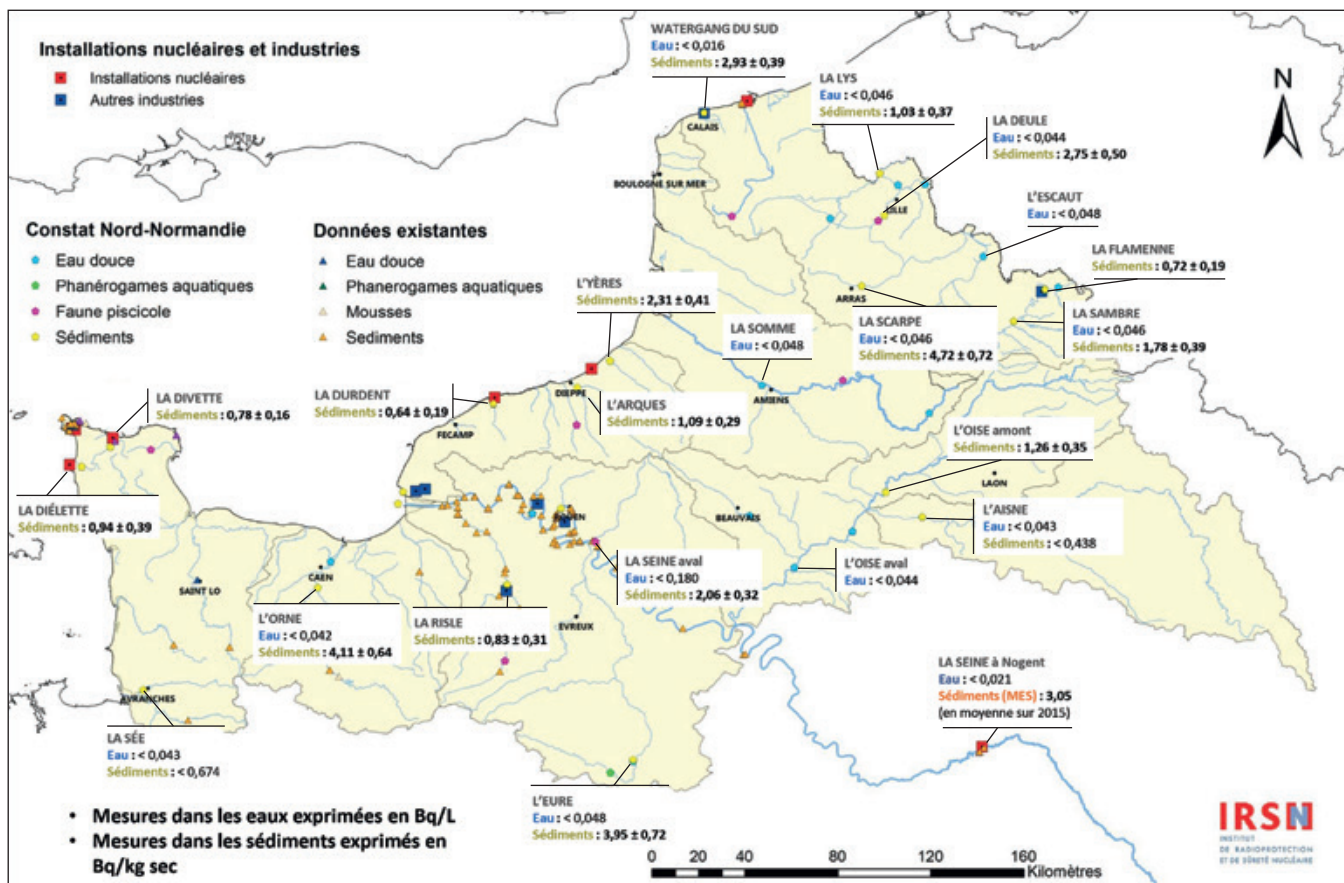


Figure 24 : Activité en césium 137 dans les eaux brutes (Bq/L) et les sédiments aquatiques (Bq/kg sec) prélevés en 2015 dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France

**Tableau 18** : Activité massique en césium 137 dans les poissons prélevés par l'ONEMA et la Fédération de pêche de l'Eure à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France

Date de prélèvement	Cours d'eau	Site de prélèvement	Espèce	<sup>137</sup> Cs (Bq/kg frais)
21/09/2019	La Saire	Brillevast	<i>Squalius cephalus</i> (chevesne)	0,09 ± 0,02
29/09/2015	La Douve	Picauville	<i>Rutilus rutilus</i> , <i>Perca Fluviatilis</i> , <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (gardon, perche, rotengle)	< 0,05
29/09/2015	La Douve	Picauville	<i>Blicca bjoerkna</i> (brème)	0,17 ± 0,07
03/06/2015	L'Eure	Lèves	<i>Squalius cephalus</i> (chevesne)	< 0,1
05/10/2015	La Seine	Poses	<i>Squalius cephalus</i> (chevesne)	< 0,03
20/08/2015	La Risle	Ambenay	<i>Squalius cephalus</i> (chevesne)	0,07 ± 0,02
20/08/2015	La Risle	Ambenay	<i>Abramis brama</i> (brème commune)	< 0,07
27/08/2015	La Durdent	Paluel	<i>Salmo trutta trutta</i> (truite commune)	0,15 ± 0,05
06/10/2015	La Scie	Heugleville-sur-Scie	<i>Salmo trutta fario</i> (truite fario)	< 0,02
23/07/2015	La Somme	Bruay-sur-Somme	<i>Squalius cephalus</i> , <i>Rutilus rutilus</i> , <i>Perca Fluviatilis</i> (chevesne, gardon, perche)	< 0,05
05/10/2015	L'Aa	Verchocq	<i>Salmo trutta fario</i> (truite fario)	< 0,04
20/07/2015	La Deule (canal)	Don	<i>Rutilus rutilus</i> , <i>Perca Fluviatilis</i> (gardon, perche)	0,04 ± 0,02

## Synthèse sur le bruit de fond en milieu aquatique continental

Les mesures réalisées dans le cadre du volet aquatique continental du constat n'ont mis en évidence aucune particularité vis-à-vis des radionucléides naturels (<sup>40</sup>K et chaînes du <sup>232</sup>Th, de <sup>235</sup>U et de <sup>238</sup>U). Pour le tritium et le carbone 14, les résultats obtenus ont permis de compléter la connaissance sur des cours d'eau jusqu'à présent peu ou pas échantillonnés et ont confirmé des niveaux d'activité qui relèvent du bruit de fond radiologique hérité des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Il en est de même pour le césium 137 rémanent de ces retombées et de celles de l'accident de Tchernobyl, dont les activités se situent dans la gamme des valeurs les plus basses mesurées en France métropolitaine. Ce dernier point confirme que ces cours d'eau drainent un territoire assez peu touché par les retombées de cet accident.

## 5 2 BRUIT DE FOND EN MILIEU AQUATIQUE MARIN

La connaissance des niveaux de radioactivité du milieu marin, acquise dans le cadre de la surveillance régulière, se limite aux stations réparties sur le littoral entre le Nord de la Bretagne et la frontière avec la Belgique. Les campagnes de prélèvement menées dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France ont permis d'acquérir des données complémentaires sur des lieux peu ou pas étudiés et de réaliser, grâce au partenariat avec l'IFREMER, des mesures sur des échantillons prélevés à distance des côtes de la Manche et de la mer du Nord.

## Les radionucléides naturels

En milieu marin, les radionucléides naturels proviennent essentiellement du drainage des sols continentaux et du dégazage du radon. Afin d'acquérir des données récentes, des mesures systématiques par spectrométrie gamma des descendants des chaînes de l'uranium et du thorium ont été réalisées sur l'ensemble des échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du constat (Figure 26).

Les activités des différents radionucléides naturels ( $^{40}\text{K}$ , U, Th) mesurées sur les sédiments prélevés en Manche et en mer du Nord varient assez peu et les activités en thorium 232 et uranium 238 sont proches, ce qui est une caractéristique des sols et des sédiments français (Figure 25). On peut également relever sur cette figure que les activités en uranium 234 et en uranium 238 sont à l'équilibre, témoin de l'absence de perturbations dues aux activités humaines et du caractère naturel de ces sédiments. Les activités en uranium et en thorium ayant été mesurées en spectrométrie alpha, les rapports de masse  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  n'ont pas été directement déterminés mais, sur la base des activités en uranium 235 et uranium 238 mesurées, il est possible d'estimer un rapport isotopique proche de 0,72 %, caractéristique de l'uranium naturel.

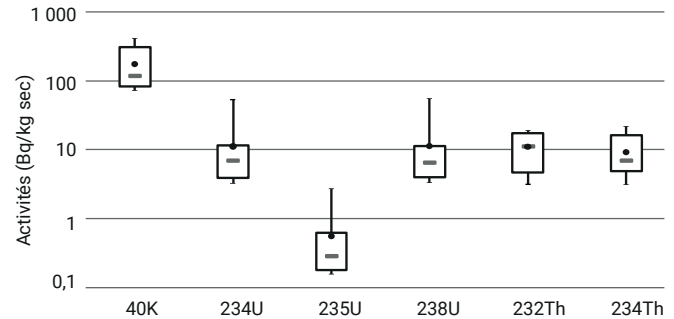


Figure 25 : Synthèse des activités mesurées sur les principaux radionucléides naturels (K, U, Th) en milieu marin<sup>(9)</sup>

Sur la Figure 26, on peut noter que sur l'ensemble des prélèvements de sédiments réalisés, les échantillons les plus marqués en uranium 234 et 235 sont ceux réalisés en baie de Somme et un de ceux réalisés dans l'estuaire de Seine pour le thorium 234 confirmant ainsi l'apport par les grands fleuves. Les sédiments prélevés sur les plages présentent également une activité naturelle généralement plus élevée que ceux prélevés plus au large. Ceci s'explique principalement par la différence de granulométrie entre ces sédiments (les particules fines ayant d'une manière générale une plus forte propension à fixer les radionucléides).

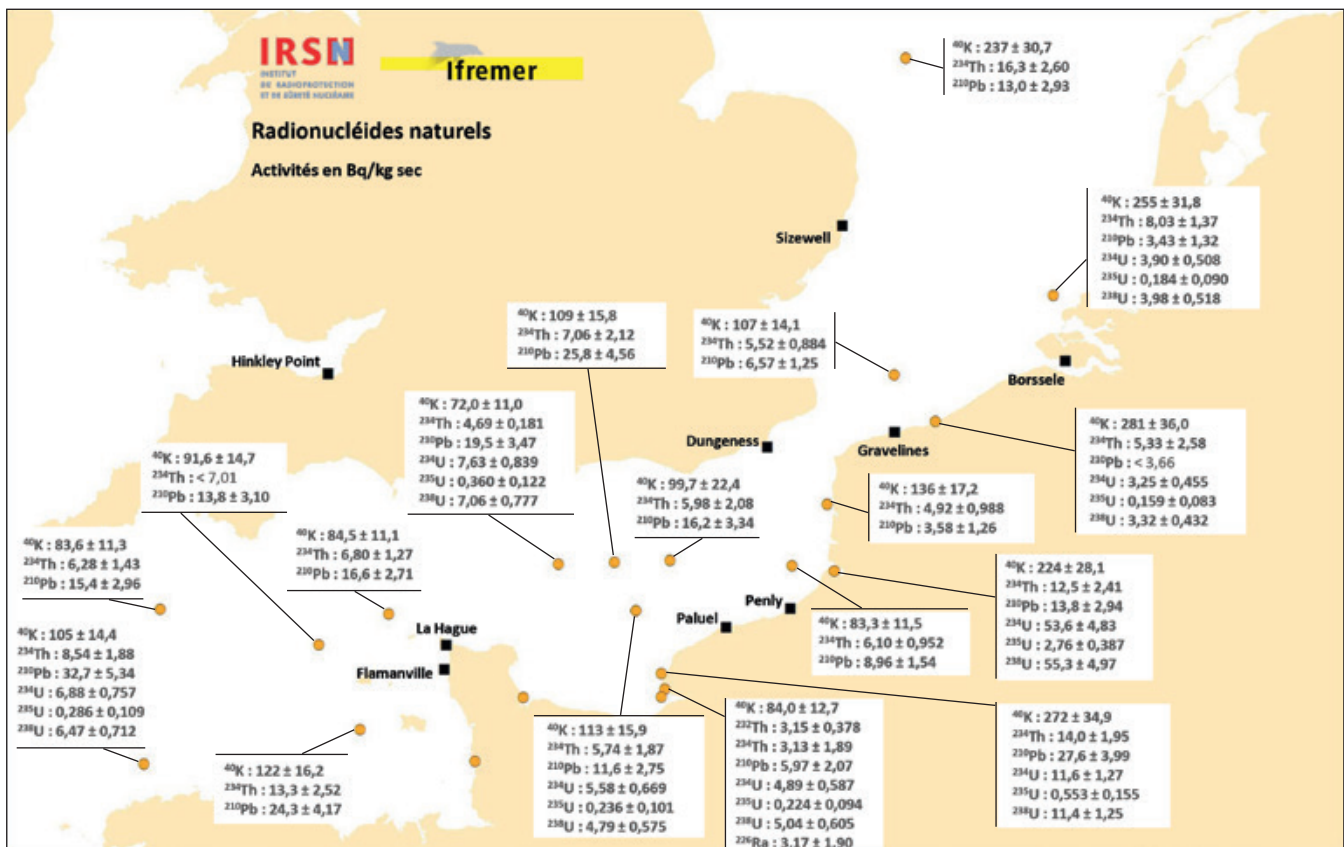


Figure 26 : Radioactivité naturelle des sédiments de la Manche et de la mer du Nord prélevés dans le cadre du constat

<sup>9</sup> Valeurs minimum et maximum, moyenne (rond plein), médiane (barre) et les quantiles 90 % et 10 %.

Les campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre du volet marin ont également été l'occasion de compléter les données disponibles sur les activités en polonium 210 [24]. Ce radionucléide naturel de la chaîne de l'uranium 238 est très insoluble dans l'eau de mer. Les activités les plus élevées sont mesurées dans les denrées marines, en raison de la forte assimilation de cet élément par le plancton. C'est le cas particulièrement des coquillages, des crustacés et des petits poissons (sardines, harengs, anchois) qui s'en nourrissent. Ce radionucléide émetteur alpha est un contributeur important à la dose des consommateurs de poissons ou de fruits de mer. Les moules peuvent ainsi contenir de 10 à 120 Bq/kg frais de polonium 210.

Des analyses de polonium 210 ont été réalisées sur différents échantillons issus des campagnes de pêche en mer et sur la côte. On retrouve sur la Figure 28 la propension plus importante des mollusques et des crustacés à concentrer le polonium 210. Les activités mesurées vont de 0,2 Bq/kg frais pour les poissons pêchés au large à 25,6 Bq/kg frais pour les crevettes pêchées dans la baie du Mont Saint-Michel et 22 Bq/kg frais pour les patelles prélevées en baie de Somme.

Ces activités sont comparables aux activités en polonium 210 mesurées dans les produits de la mer dans le cadre d'études similaires réalisées par l'IRSN, qui montrent que les activités mesurées vont en moyenne de moins de 2 Bq/kg frais pour les poissons à plus de 30 Bq/kg frais pour les coquillages [24].

## Activité en tritium en Manche et en mer du Nord

En Manche et en mer du Nord, l'influence des rejets liquides de tritium des CNPE (Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines, soit 222 TBq en 2017) est masquée par les rejets liquides de l'usine de retraitement Orano de la Hague (11 900 TBq en 2017). À cela s'ajoute la part provenant de la dispersion des rejets liquides de l'usine de retraitement de Sellafield en Grande-Bretagne et, dans une moindre mesure, des retombées des rejets atmosphériques lors des précipitations.

Dans le cadre de sa surveillance, Orano réalise près de 400 analyses de tritium chaque année sur des échantillons d'eau de mer prélevés sur la côte et au large de l'usine de la Hague. En parallèle, l'IRSN mesure régulièrement le tritium dans l'eau de mer au niveau du Cotentin et le long du littoral entre Roscoff et Gravelines, où l'influence des rejets de la Hague est encore visible [26]. Les activités en tritium à la station de Goury, proche du point de rejet de l'usine de retraitement de la Hague sont généralement comprises entre 5 et 20 Bq/L. Elles peuvent cependant, de façon sporadique, dépasser des valeurs de 100 Bq/L en fonction du mouvement des masses d'eau et du délai entre le moment du rejet et celui du prélèvement. Hors influence des installations nucléaires, le bruit de fond du tritium dans l'eau de mer est de l'ordre de 0,1 à 0,2 Bq/L [27]. Par ailleurs, en Manche, l'analyse

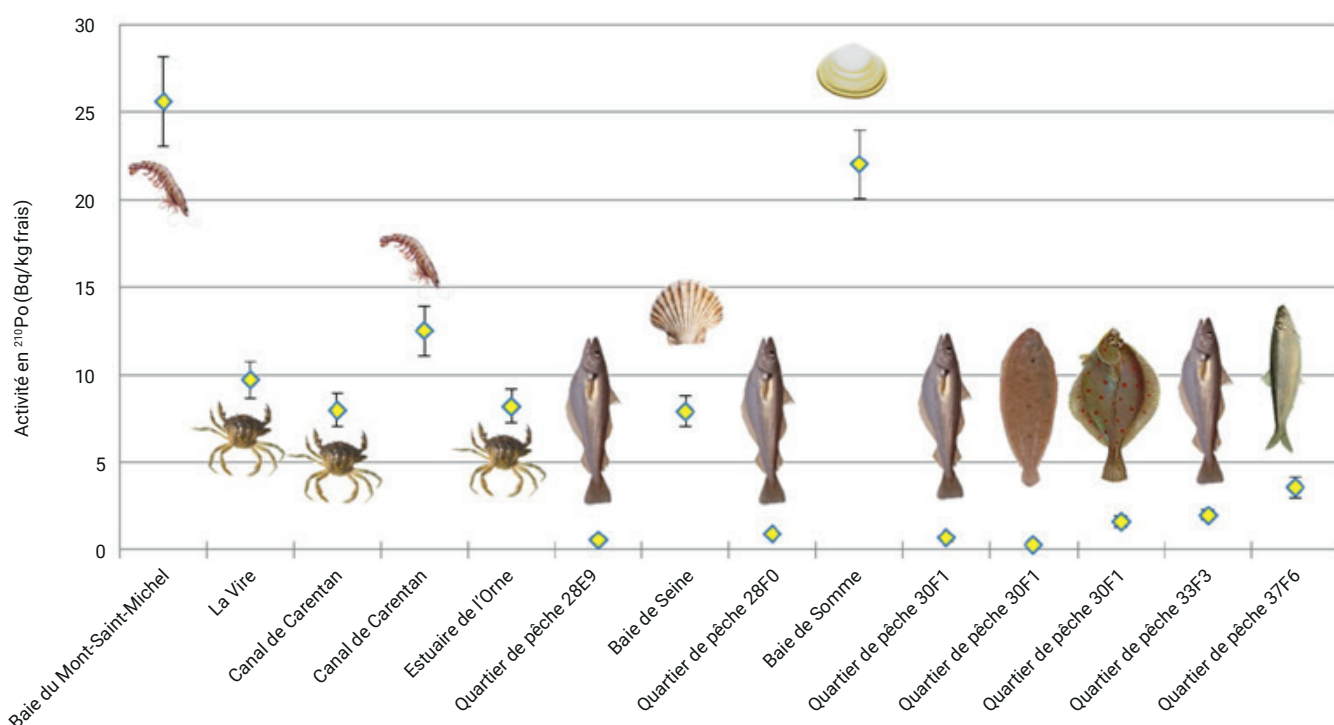


Figure 27 : Activités en polonium 210 dans les mollusques, crustacés et poissons prélevés à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France





Figure 29 : Activité en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés en mer

Sur le volet marin, la collaboration avec l'IFREMER a permis d'échantillonner l'ensemble du chenal de la Manche ainsi que la partie sud de la mer du Nord (Figure 29). Les résultats des mesures de TOL sur les poissons sont assez homogènes sur l'ensemble de la zone et, en dehors des prélèvements réalisés au niveau de la pointe de la Bretagne ou en mer du Nord où les niveaux sont plus bas (0,6 ± 0,1 Bq/L d'eau de combustion), sont compris entre 2,4 et

4,3 Bq/L d'eau de combustion. Par ailleurs, les données nouvellement acquises sur les céphalopodes (encornets) ne font pas apparaître de sensibilité particulière de ces organismes vis-à-vis du tritium, les activités étant sensiblement les mêmes que dans les poissons et comprises entre 2,0 et 5,1 Bq/L d'eau de combustion pour le prélèvement réalisé au large de Barfleur.



Le Thalassa, navire océanographique de l'IFREMER au port de Cherbourg (septembre 2014) © Fabrice LEPRIEUR/IRSN



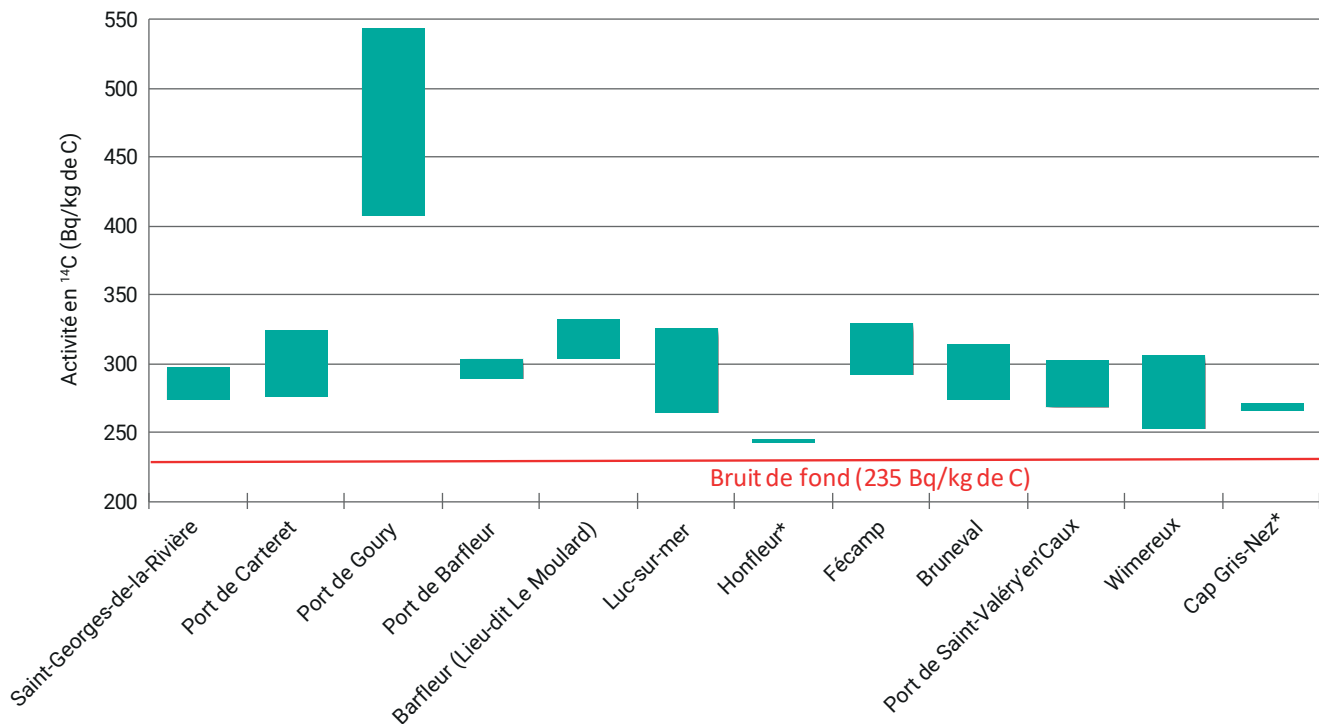
## Le suivi du carbone 14 dans le milieu marin

Comme pour le tritium, l'analyse des données disponibles en carbone 14 montre une influence assez marquée en Manche et en mer du Nord, en particulier à proximité de l'usine de la Hague (port de Goury) qui est très bien illustrée par les activités mesurées dans les algues (Figure 30). Celles-ci varient en effet entre 250 et 330 Bq/kg de carbone pour la plupart des stations et peuvent dépasser les 500 Bq/kg de carbone au niveau du port de Goury. À titre de comparaison, l'activité en carbone 14 mesurée sur les algues prélevées en Atlantique sur la période du constat (2015-2018) était comprise entre 231 et 235 Bq/kg de carbone.

L'influence des rejets des installations nucléaires se retrouve sur l'ensemble des stations y compris en mer du Nord. Le cas de la station d'Honfleur est particulier car le point de prélèvement est

situé dans l'estuaire de la Seine. Les différences d'activités observées sur ce point pourraient ainsi être liées aux apports d'eau douce moins marqués en carbone 14.

Dans les prélèvements réalisés à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France, les activités les plus importantes dans la faune ont été mesurées dans les crabes pêchés au niveau de l'embouchure de la Vire (Carentan) ( $331,4 \pm 3,7$  Bq/kg de carbone) et dans les coquilles Saint-Jacques pêchées en baie de Seine ( $346,6 \pm 4,4$  Bq/kg de carbone). Si on les compare au bruit de fond en carbone 14 qui était de l'ordre de 235 Bq/kg de carbone sur la période du constat, les niveaux d'activité mesurés dans le cadre du constat restent relativement homogènes sur l'ensemble des prélèvements et l'influence des rejets de la Hague reste visible jusqu'en baie de Somme ( $287,3 \pm 33$  Bq/kg de carbone sur le prélèvement de patelle) (Figure 31).



**Figure 30** : Gamme d'activité en carbone 14 dans les algues brunes observée sur la période 2000-2014 par l'IRSN (les algues brunes prélevées sont de l'espèce *Fucus serratus*, sauf pour les sites marqués d'un (\*) où il s'agit de *Fucus vésiculeux*)

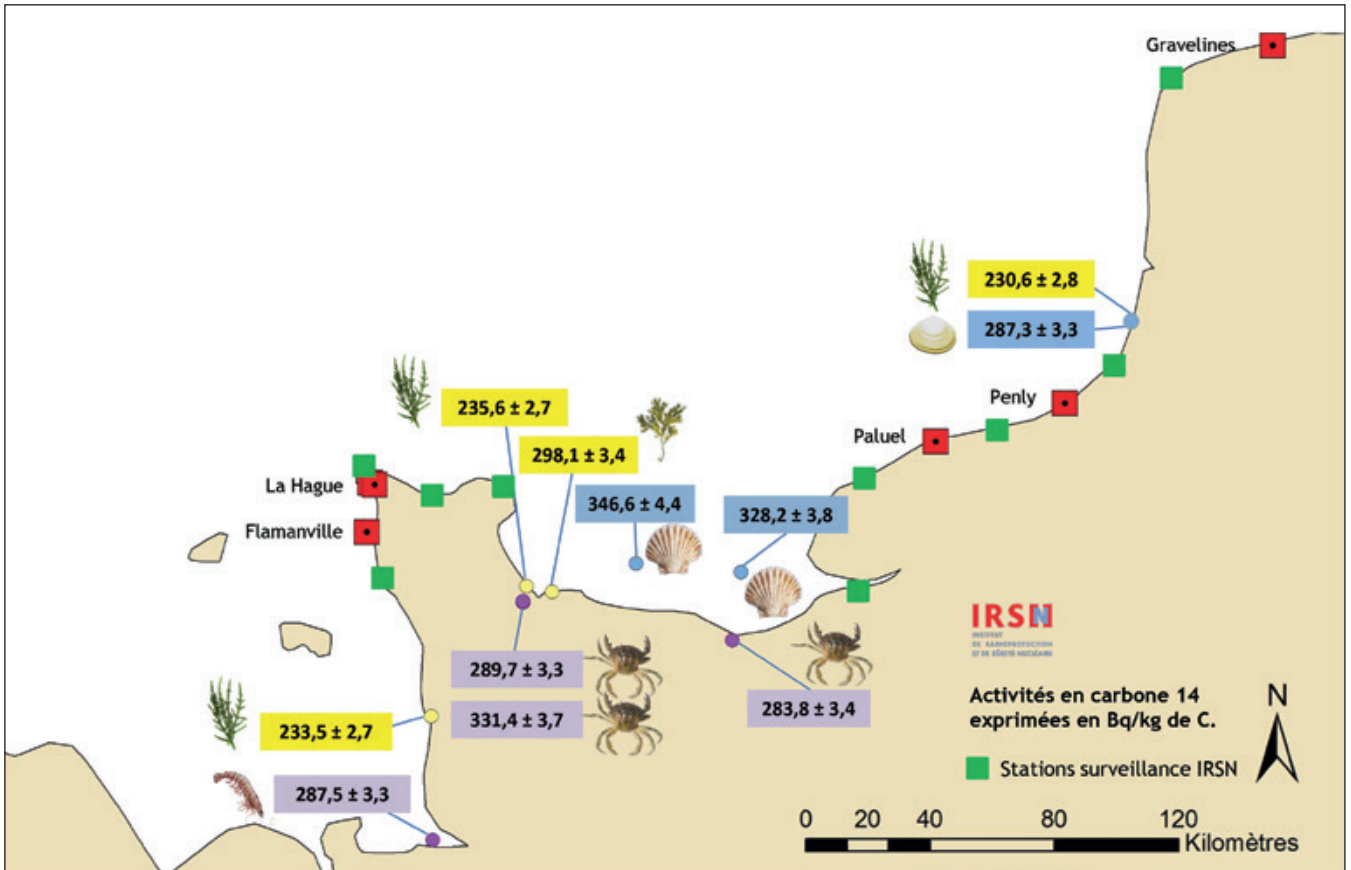


Figure 31 : Activités en carbone 14 dans les échantillons prélevés sur le littoral



Préparation de mollusques (scrobiculaires) dans les laboratoires de l'IRSN (juin 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN

À noter que dans le cas des prélèvements de salicornes, l'activité spécifique mesurée en carbone 14 est plus faible que pour les autres matrices car ces organismes halophytes poussent en bord de mer et ne sont influencés que par les embruns. Ils captent par ailleurs une partie du carbone de l'atmosphère, contrairement aux algues qui restent immergées à marée basse.

Une cartographie des niveaux en carbone 14 mesurés sur les poissons et les céphalopodes rencontrés en Manche et en mer du Nord a été réalisée à l'occasion du constat (Figure 32). Au vu des données acquises, on constate que les prélèvements situés autour de la presqu'île du Cotentin présentent quasiment tous des activités spécifiques supérieures à 300 Bq/kg de carbone bien qu'ils aient été prélevés au large des côtes, ce qui les distingue des autres prélèvements compris entre  $242,6 \pm 2,8$  Bq/kg de carbone pour le prélèvement réalisé au large des côtes bretonnes et  $295,1 \pm 3,3$  Bq/kg de carbone pour le prélèvement au niveau de Boulogne-sur-Mer. Ainsi, tous les prélèvements réalisés en Manche présentent des activités spécifiques supérieures à 250 Bq/kg de carbone hormis celui réalisé le plus à l'ouest ( $242,6 \pm 2,8$  Bq/kg de carbone), plus proche du bruit de fond, que l'on peut mesurer sur des échantillons prélevés sur la côte Atlantique ou en Méditerranée hors influence des rejets d'une installation nucléaire.

Par ailleurs, la variabilité des mesures acquises sur les différentes stations est en partie attribuable aux différences entre les espèces (en fonction de leur mode de vie et de leur alimentation), à leur âge et à leur mobilité. À noter qu'un prélèvement réalisé en mer du Nord, au large des Pays-Bas, présente une activité spécifique du même ordre de grandeur que celle mesurée au niveau du Cotentin ( $302,7 \pm 3,4$  Bq/kg de carbone).

## Les produits de fission et d'activation

Malgré une forte capacité de dilution du milieu, la liste des radionucléides artificiels potentiellement détectables dans les différents compartiments du milieu marin est, compte-tenu des activités rejetées en mer notamment par l'usine de la Hague, plus importante qu'en milieu aquatique continental (césium 137, cobalt 60, iode 129, isotopes du plutonium).

### Le césium 137

En milieu marin, le césium 137 se comporte comme un élément soluble et présente des capacités de fixation assez faibles. Il demeure toutefois l'un des seuls radionucléides artificiels encore

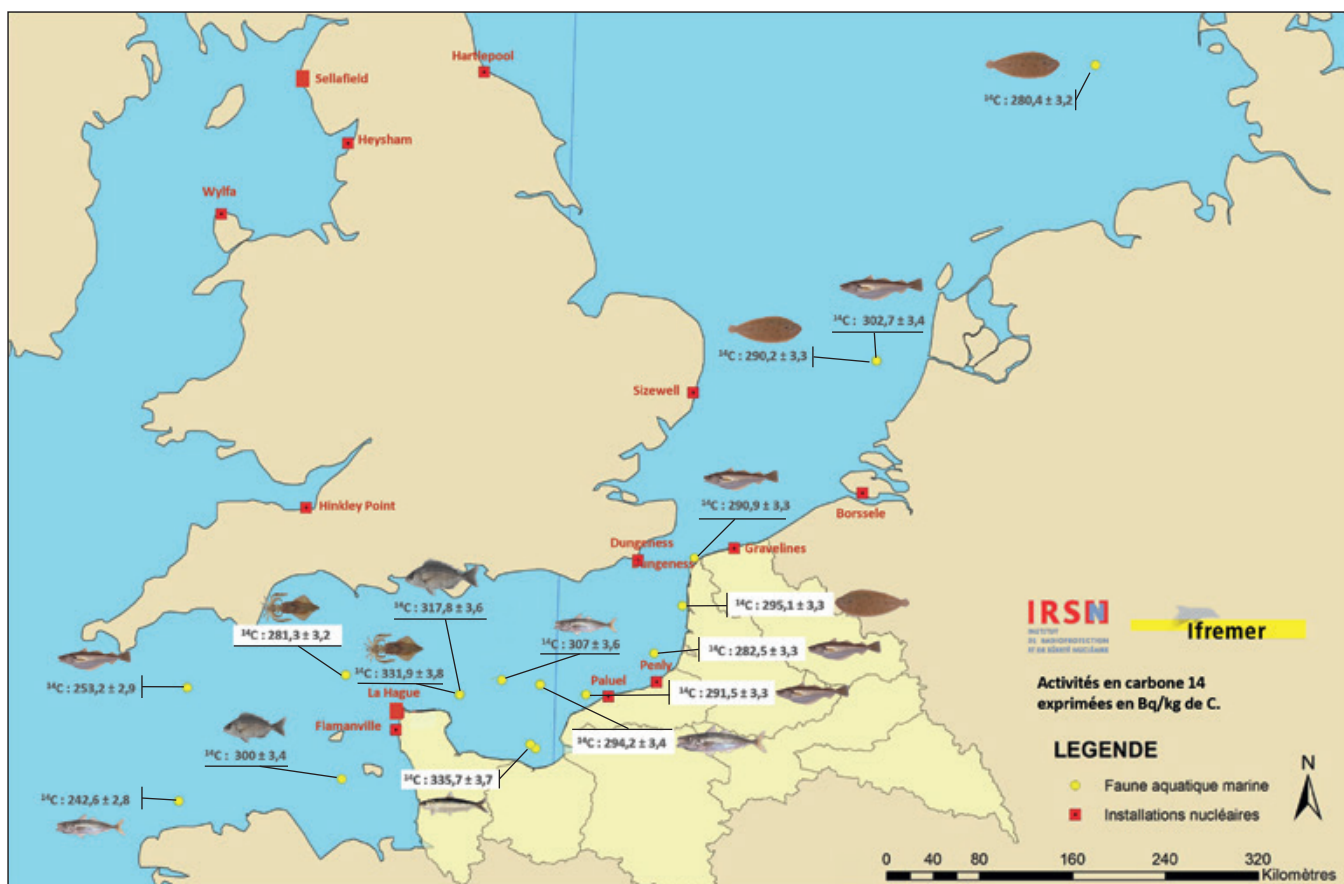


Figure 32 : Activités en carbone 14 dans les échantillons de poissons et de céphalopodes prélevés en mer

mesurable dans les eaux de surface océaniques, en suivant un protocole spécifique pour abaisser les limites de détection par une méthode de concentration. Les niveaux hors influence en césium 137 sont de l'ordre de 0,5 à 2 mBq/L dans l'eau de mer, de 0,1 à 2 Bq/kg sec (0,02 à 0,3 Bq/kg frais) dans les algues et les moules et de 0,1 à 6 Bq/kg sec (0,02 à 1,4 Bq/kg frais) dans les poissons. Dans les sédiments, les activités en césium 137 vont de 0,1 à 15 Bq/kg sec [27]. Hors influence des rejets liquides des installations nucléaires, il a pour principale origine le drainage des sols et provient des apports directs par les fleuves et diffus par lessivage des sols sur les côtes.

Dans les échantillons d'eau de mer prélevés en Manche par l'IRSN dans le cadre de la surveillance régulière, les résultats obtenus au niveau des stations de Roscoff et Wimereux sont habituellement légèrement inférieurs (moyenne 2015-2018 : 1,0 mBq/L) à ceux de la station de Goury (moyenne 2015-2018 : 1,7 mBq/L) qui est sous influence directe des rejets de l'usine de retraitement de la Hague. L'activité du césium 137 dans les eaux côtières influencées par ces rejets a fortement diminué au cours des dernières décennies de 30 à 50 mBq/l dans les années 1980 à 1 à 3,5 mBq/L aujourd'hui et se situe très proche du bruit de fond.

Les concentrations en césium 137 mesurées dans les sédiments marins côtiers prélevés par l'IRSN sur le littoral de la Manche varient entre 0,09 et 3,6 Bq/kg sec. Cette gamme de valeurs est du même ordre de grandeur que celle observée sur les 15 dernières années, excepté en baie de Seine où les teneurs sont légèrement plus élevées du fait de l'apport de sédiments continentaux charriés par le fleuve. Les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance régulière sur le littoral ne permettent pas de mettre en évidence une influence des rejets actuels des installations nucléaires, la variabilité entre les différents sites de prélèvements étant avant tout conditionnée par la capacité de fixation du césium liée à la granulométrie des sédiments.

À l'occasion des campagnes océanographiques CAMANOC 2014 et IBTS 2015 de l'IFREMER, des échantillons de sédiments marins, de poissons et d'encornets ont été prélevés puis analysés dans les laboratoires de l'IRSN dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France. Des prélèvements de sédiments et de salicornes ont également été réalisés dans des zones privilégiées de pêche à pied.

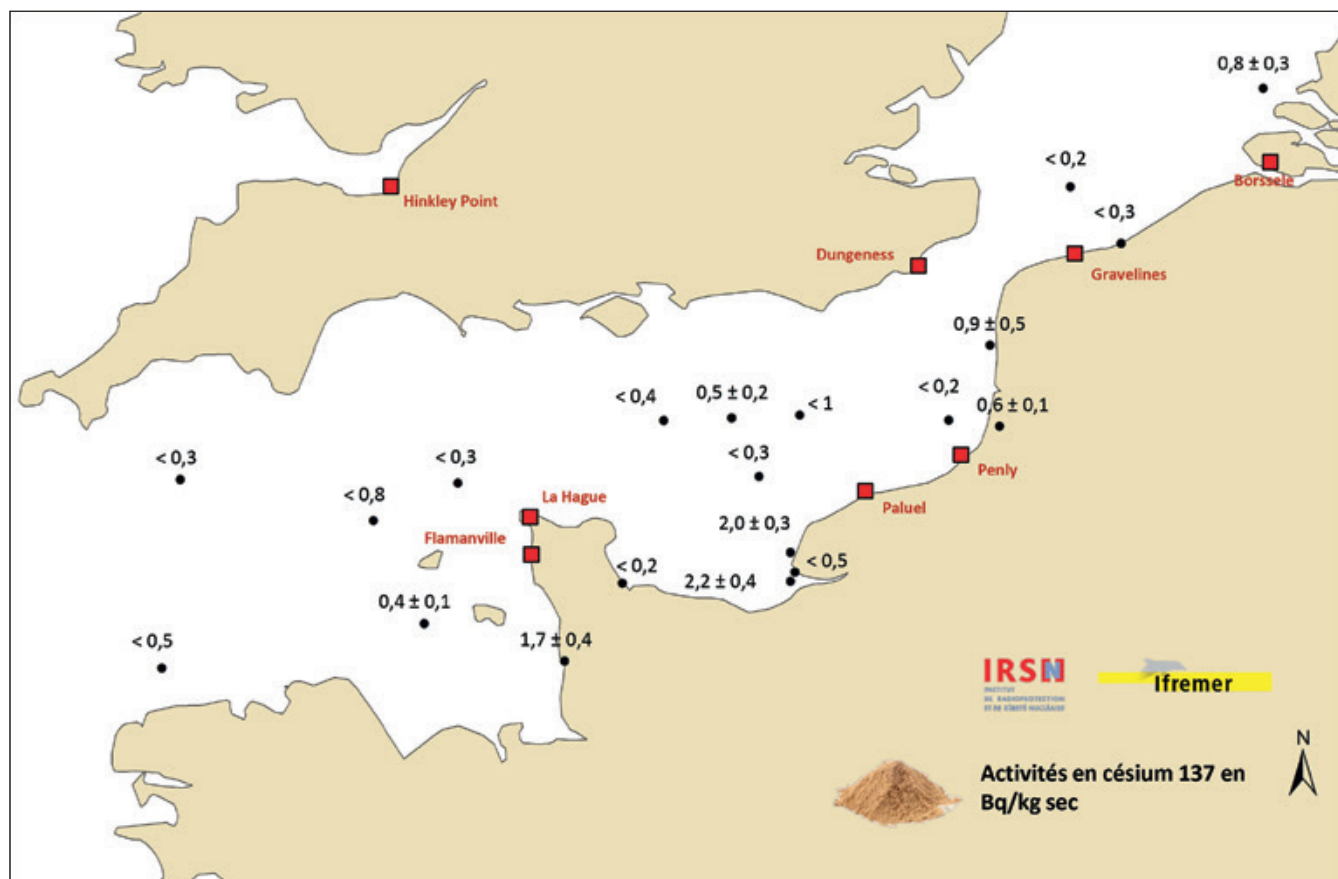


Figure 33 : Activités en césium 137 dans les sédiments marins superficiels prélevés dans le cadre du constat

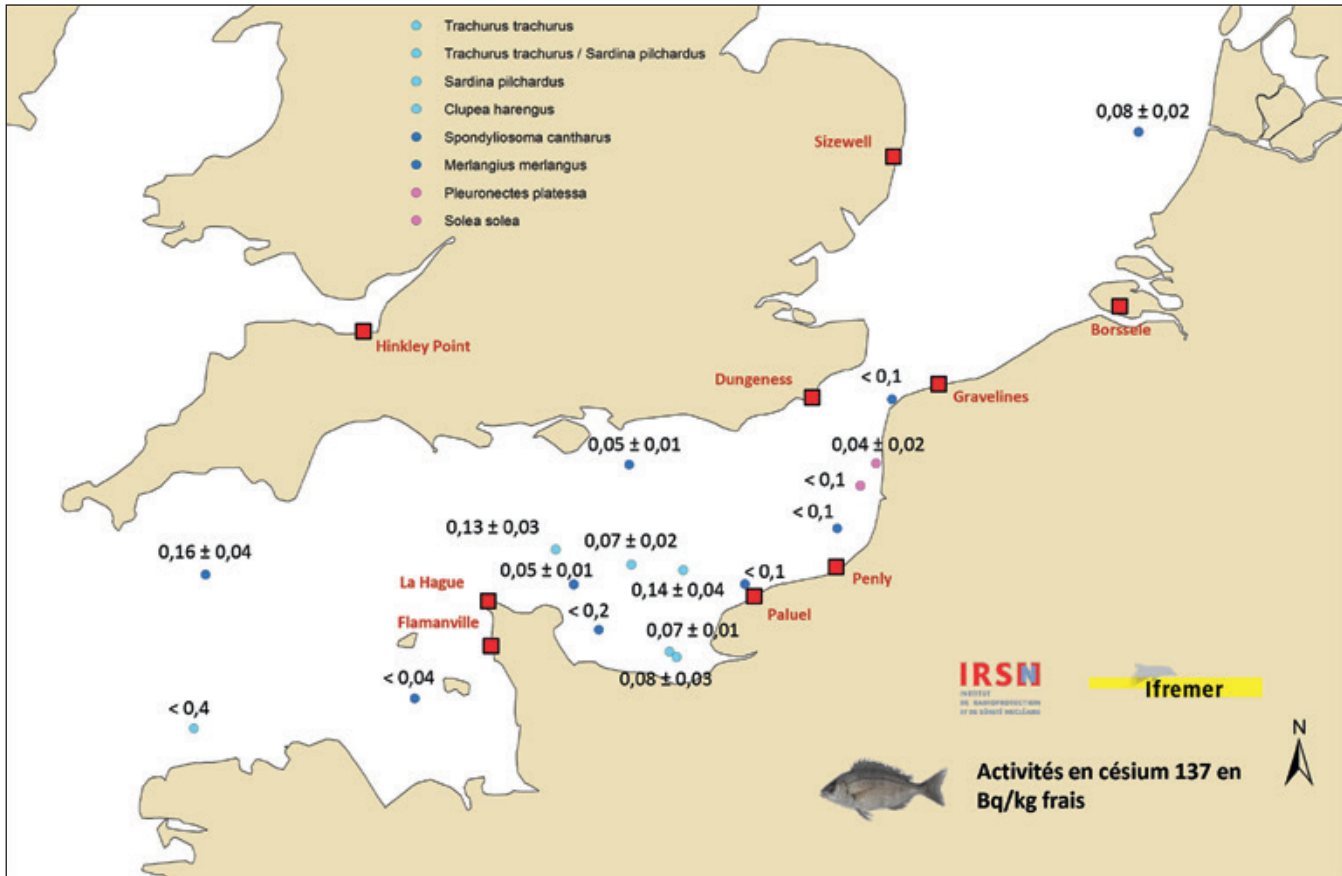


Figure 34 : Activités en césium 137 dans les poissons prélevés lors des campagnes océanographiques de l'IFREMER 2014-2015

Dans les sédiments marins (Figure 33), les teneurs en césium 137 sont similaires à celles mesurées sur le littoral et correspondent au bruit de fond environnemental. On remarque que les activités les plus importantes sont mesurées au niveau de zones d'accumulation sédimentaire ou à l'embouchure des fleuves -  $1,7 \pm 0,4$  Bq/kg sec dans le havre de Régnerville-sur-mer ou encore  $2,2 \pm 0,4$  Bq/kg sec au niveau l'estuaire de la Seine - et sont donc très vraisemblablement dues aux apports du milieu terrestre.

Dans les poissons (Figure 34), les valeurs sont similaires à celles mesurées dans le cadre de la surveillance régulière et s'inscrivent dans la gamme d'activité du bruit de fond environnemental. Aucune différence notable entre les poissons pélagiques, épi-benthiques et benthiques n'a pu être mise en évidence.

Les mesures effectuées sur les encornets ont permis d'établir des valeurs de référence pour les céphalopodes. Contrairement aux moules, mollusques marins filtreurs, et aux patelles, qui se nourrissent d'algues, les céphalopodes sont des mollusques

marins carnivores connus pour leur capacité à fixer les radionucléides contenus dans leur alimentation comme le césium 137 et l'américium 241. Dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France, le choix a été fait d'analyser exclusivement les parties consommées (corps et tentacules) dans l'objectif de se focaliser sur les denrées alimentaires. Les activités mesurées en césium 137 sont dans leur grande majorité inférieures aux seuils de décisions sauf pour un prélèvement ( $0,04 \pm 0,02$  Bq/kg frais) (Figure 35).

Les échantillons de coquilles Saint-Jacques prélevés en baie de Seine et de crustacés prélevés sur le littoral ont également fait l'objet d'une mesure par spectrométrie gamma. Les activités mesurées en césium 137 se sont toutes révélées être inférieures aux limites de détections des appareils de mesures. Les seuils de décisions étaient compris entre 0,086 et 0,209 Bq/kg frais pour les deux échantillons de coquilles Saint-Jacques, entre 0,053 et 0,104 Bq/kg frais pour les crabes verts et entre 0,86 et 0,14 Bq/kg frais pour les crevettes.

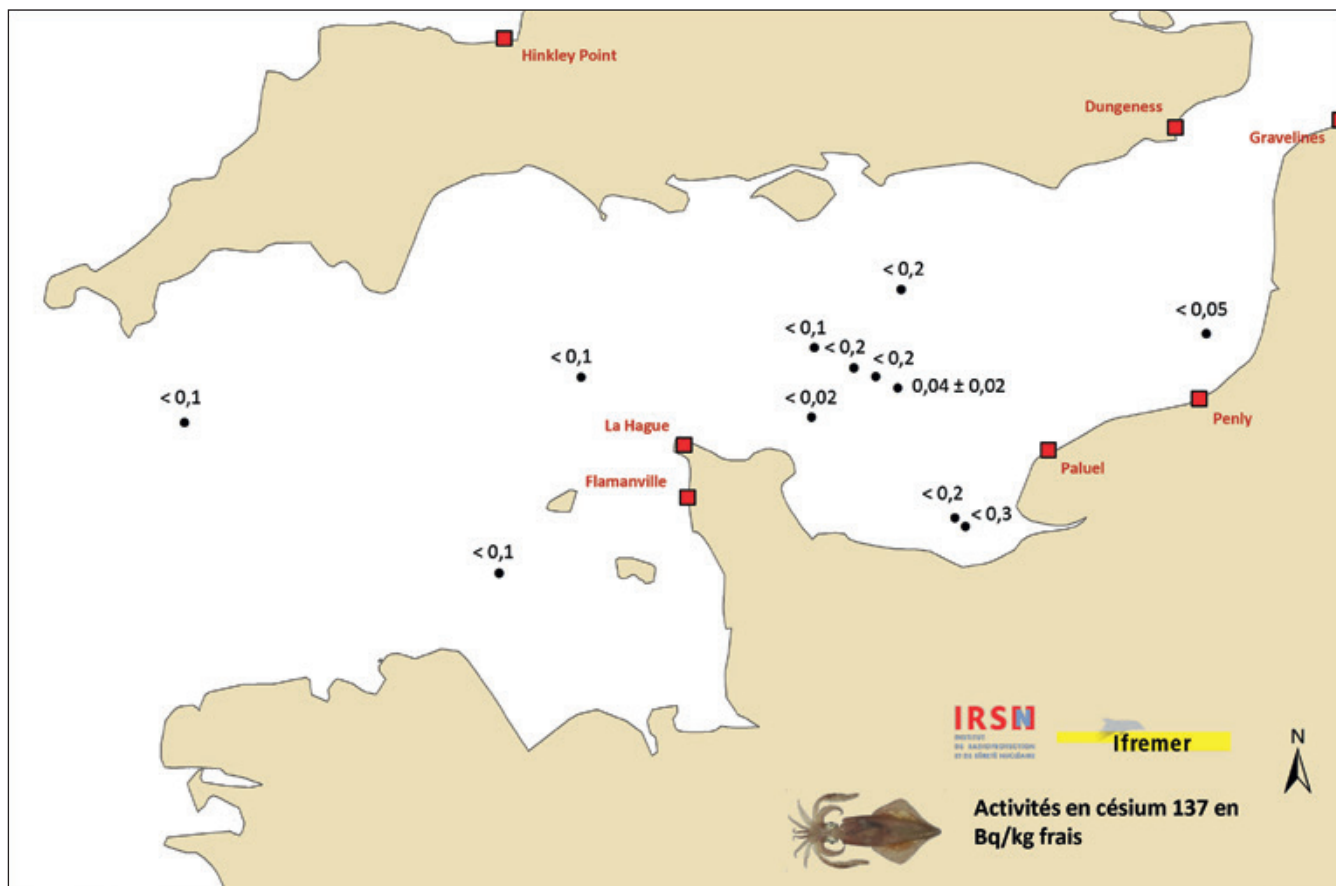


Figure 35 : Activités en césium 137 dans les encornets prélevés lors des campagnes océanographiques de l'IFREMER 2014-2015

La comparaison des mesures réalisées sur ces différentes espèces confirme par ailleurs que plus l'espèce prélevée se situe haut dans la chaîne alimentaire, plus elle va avoir tendance à accumuler le césium 137, ce qui n'est pas le cas pour les autres radionucléides.

### Le cobalt 60

Dans le milieu marin, le cobalt issu des rejets des installations nucléaires est essentiellement présent sous forme cationique et s'associe aux particules sédimentaires. Il est également assimilé par les organismes marins. Dans les années 1980, les mesures de cobalt 60 réalisées en Manche sous influence des rejets liquides de l'usine de la Hague mettaient en évidence un marquage, avec des activités dans l'eau qui pouvaient varier de 1 à

40 mBq/L (moyenne de 6 mBq/L). A partir des années 1990, les niveaux d'activité en cobalt 60 ont considérablement diminué avec la baisse des activités dans les rejets et sont maintenant difficilement mesurables dans les échantillons d'eau de mer.

Dans les sédiments d'estran sablo-vaseux du Nord-Cotentin, les activités sont ainsi passées de 2 Bq/kg sec en 2001 à 0,5 Bq/kg sec aujourd'hui. Le cobalt 60 reste toutefois un des rares radionucléides artificiels émetteurs gamma pouvant encore être détecté dans les végétaux marins au cours des dernières années (avec le césium 137). Les activités mesurées dans les algues brunes (*fucus serratus*) au port de Goury suivent parfaitement l'évolution temporelle des rejets de l'usine d'Orano de la Hague.

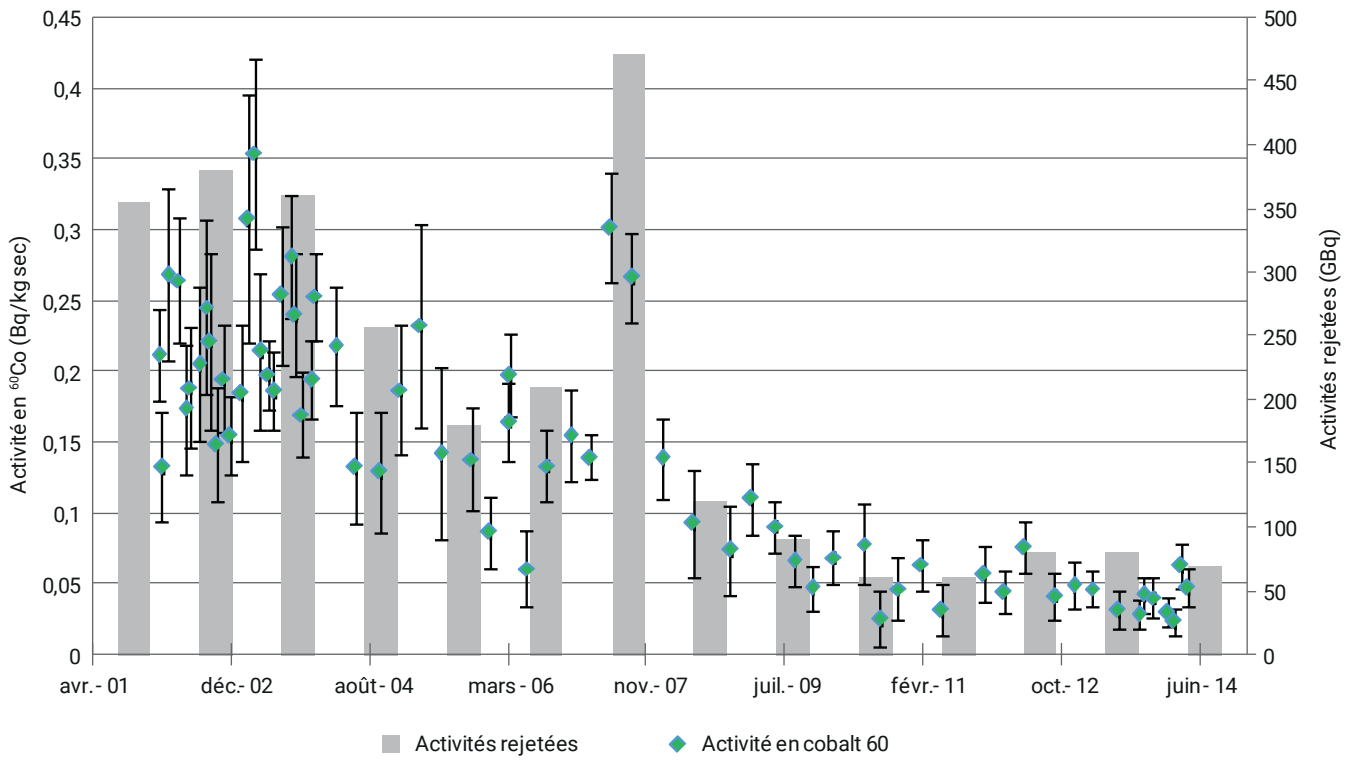


Figure 36 : Activités en cobalt 60 dans les patelles du port de Gouy (données IRSN) et rejets liquides de la Hague (données Orano)

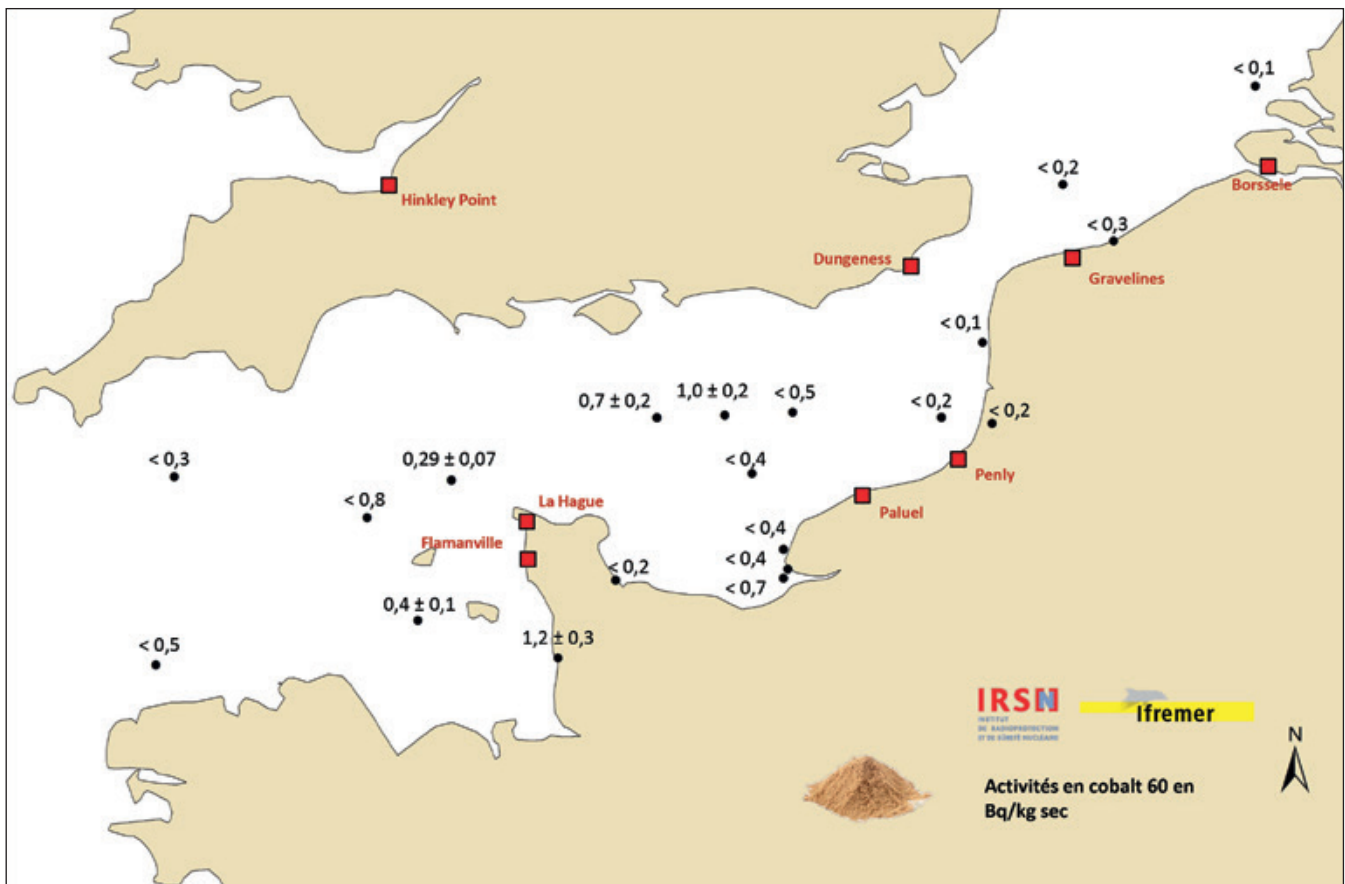


Figure 37 : Activités en cobalt 60 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques de l'IFREMER 2014-2015 et des campagnes littorales de l'IRSN en 2015

Cette corrélation est également visible dans les mesures effectuées sur les patelles prélevées au niveau du port de Goury (Figure 36).

Le cobalt 60 a été systématiquement analysé dans les sédiments marins prélevés à l'occasion des campagnes IFREMER ainsi que sur les quelques stations littorales complémentaires à la surveillance régulière de l'IRSN. Les valeurs mesurées sur les prélèvements réalisés au niveau de la presqu'île du Cotentin sont comprises entre 0,29 et 1,2 Bq/kg sec et s'inscrivent donc dans la gamme d'activité des données précédemment acquises. Par ailleurs, on remarque que le cobalt 60 n'est plus décelable dès lors qu'on s'éloigne de l'influence des rejets de la Hague (Figure 37). Enfin, aucune valeur significative n'a été mesurée dans les échantillons de faune (mollusques, crustacés, poissons) et de flore (salicornes, algues) marines.

### L'iode 129

En milieu marin, les algues concentrent l'iode 129 et constituent ainsi un bio-indicateur pertinent pour suivre l'influence des rejets de l'usine de la Hague. Les activités mesurées aujourd'hui sur les algues brunes *Fucus serratus* prélevées par l'IRSN sur les côtes du Cotentin vont en moyenne de 10 Bq/kg sec pour les stations les plus éloignées (Barneville-Carteret et Barfleur) à 60 Bq/kg sec à Goury. L'influence de ces rejets est par ailleurs mesurable jusqu'à la Belgique, où de l'iode 129 est encore régulièrement mesuré sur les algues prélevées à proximité du CNPE de Gravelines.

En tant que consommatrices d'algues brunes, les patelles constituent également un bon indicateur de l'influence des rejets en iode 129. Hormis ces mollusques brouteurs, les mollusques filtreurs, les crustacés, les poissons et les phanérogames terrestres ne sont pas connus pour concentrer cet élément chimique.



Mise en géométrie pour comptage par spectrométrie gamma dans les laboratoires de l'IRSN (octobre 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN



Afin de compléter les données existantes, des analyses d'iode 129 par spectrométrie gamma ont été effectuées sur les échantillons marins littoraux et offshore ; seul l'échantillon d'algues brunes prélevé au niveau de la commune de Grandcamp-Maisy (baie de Seine) présente une activité significative ( $1,3 \pm 0,3$  Bq/kg frais).

### Le strontium 90

En Manche et en mer du Nord, le strontium 90 est généralement détecté dans l'eau de mer, parfois dans quelques sédiments prélevés à proximité de l'usine de La Hague, et plus rarement dans les bioindicateurs. Malgré l'influence potentielle des rejets liquides de l'usine de la Hague, les activités en strontium 90 mesurées sont faibles et proches des seuils de décisions. Afin de contribuer à l'amélioration de la connaissance sur les niveaux mesurés en Manche et en mer du Nord, des mesures de stron-

tium 90 ont été effectuées dans le cadre du constat sur une partie des échantillons considérés comme représentatifs de l'ensemble des matrices prélevées en milieu marin (sédiments, mollusques, crustacés et poissons).

Les résultats acquis dans le cadre du constat ne font pas apparaître de point particulier et confirment les résultats précédemment acquis par l'IRSN. Seules quelques valeurs significatives ont pu être relevées sur des échantillons de sédiments (Figure 38) et de faune marine (Tableau 19) prélevés au large et dans l'embouchure de la Seine et de l'Orne. Les niveaux mesurés reflètent le bruit de fond en strontium 90 aujourd'hui mesurées en Manche et en mer du Nord et ne permettent pas de déterminer l'éventuelle contribution des rejets de la Hague à ces activités.

**Tableau 19 :** Activités en strontium 90 dans les prélèvements de faune aquatique du constat Normandie et Hauts-de-France

Date	Station de prélèvement <sup>(10)</sup>	Groupe	Espèce	Activité en strontium 90 (Bq/kg frais)
20-juil.-15	Baie de Somme	Mollusques filtreurs	<i>Scrobicularia plana</i>	< 0,02
7-juil.-15	Baie de Seine	Mollusques filtreurs	<i>Pecten maximus</i>	< 0,003
10-oct.-15	Estuaire de l'Orne	Crustacés	<i>Carcinus maenas</i>	$0,30 \pm 0,11$
2-oct.-14	Quartier de pêche 28E8	Céphalopodes	<i>Loligo vulgaris</i>	< 0,01
19-sept.-14	Quartier de pêche 26E5	Poissons pélagiques	<i>Trachurus trachurus</i>	< 0,02
5-oct.-14	Quartier de pêche 28E9	Poissons pélagiques	<i>Trachurus trachurus</i>	< 0,01
8-oct.-14	Quartier de pêche 27E9	Poissons pélagiques	<i>Trachurus trachurus / Sardina pilchardus</i>	< 0,03
6-oct.-14	Quartier de pêche 29E9	Poissons pélagiques	<i>Trachurus trachurus</i>	$0,17 \pm 0,02$
24-sept.-14	Quartier de pêche 27E7	Poissons épi-benthiques	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	< 0,02
2-oct.-14	Quartier de pêche 28E8	Poissons épi-benthiques	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	< 0,01
11-oct.-14	Quartier de pêche 30E9	Poissons épi-benthiques	<i>Merlangius merlangus</i>	< 0,01
25-janv.-15	Quartier de pêche 33F3	Poissons benthiques	<i>Solea solea</i>	< 0,002
30-janv.-15	Quartier de pêche 37F6	Poissons benthiques	<i>Solea solea</i>	< 0,03

<sup>10</sup> La localisation des différents quartiers de pêche figure en Annexe 3.

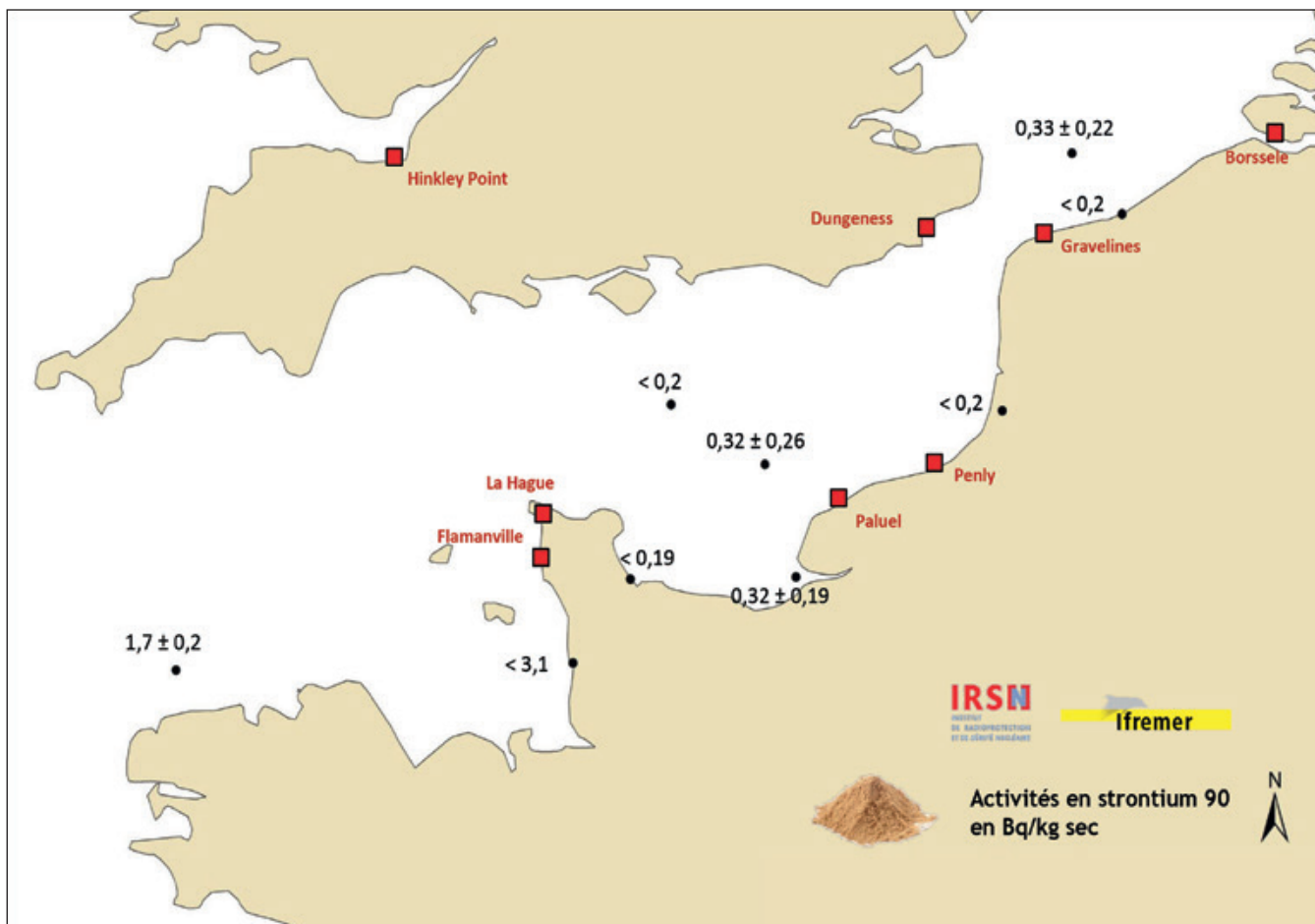


Figure 38 : Activités en strontium 90 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques de l'IFREMER 2014-2015 et campagnes littorales en 2015

## Les transuraniens dans le milieu marin

Parmi les installations françaises présentes sur le territoire du constat, seule l'usine de la Hague est autorisée à rejeter des actinides par voies liquide et gazeuse dans l'environnement. Compte tenu des activités rejetées, l'influence des rejets gazeux sur le milieu terrestre est très peu visible et ne peut pas être distinguée de celle des retombées atmosphériques anciennes. En revanche, l'influence des rejets liquides en milieu marin est beaucoup plus marquée.

Le plutonium et l'américium présentent une forte affinité pour les phases sédimentaires [27]. De ce fait, une partie importante de ces radionucléides s'associe aux sédiments à proximité de l'émissaire de rejet. Les particules sédimentaires sont ensuite dispersées sous l'effet des courants et de la houle en Manche et en mer Celtique, avant de rejoindre la mer du Nord.

### L'américium 241

L'influence des rejets passés et actuels de l'usine de retraitement de la Hague sur les échantillons prélevés sur le littoral de la Manche et de la mer du Nord dans le cadre de la surveillance régulière se distingue du bruit de fond en américium 241 mesuré sur les stations de l'Atlantique seulement influencées par les retombées des essais nucléaires dans l'atmosphère. Hors influence des rejets d'une installation nucléaire les niveaux d'activité en américium 241 sont aujourd'hui très proches voire inférieurs aux seuils de décision pour l'ensemble des bio-indicateurs (sédiments, algues et faune aquatique).

Sur la zone géographique du constat, les activités les plus importantes en américium 241 sont mesurées au niveau du cap du Cotentin et plus particulièrement à l'anse des Moulinets située sous l'influence directe des rejets liquides du site de la Hague. L'exploitation des données de la surveillance régulière de l'IRSN

montre qu'aujourd'hui cette influence n'est plus détectable dès lors que l'on s'éloigne de la pointe du Cotentin.

Les analyses en américium 241 réalisées dans le cadre du constat se sont concentrées sur les produits issus de la pêche à pied et les coquilles Saint-Jacques (Figure 39). Les valeurs mesurées ne font pas apparaître de point particulier concernant ces produits emblématiques et confirment les activités mesurées dans le cadre de la surveillance régulière.

L'américium 241 présente l'avantage de pouvoir être également mesuré en spectrométrie gamma sans avoir à passer par une radiochimie en vue d'une mesure en spectrométrie alpha comme c'est le cas pour les autres actinides (plutonium, curium). La Figure 40 restitue les résultats obtenus sur les prélèvements de sédiments réalisés dans le cadre du volet marin du constat.

Les activités mesurées sont relativement homogènes et les quelques variations observées sont liées aux caractéristiques physico-chimiques des sédiments prélevés (vase, sable), les plus fins ayant une plus forte propension à fixer les radionucléides.

### Les isotopes du plutonium

Des suivis réguliers des activités en plutonium dans les différents compartiments de l'environnement sont effectués par l'IRSN et Orano sur le littoral de la Manche et de la mer du Nord. Ces suivis sont focalisés sur trois matrices : les algues brunes, les mollusques et les sédiments marins.

Les données nouvellement acquises dans le cadre du constat sur les activités en plutonium, notamment sur les prélèvements de salicornes et de scrobiculaires (patelles), sont cohérentes avec les activités mesurées sur d'autres espèces dans le cadre de la surveillance et confirment l'influence en Manche des rejets de l'usine de la Hague même si celle-ci tend à diminuer avec les diminutions des activités rejetées (Figure 41).

Le calcul des ratios d'activité entre les isotopes  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239+240}\text{Pu}$  réalisé sur ces échantillons donne des résultats compris entre 0,2 et 0,4 et témoigne de son origine industrielle (ce ratio est de l'ordre de 0,03 pour les retombées des essais nucléaires atmosphériques).

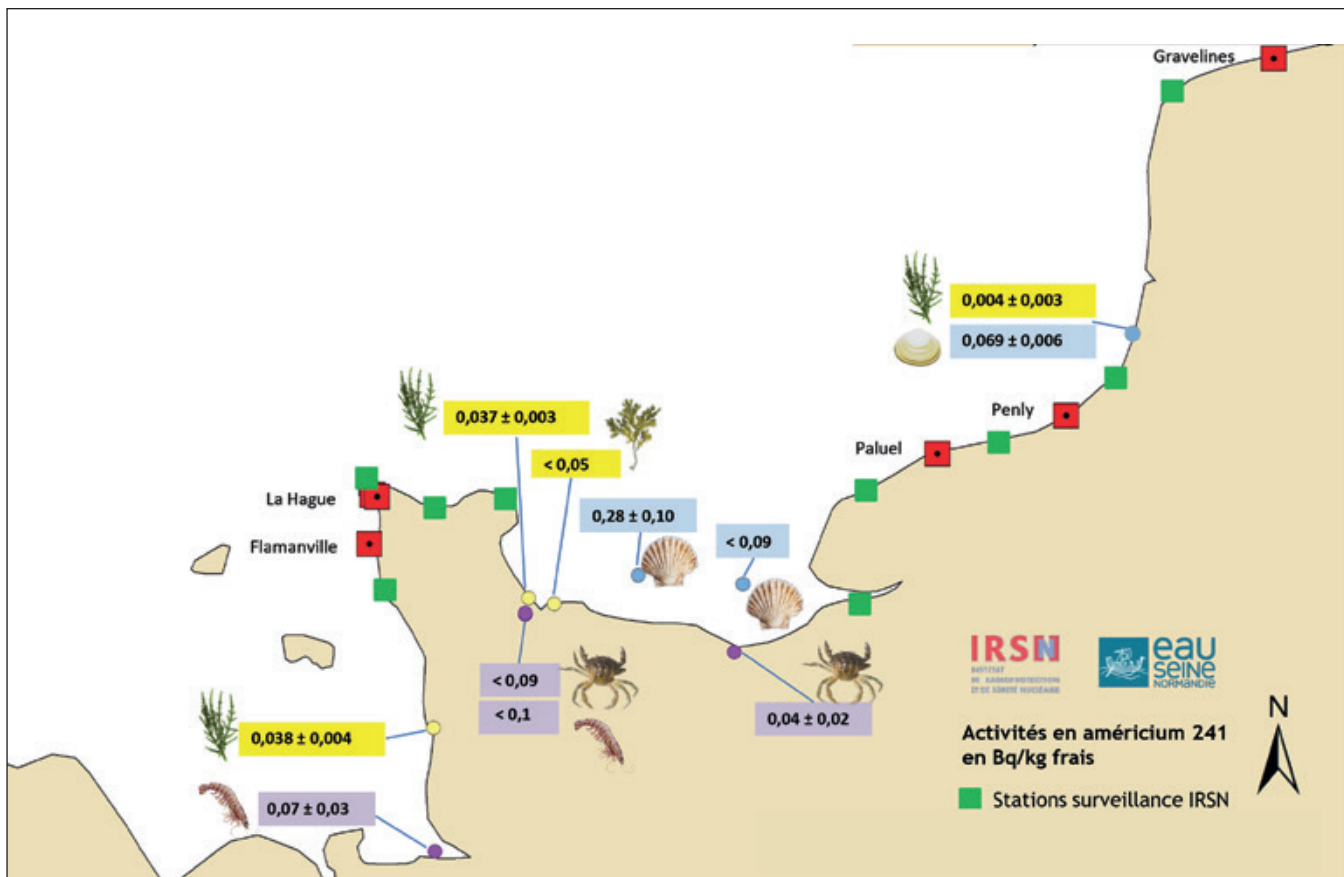


Figure 39 : Activités en américium 241 dans les échantillons faune et de flore prélevés lors des campagnes littorales du constat en 2015

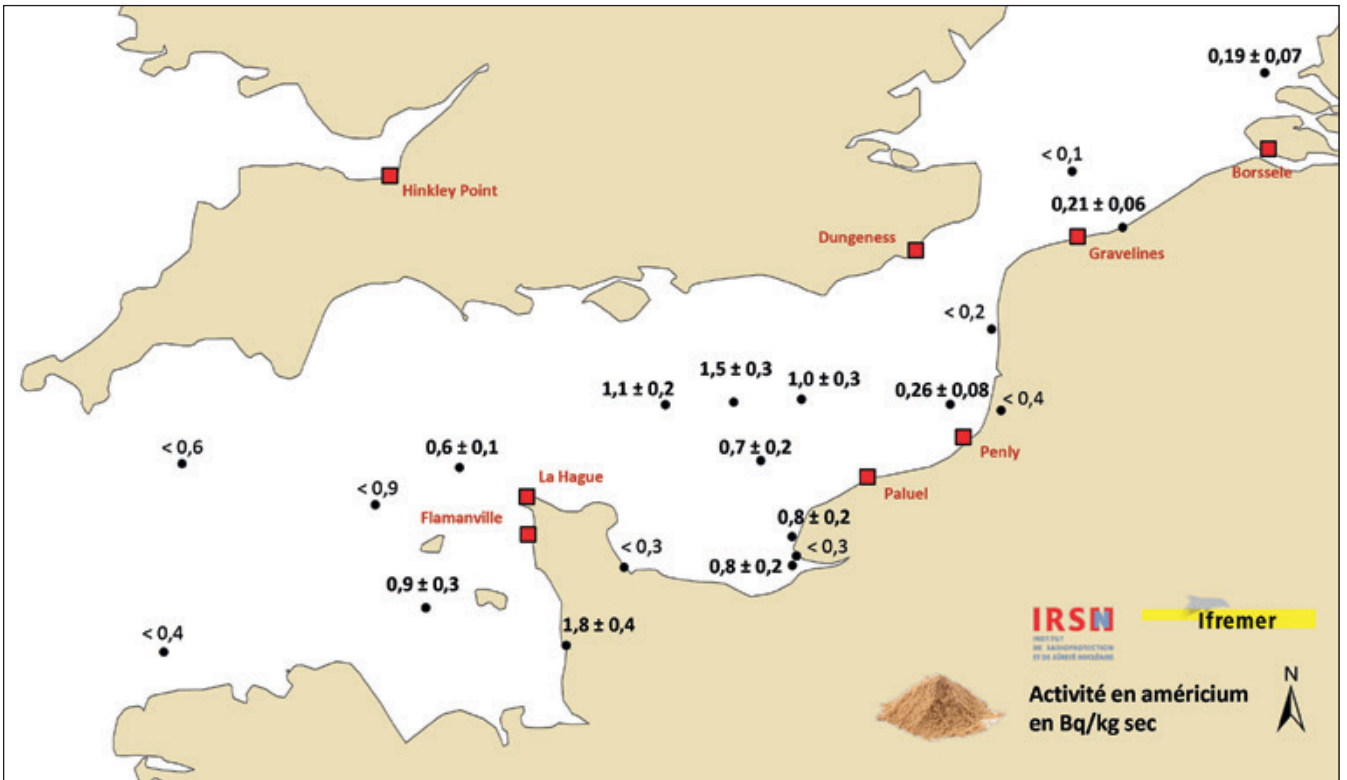


Figure 40 : Activités en américium 241 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques de l'IFREMER 2014-2015 et des campagnes littorales de l'IRSN en 2015

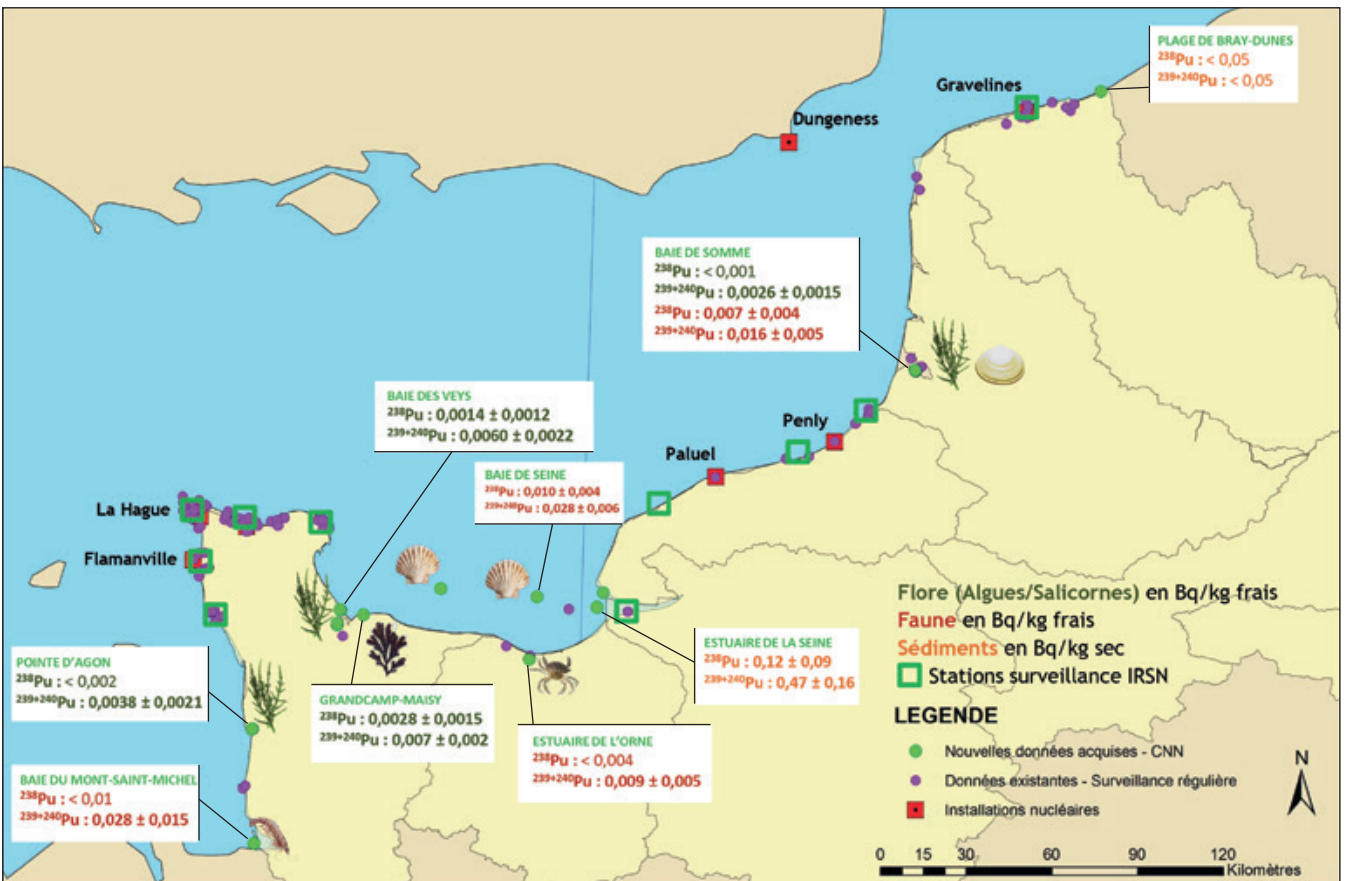


Figure 41 : Activités en plutonium dans les échantillons prélevés lors des campagnes littorales en 2015

Il en va de même pour les mesures réalisées sur les sédiments de surface prélevés sur la côte (Figure 41) et plus au large (Figure 42). Les différences observées sur les sédiments peuvent s'expliquer par les caractéristiques physico-chimiques et la nature du sédiment, car les activités mesurées varient en fonction de l'abondance et de la nature de la fraction la plus fine, souvent riche en minéraux argileux. Ainsi, pour un site donné, elles peuvent varier d'au moins un ordre de grandeur entre des sédiments sableux et des sédiments vaseux.

Sur les trois prélèvements de sédiments marins présentant des activités significatives en plutonium 238 et 239+240, le calcul du rapport d'activité entre ces deux isotopiques est compris entre 0,13 et 0,21, – plus proche de la signature des rejets des installations nucléaires en particulier de l'usine de retraitement de la Hague – que des retombées des essais atmosphériques.

Des mesures de plutonium ont également été réalisées sur quelques échantillons de poissons et d'encornets pêchés au large des côtes. Sur 14 échantillons de poissons ayant fait l'objet d'une mesure de plutonium, seul l'échantillon pêché le plus au Nord, au large des côtes des Pays-Bas présentait une activité significative en plutonium ( $^{238}\text{Pu}$  :  $1,33 \pm 1,26$  mBq/kg frais ;

$^{239+240}\text{Pu}$  :  $3,41 \pm 1,81$  mBq/kg frais). Sur l'échantillon d'encorner ayant fait l'objet d'une mesure de plutonium, aucune activité significative n'a été mesurée pour les deux isotopes recherchés ( $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239+240}\text{Pu}$ ).

## - Synthèse sur le bruit de fond en milieu aquatique marin \_

Le volet marin du constat Normandie et Hauts-de-France a été l'occasion pour l'IRSN d'acquérir des données nouvelles, notamment sur les niveaux d'activités dans les produits issus de la pêche à pieds. La collaboration avec l'IFREMER a également permis la réalisation de prélèvements de faunes aquatiques marines et de sédiments offshore qui jusque-là n'avaient jamais été réalisés, permettant ainsi de renforcer la connaissance sur le bruit de fond en Manche et en mer du Nord.

En dehors de l'influence de l'usine de retraitement de la Hague, les résultats acquis par l'IRSN confirment que les activités de carbone 14 en milieu marin sont très proches de celles mesurées en milieu terrestre, quoique légèrement supérieures et plus

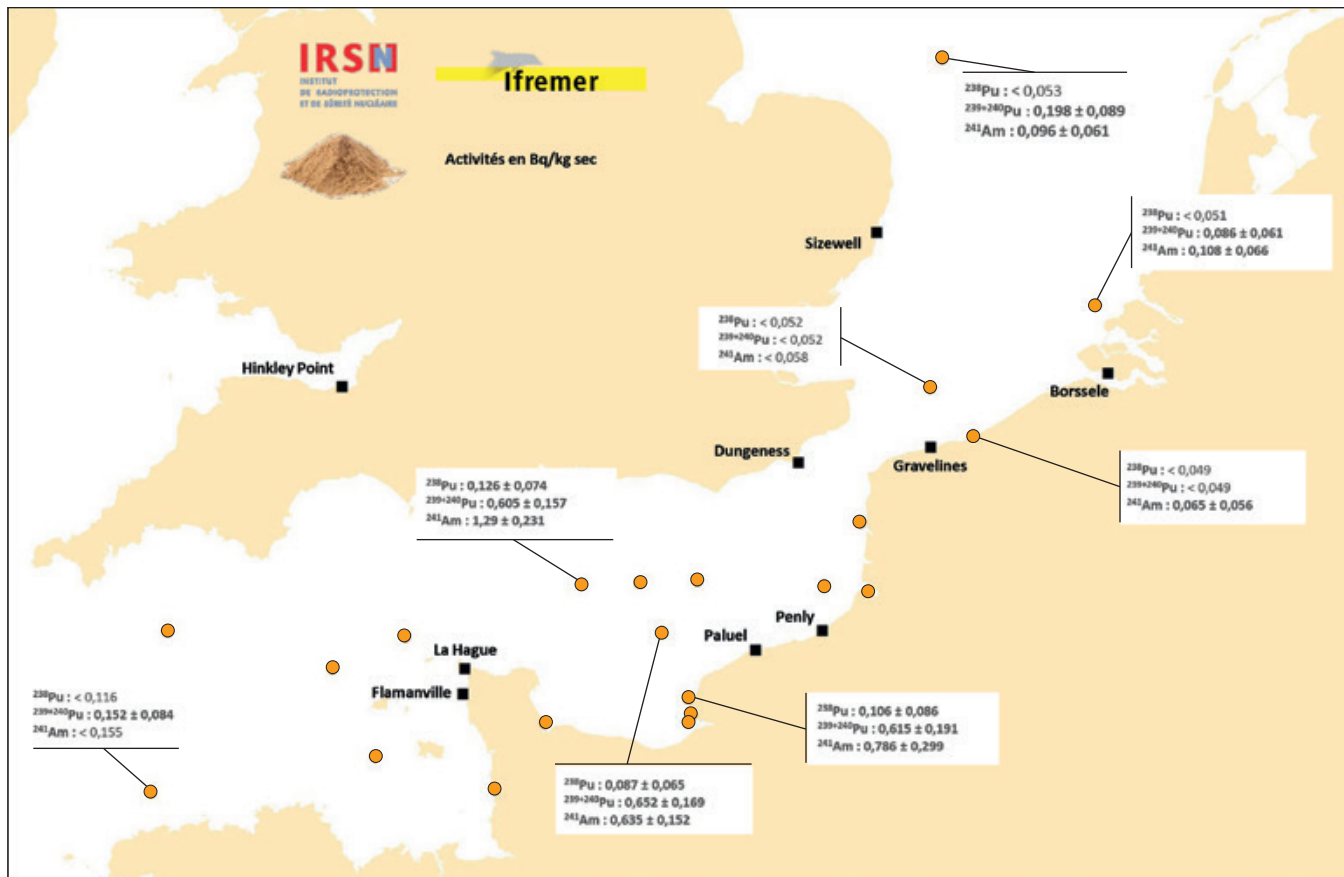


Figure 42 : Activités mesurées en spectrométrie alpha sur les échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du constat

variables. Les niveaux d'activité en TOL mesurés sur les prélèvements de salicornes et de petits crustacés (crevettes, crabes) prélevés dans le cadre du constat ne font pas apparaître de niveaux plus élevés que le bruit de fond mesuré habituellement sur les côtes de la Manche hors influence directe des rejets de l'usine de la Hague. Les résultats des mesures de TOL sur les poissons sont assez homogènes sur l'ensemble de la zone et les données nouvellement acquises sur les céphalopodes (encornets) montrent que les activités sont sensiblement les mêmes que dans les poissons.

Pour les autres radionucléides artificiels, les résultats acquis dans le cadre du constat ne font pas apparaître de point particulier. Seules quelques valeurs légèrement supérieures aux seuils de décisions ont pu être relevées sur les sédiments et les échantillons de faune prélevés à proximité de l'usine de la Hague.

## 5 3 ÉTAT RADIOLOGIQUE DU COMPARTIMENT ATMOSPHÉRIQUE

Le compartiment atmosphérique a été le premier récepteur des retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

À une échelle plus locale, il est par ailleurs influencé par les rejets gazeux des installations nucléaires. On le considère toutefois plutôt comme un milieu transitoire à l'origine des dépôts secs ou humides qui influenceront ensuite le milieu terrestre et le milieu aquatique. Par ailleurs, la connaissance des niveaux d'activités des radionucléides dans ce compartiment est assez partielle. L'opportunité offerte par les constats de mobiliser des moyens de prélèvements ou de mesures plus performants et de valoriser des données acquises dans le cadre de la surveillance régulière permet de contribuer à améliorer la connaissance sur les niveaux d'activité dans ce compartiment.

### Le suivi des aérosols atmosphériques

#### Exploitation des données de la surveillance régulière

Dès les années 60, les premières stations de prélèvement d'aérosols atmosphériques ont été installées par le SCPRI sur l'ensemble du territoire, à l'origine pour surveiller la contamination de l'air engendrée par les essais atmosphériques d'armes nucléaires et, par la suite, les rejets des installations nucléaires. Depuis les années 90, des équipements plus performants ont été développés pour répondre à la baisse régulière de l'activité de l'air et continuer de disposer de résultats de mesures significatifs.

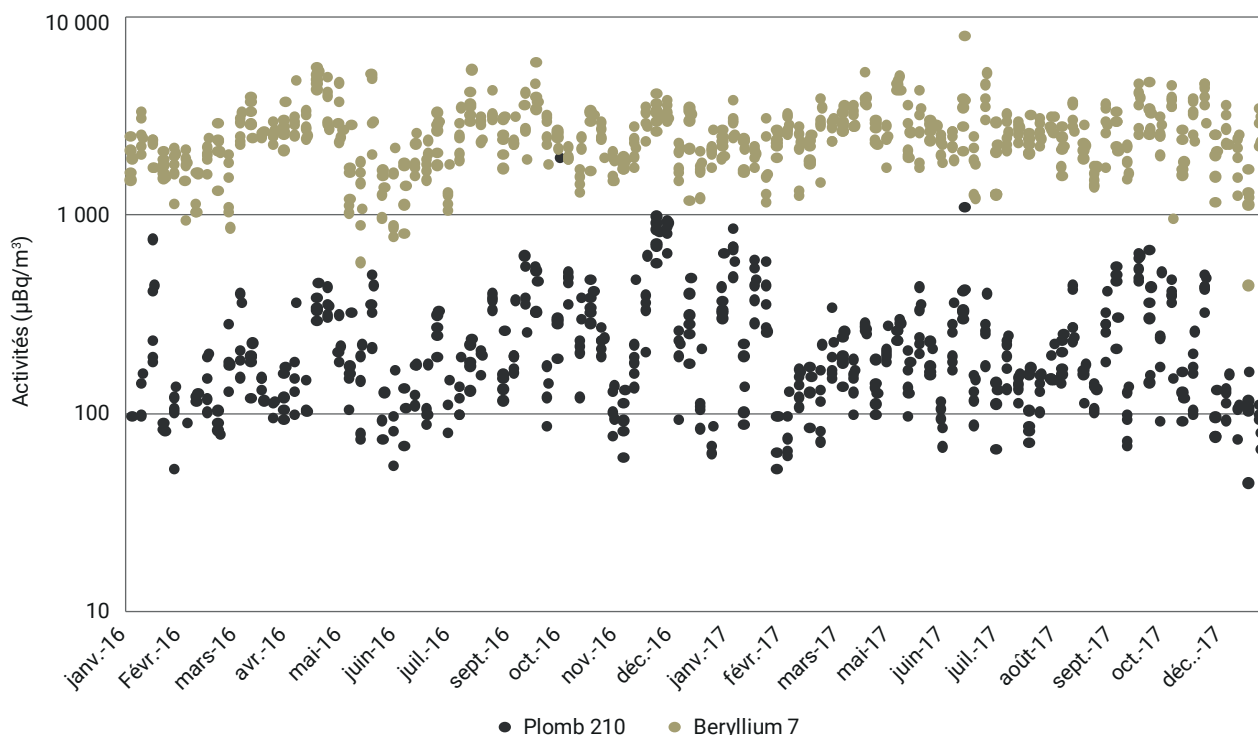


Figure 43 : Activités en béryllium 7 et plomb 210 mesurées en 2016 et 2017 sur les stations aérosols implantées sur le territoire du constat<sup>(11)</sup>.

Sur la zone géographique du constat Normandie et Hauts-de-France, l'IRSN dispose de :

- 6 stations d'un débit d'aspiration de 80 m<sup>3</sup>/h positionnées sous influence des rejets atmosphériques des installations nucléaires de Flamanville, la Hague, Paluel, Penly, Gravelines et de la SOMANU ;
- une station 80 m<sup>3</sup>/h hors influence des rejets des installations nucléaires installée à Villeneuve d'Ascq ;
- une station 700 m<sup>3</sup>/h hors influence des rejets des installations nucléaires située à Alençon.

L'exploitation des données issues de la surveillance régulière de l'IRSN sur la période 2016-2017 montre que les radionucléides les plus fréquemment détectés sont le béryllium 7 et le plomb 210, tous deux d'origine naturelle. L'activité en béryllium 7,

radionucléide d'origine cosmogénique, varie en fonction de la circulation des masses d'air et connaît un pic durant la période estivale. Le plomb 210 présent dans l'atmosphère est d'origine terrestre et lié au flux de radon 222, qui varie en fonction de la nature des sols et des conditions météorologiques. On retrouve également pour ce radionucléide un phénomène de variabilité saisonnière, avec une augmentation des activités durant la période hivernale (Figure 43).

Aucune variation spatiale significative des activités en radionucléides naturels dans l'air sur la zone géographique du constat n'est à relever, avec des bruits de fond en béryllium 7 et plomb 210 respectivement de quelques milliers de  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  et de quelques centaines de  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ .

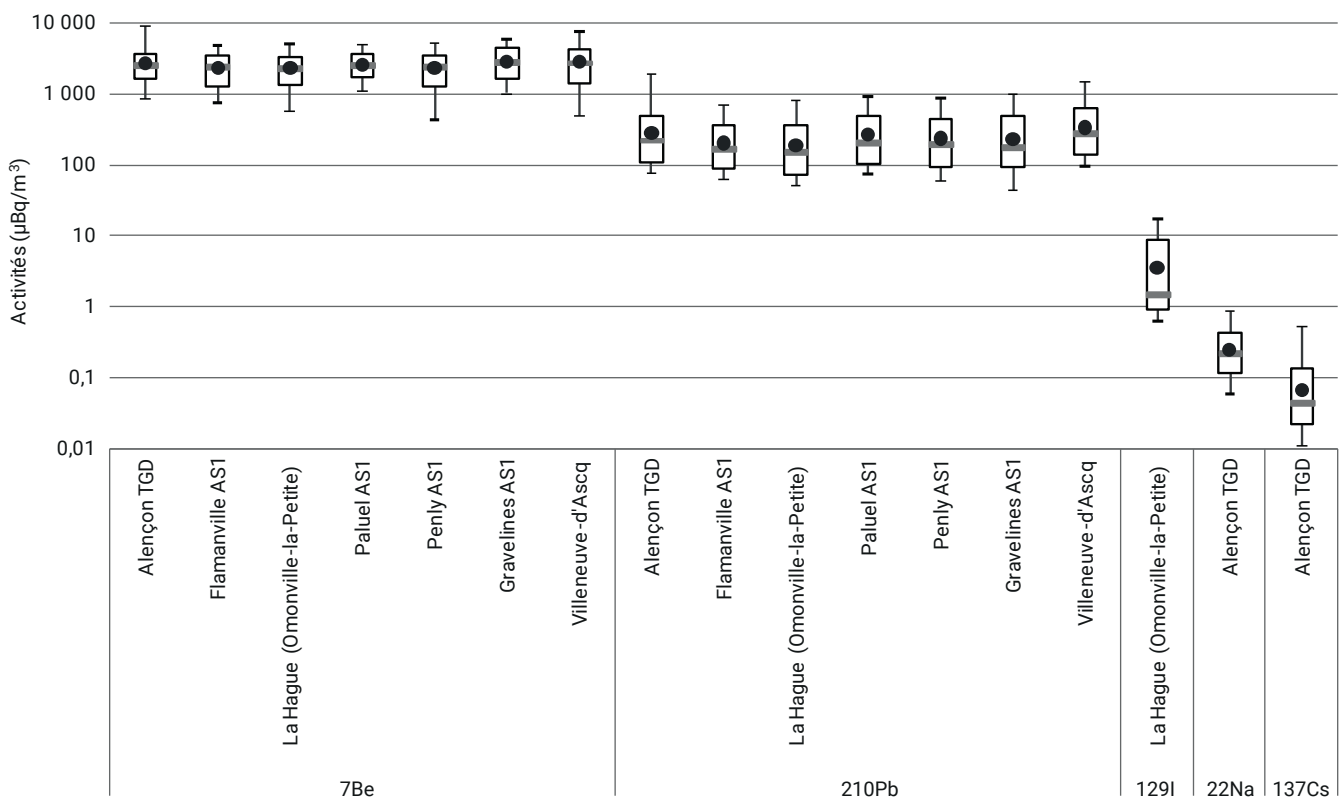


Figure 44 : Activités significatives mesurées entre janvier 2016 et décembre 2017 sur les stations aérosols implantées sur le territoire du constat<sup>(12)</sup>

11 Pour des raisons de lisibilité, les incertitudes de mesures ne sont pas représentées sur ce graphique. Elles sont de l'ordre de  $\pm 15\%$ .

12 Valeurs minimum et maximum, moyenne (rond plein), médiane (barre) et les quantiles 90 % et 10 %.

Les performances du dispositif de prélèvement de la station d'Alençon, associées aux performances métrologiques des laboratoires de l'IRSN, permettent de mesurer le bruit de fond en sodium 22, également d'origine cosmogénique. L'activité moyenne en sodium 22 sur la période est de  $0,2 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ . La Figure 44 présente également le bruit de fond en césium 137, rémanent des retombées des tirs atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl qu'il est encore possible de mesurer en routine sur les stations de  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  de l'IRSN (moyenne  $0,07 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  sur la période 2016-2017).

En ce qui concerne les radionucléides artificiels, la station  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  d'Omonville-la-Petite, située au nord du site de la Hague, sous les vents dominants, permet de mesurer en routine l'iode 129 sous sa forme particulaire (moyenne  $3,6 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  sur la période 2016-2017). L'iode 129 rejeté par les installations de la Hague sous forme gazeuse est également mesuré par le dispositif de piégeage sur cartouche à charbon activé en routine sur cette station. La Figure 45 présente les activités en iode 129

gazeux et particulaire mesurées sur la période 2015-2017. À noter sur cette figure qu'à la suite d'expérimentations menées en 2015, il a été décidé à partir d'avril 2016 d'allonger le temps de comptage des filtres aérosols de la station d'Omonville-la-Petite (de 6 heures à 24 heures) afin d'améliorer les performances métrologiques. En outre, il convient également d'indiquer que la chronique des mesures d'iode 129 gazeux a été interrompue en mai 2017 à cause de la panne du dispositif de prélèvement et n'a pu reprendre qu'en janvier 2018.

De janvier 2015 à mai 2017, l'activité volumique d'iode 129 sous forme gazeuse a pu être quantifiée 60 fois (au-dessus de seuils de décision métrologique) ; et 21 fois sous sa forme particulaire. Sur les périodes où l'iode 129 particulaire a pu être quantifié, il est possible de calculer la répartition entre les deux phases qui est très majoritairement dominée par la phase gazeuse (entre 70 % et 99 % de l'activité en iode totale) avec une moyenne de 91 % sur la période considérée [29].

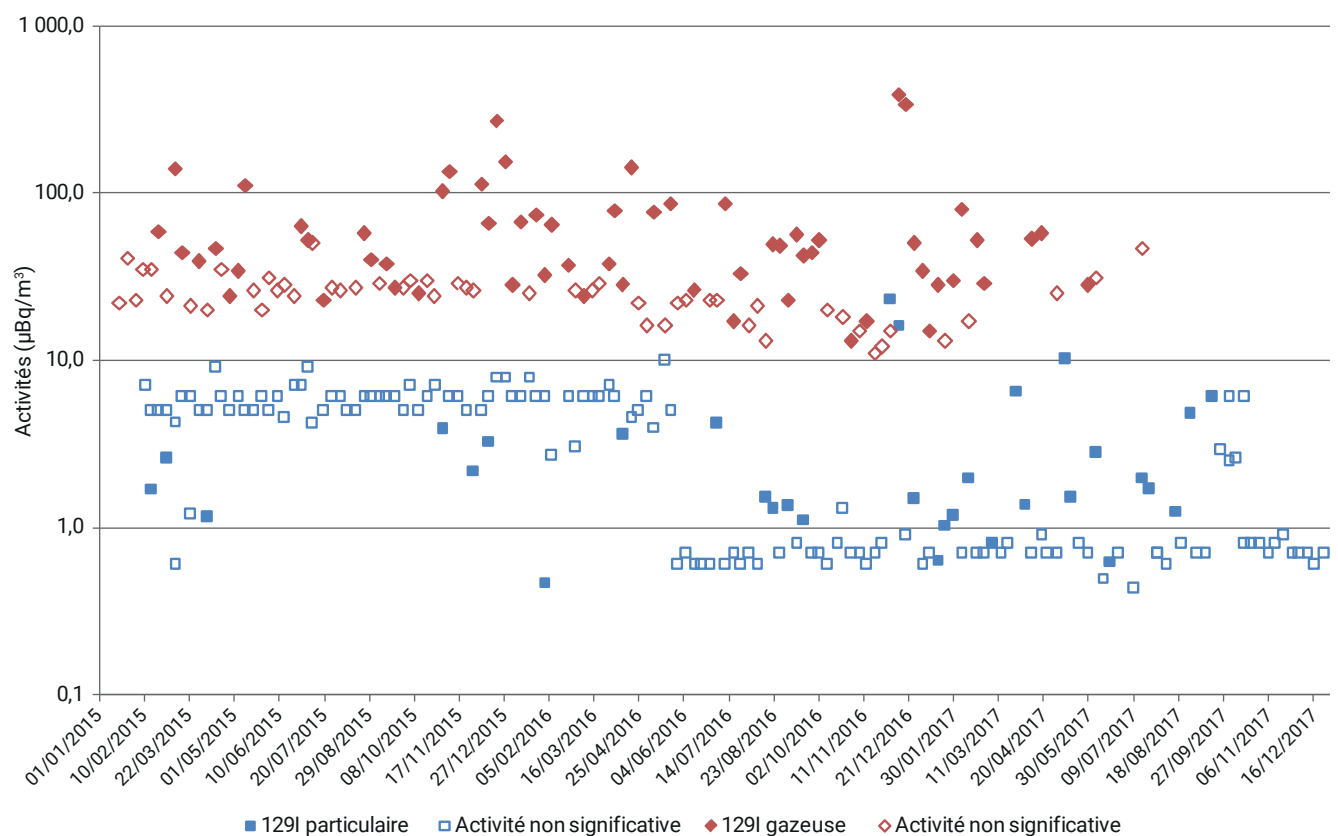


Figure 45 : Activités volumiques en iode 129 sous forme particulaire et gazeuse mesurées à la station IRSN d'Omonville-la-Petite<sup>(13)</sup>

<sup>13</sup> Pour ce graphique, une représentation des seuils de décision par des points évidés a été privilégiée afin de pouvoir conserver le caractère lisible de la figure. Pour les mêmes raisons les incertitudes métrologiques ne sont pas représentées sur ce graphique. Elles sont de l'ordre de  $\pm 15\%$ .



### Étude des niveaux de radioactivité dans les aérosols atmosphériques autour de l'usine de la Hague et du CNPE de Gravelines

Dans le cadre des études menées à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France, une station mobile 300 m<sup>3</sup>/h a été installée de mars à octobre 2015 sur la station IRSN d'Omonville-la-Petite puis, de mai 2017 à avril 2018, à 1 km du CNPE de Gravelines sous les vents dominants (point AS1). En complément des stations à moyen débit (80 m<sup>3</sup>/h soit un volume aspiré de l'ordre de 13 000 m<sup>3</sup> sur 7 jours), les performances du dispositif de prélèvement mobile (300 m<sup>3</sup>/h soit un volume aspiré de l'ordre de 50 000 m<sup>3</sup> sur 7 jours) associé à la métrologie la plus performante permettent de mesurer des niveaux très faibles de l'ordre de 0,01 µBq/m<sup>3</sup>.

En ce qui concerne les radionucléides d'origine naturelle, outre le béryllium, le plomb et le sodium déjà identifiés et dont les activités sont comparables à celles mesurées à Alençon (station IRSN 700 m<sup>3</sup>/h), des activités significatives des descendants des chaînes naturelles de l'uranium 238 et du thorium 232 ont également été mesurées sur certains échantillons. Trois valeurs significatives en thorium 234 ont ainsi pu être mesurées à Omonville-la-Petite et une à Gravelines sur la période considérée,

ainsi qu'une augmentation simultanée de l'activité naturelle en février et mars 2018 à Gravelines (Figure 46).

Les données acquises lors de ces campagnes de mesures ont également permis de quantifier des radionucléides artificiels présents dans les rejets atmosphériques de l'usine de la Hague (Figure 47) et du CNPE de Gravelines (Figure 48) qui ne sont pas détectés par les dispositifs de prélèvement utilisés dans le cadre de la surveillance régulière hormis pour l'iode 129 sous influence des rejets de la Hague.

Outre la présence d'iode 129 issu des rejets de l'usine de la Hague, l'analyse des filtres aérosols prélevés à Omonville-la-Petite a également confirmé la présence de césium 137 dont les activités varient entre  $0,033 \pm 0,019$  et  $1,71 \pm 0,19$  µBq/m<sup>3</sup>. Si on les compare aux activités mesurées à la station d'Alençon, située hors influence des rejets de l'usine de la Hague, les activités en césium 137 sont légèrement supérieures (l'activité maximum mesurée à Alençon sur la période 2016-2017 était de  $0,52 \pm 0,21$  µBq/m<sup>3</sup>). Les activités les plus importantes correspondent toutefois à des périodes où l'activité naturelle (<sup>40</sup>K, <sup>7</sup>Be, <sup>210</sup>Pb) est plus élevée du fait des conditions météorologiques qui auraient pu provoquer la remise en suspension des aérosols déposés.

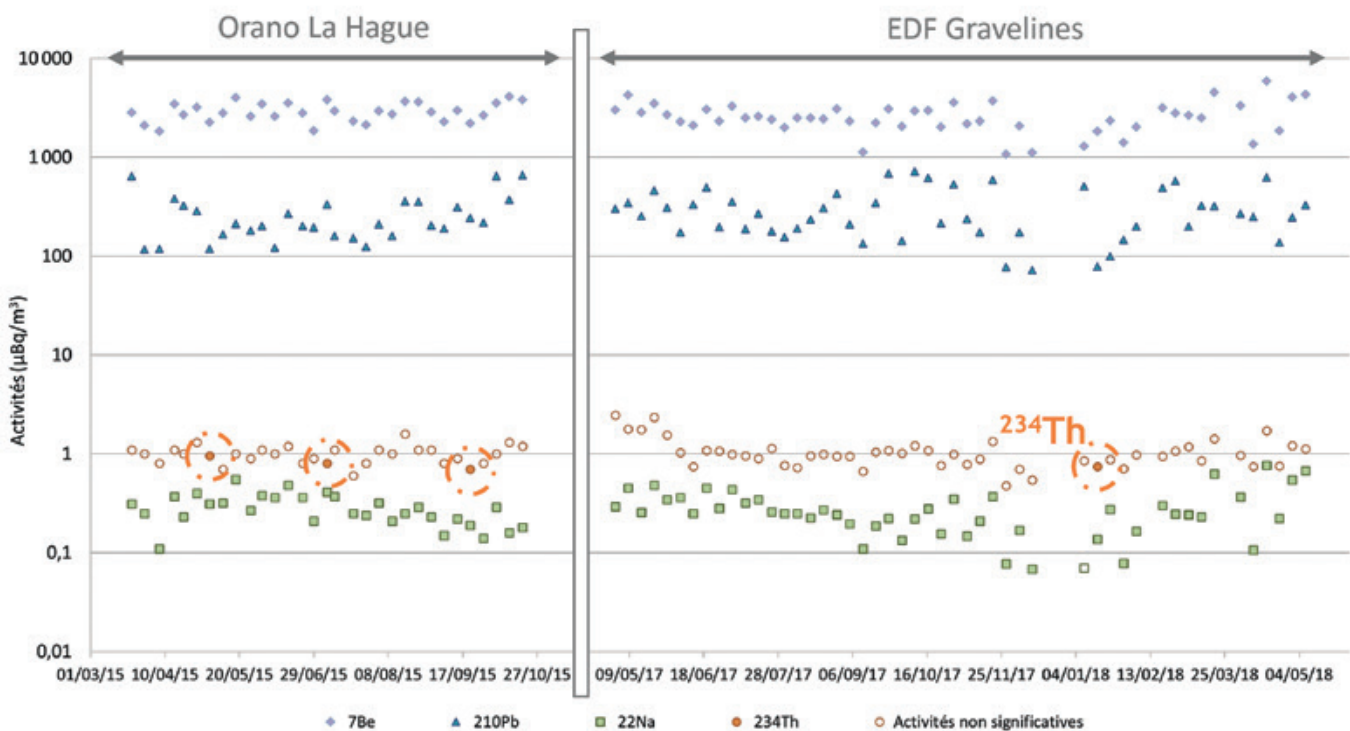


Figure 46 : Radionucléides naturels mesurés sur les aérosols atmosphériques à Omonville-la-Petite et à Gravelines

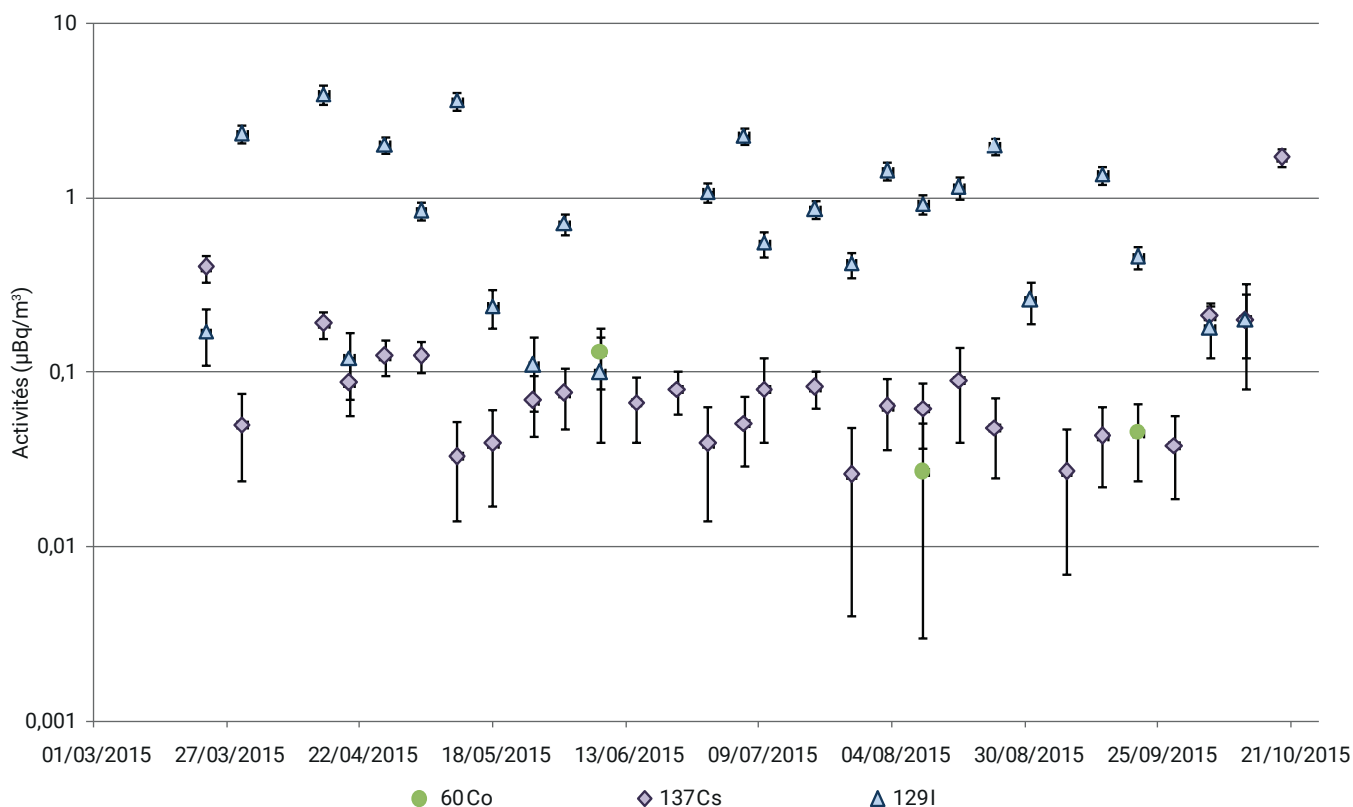


Figure 47 : Radionucléides artificiels mesurés sur les aérosols atmosphériques à la station IRSN d'Omonville-la-Petite entre mars et octobre 2015

Le cobalt 60 mesuré sur 3 des 31 filtres analysés (activités comprises entre  $0,03 \pm 0,02$  et  $0,13 \pm 0,05 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) est quant à lui directement lié aux rejets de l'usine de la Hague. Aucun autre radionucléide artificiel n'a été mis en évidence durant la période.

L'analyse des filtres prélevés sous influence du CNPE de Gravelines a également permis de mesurer des radionucléides artificiels émetteurs gamma (Tableau 20). Le césium 137 est le plus régulièrement détecté avec des activités légèrement supérieures au bruit de fond mesuré hors influence des rejets d'une installation nucléaire ( $0,07 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$  en moyenne à la station Alençon sur la période 2016-2017). Du cobalt 60 a également été détecté sur près de la moitié des filtres. À la différence du césium 137 rémanent des retombées atmosphériques, ce radionucléide n'est mesuré que sous influence des rejets des installations nucléaires.

Il est présent dans les rejets gazeux de l'usine de la Hague et dans ceux d'un CNPE comme le cobalt 58, l'argent 110m et le zirconium 95 également détectés, bien que plus ponctuellement, sur les filtres prélevés sous influence du CNPE de Gravelines (Figure 48).

Le fait que ces radionucléides soient rejetés en quantités plus importantes par le CNPE de Gravelines que par le site de la Hague explique en partie qu'ils ont été plus fréquemment décelés sur les filtres prélevés sous influence du CNPE de Gravelines que sur ceux prélevés à la Hague. La distance des stations de prélèvement d'aérosols par rapport aux points de rejet (environ 1 km à Gravelines contre 2 km à la Hague) et leur localisation par rapport à la rose de vent constituent également un paramètre influent.

Tableau 20 : Activités des principaux radionucléides d'origine artificielle mesurées au point AS1 du CNPE de Gravelines entre mai 2017 et avril 2018

Radionucléides	Activités en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (min - max)	Nombre de filtres sur lesquels le radionucléide a été mesuré (sur 52)
$^{58}\text{Co}$	$0,033 \pm 0,017$ $0,106 \pm 0,027$	5
$^{60}\text{Co}$	$0,044 \pm 0,023$ $1,338 \pm 0,226$	20
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$0,046 \pm 0,023$ $0,231 \pm 0,046$	7
$^{137}\text{Cs}$	$0,027 \pm 0,015$ $1,198 \pm 0,132$	38

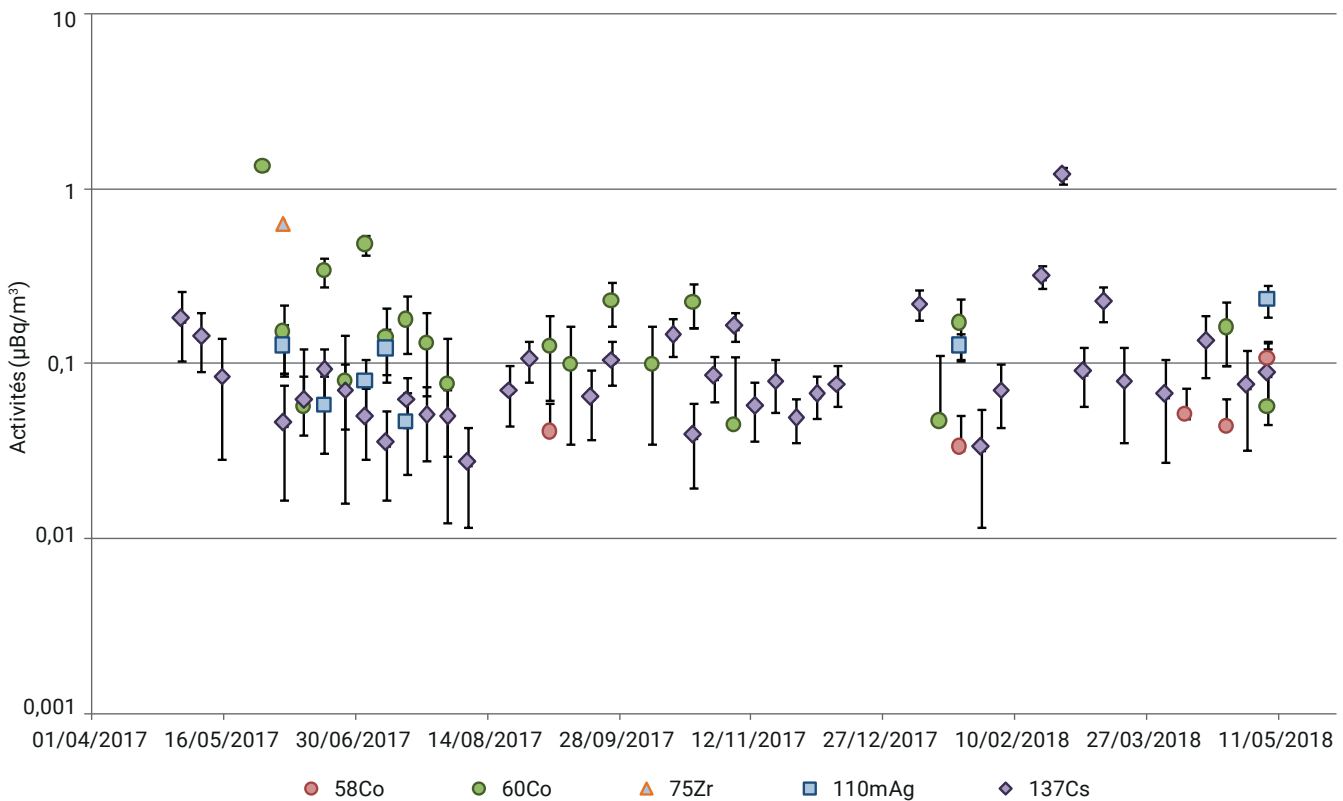


Figure 48 : Radionucléides artificiels mesurés sur les aérosols atmosphériques à la station AS1 du CNPE de Gravelines entre mai 2017 et avril 2018

## Exploitation des données disponibles sur le débit d'équivalent de dose ambient

Le débit d'équivalent de dose gamma ambient dans l'emprise géographique du constat a été étudié au travers de l'exploitation des données acquises par le réseau Téléray de l'IRSN, qui mesure en temps réel le débit de dose gamma ambient en France. Principalement dédié à l'alerte et à la détection d'une élévation anormale de la radioactivité dans l'air pouvant résulter d'un incident ou d'un accident, ces mesures de débit d'équivalent de dose sont également le reflet du rayonnement tellurique lié à la nature du sol, et du rayonnement cosmique lié à l'altitude du lieu considéré.

La Figure 49 présente les gammes d'activité du débit d'équivalent de dose gamma par département enregistré par les sondes du réseau Téléray de l'IRSN sur la période 2015-2017. En moyenne, on ne constate pas d'écart important entre les départements, hormis

le département de la Manche qui se situe dans la prolongation du massif armoricain pour lequel le bruit de fond est un peu plus élevé.

Sur la même période, en s'intéressant de façon plus détaillée au débit de dose enregistré par chaque balise, des différences locales peuvent être relevées, liées tant à la nature du sol qu'à l'environnement proche, la mesure pouvant être influencée par la configuration du lieu (notamment la présence de bâtiments pouvant être construit avec des matériaux naturellement plus radioactifs).

Le débit de dose fluctue également au cours de l'année en fonction des conditions climatiques et variations saisonnières. La figure suivante présente les données enregistrées sur l'année 2016 par la balise implantée à Amiens (choisie pour sa localisation hors influence d'une installation nucléaire). Le débit de dose varie au cours de l'année avec une augmentation sur les mois d'hiver durant lesquels, comme pour les aérosols atmosphériques, les caractéristiques des masses d'air et les conditions météorologiques (pluies notamment) favorisent la concentration de la radioactivité naturelle au niveau du sol, notamment des descendants des chaînes de l'uranium et du thorium.

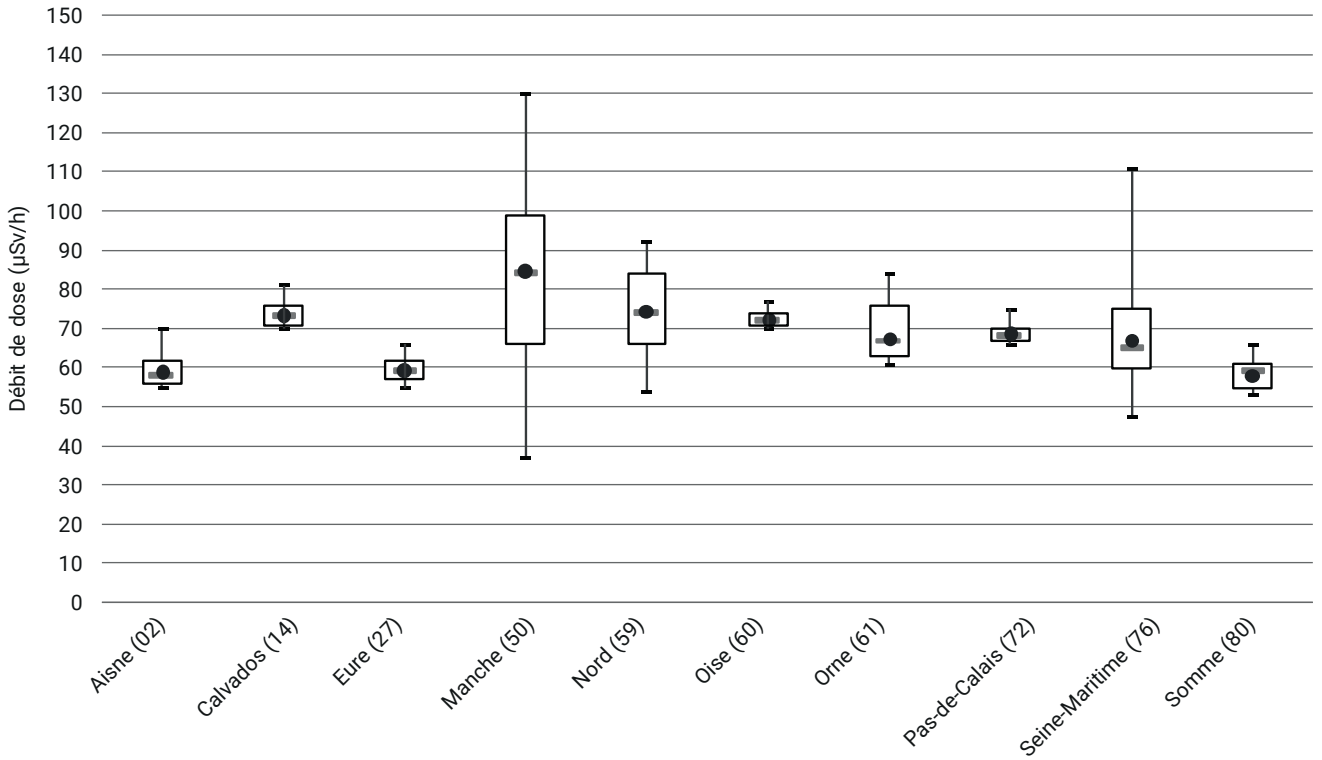


Figure 49 : Gammes d'activité du débit de dose gamma ambiant par département sur la période 2015-2017<sup>(14)</sup>

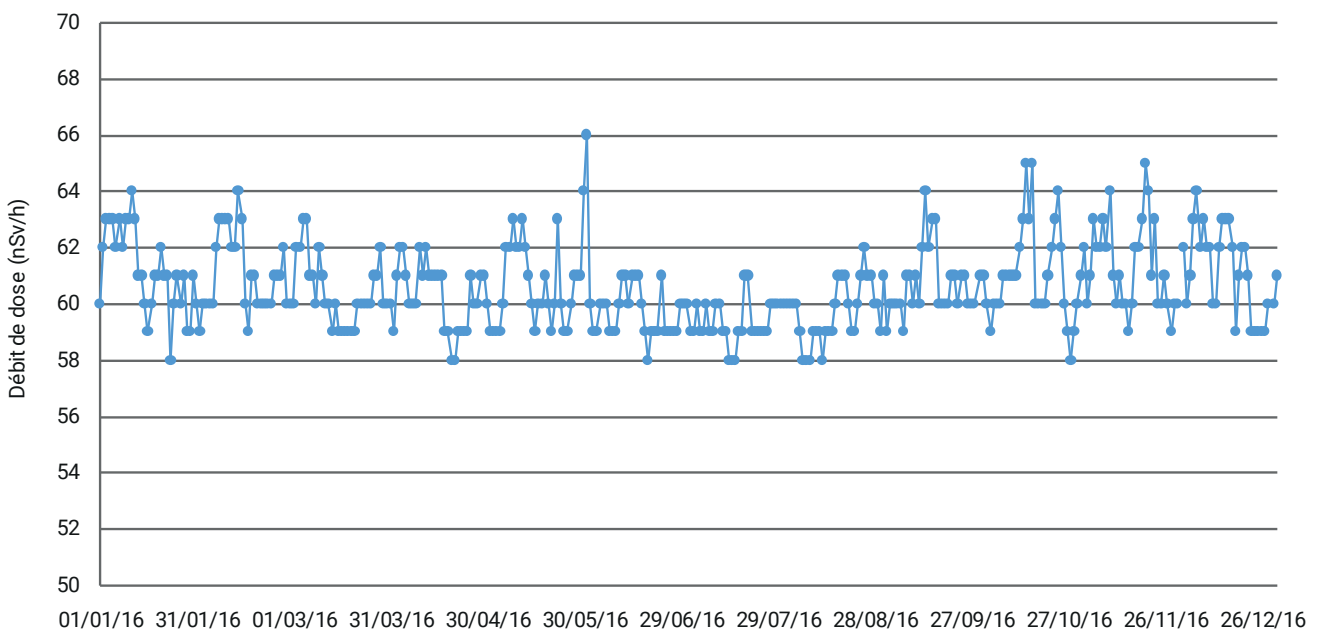


Figure 50 : Débit de dose gamma ambiant enregistré à Amiens en 2016 (moyenne journalière)

14 Valeurs minimum et maximum, moyenne (rond plein), médiane (barre) et les quantiles 90 % et 10 %.

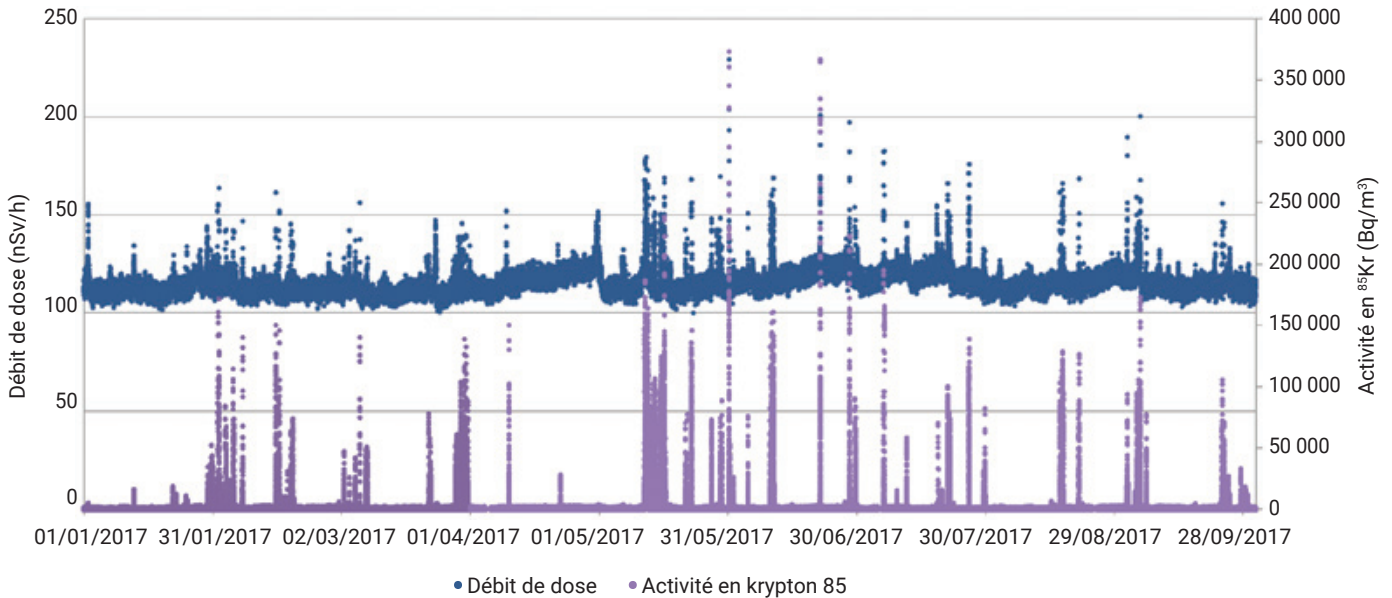


Figure 51 : Débit de dose gamma ambiant et activité en krypton 85 mesurés à la station d'Omonville-la-Petite

Dans le cas de l'usine de la Hague, les rejets de krypton 85 lors des opérations de cisailages des combustibles irradiés présentent des activités parfois élevées (de l'ordre de quelques milliers de Bq/m<sup>3</sup>) qui sont détectées et identifiées par la balise de spectrométrie gamma implantée sur la plateforme IRSN d'Omonville-la-Petite, avec des augmentations parfois importantes mais très ponctuelles du débit d'équivalent de dose gamma ambiant. Des pics de débit d'équivalent de dose pouvant dépasser les 200 nSv/h par heure, qui se distinguent des variations dues aux conditions climatiques, sont ainsi mesurés (Figure 51).

Si l'on superpose l'activité en krypton 85 avec la mesure du débit de dose réalisée par la sonde Téléray située au même point sur un pas de temps assez court (les mesures sont réalisées toutes les 10 mn), on constate une très bonne corrélation entre les pics vus par la sonde et ceux de la balise de spectrométrie gamma [1].

## Le tritium dans les eaux de pluie

La surveillance du compartiment atmosphérique à proximité des installations nucléaires est complétée par un réseau de collecteurs d'eau de pluie disposés sous les vents dominants. Dans le cadre de la surveillance régulière, les précipitations sont relevées à fréquence hebdomadaire et mesurées mensuellement.

En dehors de tout évènement, le principal radionucléide recherché est le tritium. L'IRSN réalise également une mesure par spectrométrie gamma sur les prélèvements d'eau de pluie collectés autour de cer-

taines installations présentes sur le territoire du constat (la Hague, SOMANU). Seul le béryllium 7 d'origine naturelle est régulièrement mesuré sur les eaux de pluie, aucun autre radionucléide (notamment artificiel) n'étant détecté du fait de niveaux d'activités trop faibles.

Dans le cadre du constat, la fréquence des mesures de tritium a été augmentée (analyse hebdomadaire au lieu de mensuelle) autour des 4 CNPE et de l'usine de la Hague de janvier 2016 à mars 2017 afin de mieux percevoir l'influence des rejets sur la concentration en tritium de l'atmosphère. La Figure 52 présente les résultats de mesure des prélèvements d'eau de pluie réalisés sous influence des 4 CNPE.

Les activités mesurées sous influence des CNPE sont comprises entre  $0,75 \pm 0,71$  Bq/L à Penly (proche du seuil de décision) et  $11,9 \pm 1,3$  Bq/L à Paluel sur la période allant du 15 au 22 mars 2017. Bien que faibles comparativement à des activités qui pouvaient atteindre 600 Bq/L dans les années 60 du fait des retombées des essais de tirs atmosphériques, elles se distinguent en moyenne sur la période du bruit de fond qui va de moins de 1 à 2 Bq/L pour les eaux de pluie. Les plus grandes variations sont mesurées à proximités des CNPE de Paluel et de Gravelines, ce qui peut être mis en relation avec le nombre de tranches de ces sites (4 tranches 1300 MWé à Paluel et 6 tranches 900 MWé à Gravelines). Les niveaux en tritium dans l'eau de pluie sous influence des rejets de l'usine de la Hague sont plus élevés avec un maximum de  $24,30 \pm 2,14$  Bq/L mesuré en janvier 2017.

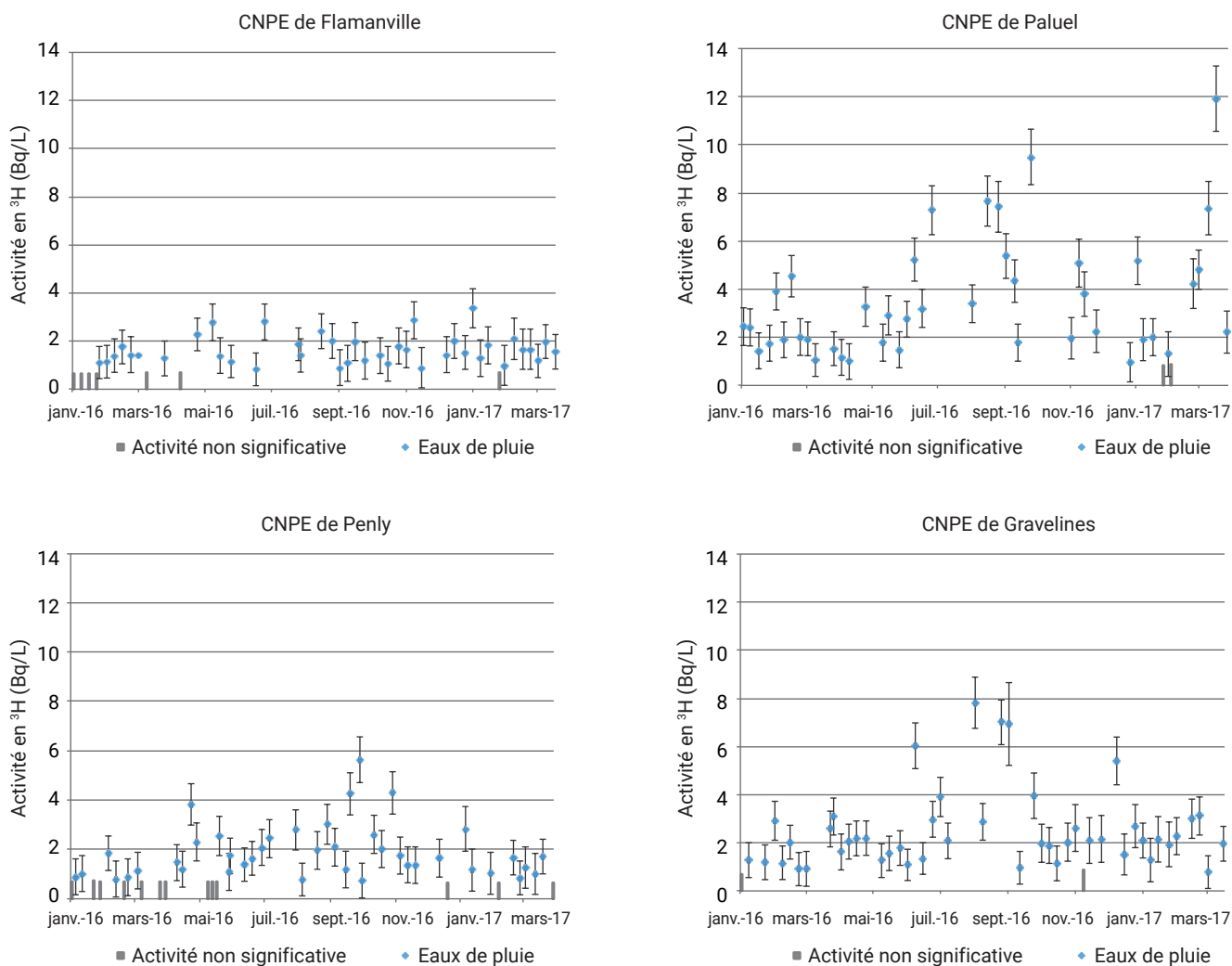


Figure 52 : Activités en tritium mesurées dans les eaux de pluies à proximité des 4 CNPE présents sur le territoire du constat

Les expérimentations menées dans le cadre du constat ont également amené l'IRSN à s'interroger sur l'activité en tritium dans les eaux de pluie mesurée à la station Gréville-Hague (station AS1), plutôt faibles comparativement aux rejets des installations de la Hague. La moyenne des activités mesurées entre 2016 et 2017 apparaît ainsi en-dessous de la moyenne des activités mesurées sur la même période sous influence du CNPE de Flamenville (Tableau 21). L'IRSN a donc décidé d'installer un second collecteur d'eau de pluie à la station d'Omonville-la-Petite, mieux positionnée par rapport aux vents dominants, afin de réaliser une comparaison (Figure 53). Sur la période d'octobre 2016 à mai 2017, on constate une influence beaucoup plus marquée sur la station d'Omonville-la-Petite, qui reflète mieux, de par son positionnement géographique, l'influence réelle des rejets de l'usine de la Hague.

Tableau 21 : Synthèse des activités en tritium mesurées sur les eaux de pluie entre janvier 2016 et mars 2017

Activité en $^3\text{H}$ (Bq/L)	Minimum	Maximum	Moyenne
Flamenville	$0,82 \pm 0,69$	$3,37 \pm 0,82$	$1,64 \pm 0,74$
Paluel	$0,96 \pm 0,83$	$11,90 \pm 1,36$	$3,55 \pm 0,86$
Penly	$0,75 \pm 0,71$	$5,63 \pm 0,94$	$1,88 \pm 0,77$
Gravelines	$7,81 \pm 1,06$	$0,77 \pm 0,68$	$2,50 \pm 0,81$
La Hague (station IRSN Omonville-la Petite)	$1,46 \pm 0,75$	$24,30 \pm 2,14$	$7,85 \pm 1,07$
La Hague (station Gréville-Hague - AS1)	$0,83 \pm 0,68$	$3,22 \pm 0,87$	$1,56 \pm 0,74$

Fort de ce constat, le collecteur d'eau de pluie IRSN a été définitivement déplacé à Omonville-la-Petite, permettant par la même occasion de rassembler au même point l'ensemble des équipements et appareils de mesure de l'Institut (sonde Téléray, balise de spectrométrie gamma, barboteur et piègeur passif tritium, station aérosols et collecteur d'eau de pluie) dédiés à la surveillance des rejets atmosphériques des installations de la Hague.

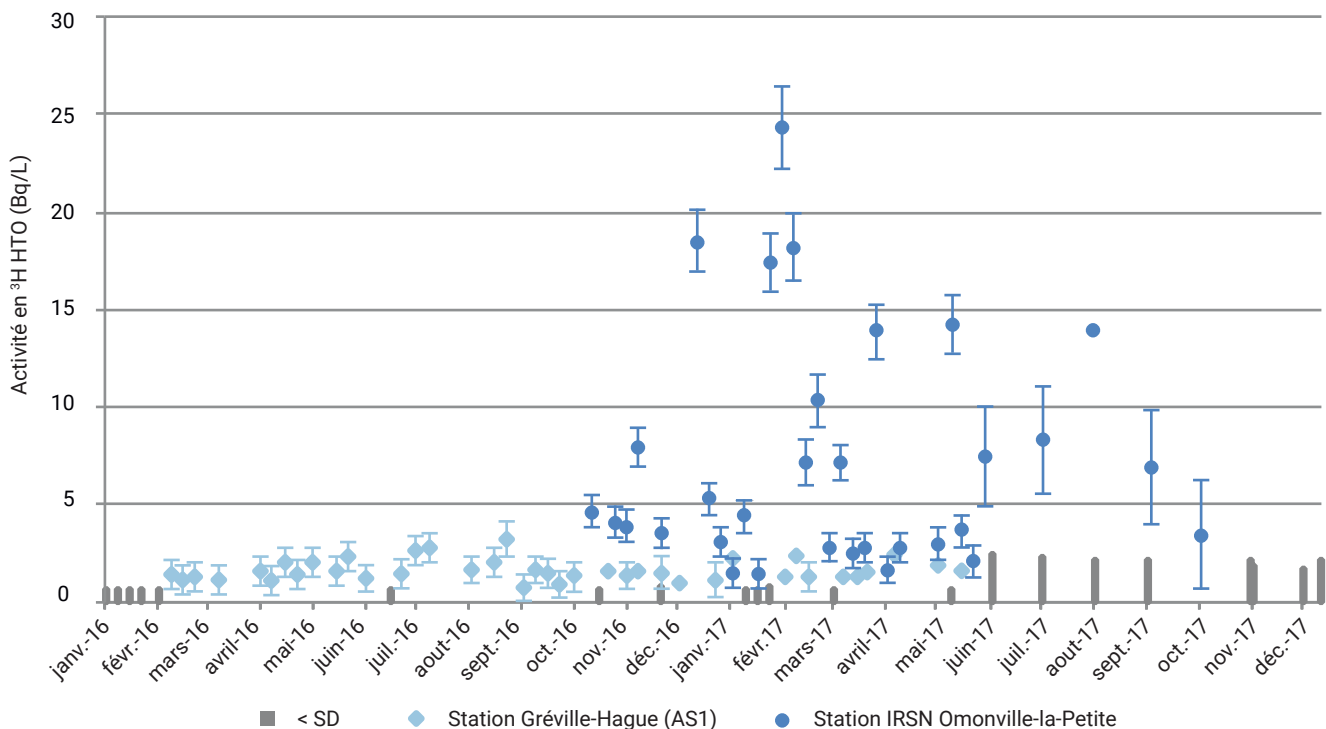
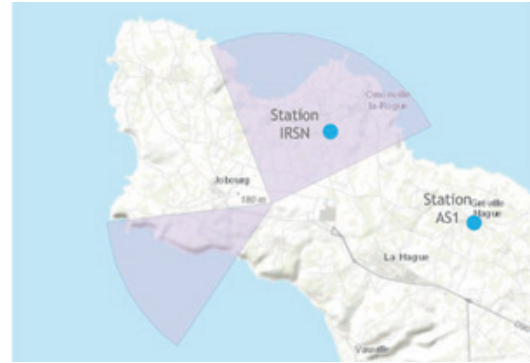


Figure 53 : Activités en tritium mesurées dans les eaux de pluies à proximité de l'usine de la Hague

## Synthèse sur le bruit de fond dans le milieu atmosphérique

Dans le cadre du volet atmosphérique du constat, l'accent a été mis sur le renforcement de la connaissance des niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle dans les différents compartiments de l'air. La présence de plusieurs radionucléides émetteurs gamma imputables aux rejets atmosphériques des installations nucléaires tels que les cobalts 58 et 60, l'iode 129 ou l'argent 110m a ainsi été mise en évidence, de même que l'influence des installations sur les niveaux en tritium dans les eaux de pluie. Les niveaux observés en césium 137 n'ont en revanche pas permis de distinguer une éventuelle contribution des rejets des installations par rapport au bruit de fond issu des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

## 5 4 CARTOGRAPHIE DU BRUIT DE FOND DANS LE MILIEU TERRESTRE

Comme évoqué dans le chapitre précédent, le milieu terrestre et ses différentes composantes sont directement influencés par le milieu atmosphérique et, dans une moindre mesure, par le milieu aquatique. Il a en particulier été influencé par les retombées des essais atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl dont le sol constitue aujourd'hui le principal témoin. L'objectif de ce chapitre est de présenter les résultats acquis dans le cadre du constat qui ont contribué à alimenter la connaissance sur le bruit de fond dans les sols, les végétaux terrestres et les denrées prélevées à proximité mais surtout à distance des installations nucléaires, là où les données disponibles étaient les moins nombreuses.

## La rémanence des essais atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl

En raison de leur baisse régulière dans les différents compartiments de l'environnement, les niveaux d'activités des radionucléides rémanents des retombées anciennes sont devenus pour la plupart trop faibles pour être quantifiés malgré l'utilisation de moyens de prélèvement et de mesure toujours plus performants. Ce constat général s'applique au compartiment terrestre malgré le caractère intégrateur de plusieurs matrices, et ce d'autant plus que, comme le montre la Figure 54, le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France n'a été que peu impacté par les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Le premier témoin de l'impact de ces retombées est le césium 137 dans les sols. Les campagnes de prélèvements et de mesures qui ont suivi l'accident de Tchernobyl s'étant focalisées sur les régions les plus impactées, relativement peu de données sont disponibles concernant le quart nord-ouest de la France. Les quelques mesures réalisées à l'époque n'avaient cependant pas montré d'élévation significative de l'activité en césium 137 dans les sols (données IRSN) et les activités mesurées se situaient entre 5 et 20 Bq/kg sec, comme avant l'accident.

Afin de disposer d'une connaissance actualisée des niveaux d'activité en césium 137 dans les sols, il a été décidé de réaliser dans le cadre du constat, des mesures par spectrométrie gamma *in situ* et des prélèvements de sols sur l'ensemble des départements du constat, à proximité des installations et hors influence de celles-ci (souvent dans le chef-lieu de département). La Figure 55 présente la localisation de ces prélèvements et les activités mesurées avec les deux méthodes.

Les mesures réalisées confirment que les activités en césium 137 dans les sols sont faibles sur cette partie du territoire. Les résultats obtenus avec les 2 techniques de mesures (gamma *in situ* et mesure au laboratoire sur un prélèvement de sol) sont proches et, bien qu'elles restent quantifiables, les activités en césium 137 continuent de diminuer en l'absence de nouveaux apports. Le niveau moyen mesuré dans les sols des départements de la Normandie et des Hauts-de-France se situe donc, d'après les mesures réalisées, autour de 3 Bq/kg frais qui sont, dans la majeure partie de ce territoire, l'héritage des retombées des essais atmosphériques plutôt que de l'accident de Tchernobyl. Sur les 19 échantillons de sols mesurés en spectrométrie gamma, aucune activité significative en américium 241 n'a été mise en évidence car toutes étaient inférieures à des seuils de décisions compris entre 0,17 et 0,63 Bq/kg frais.

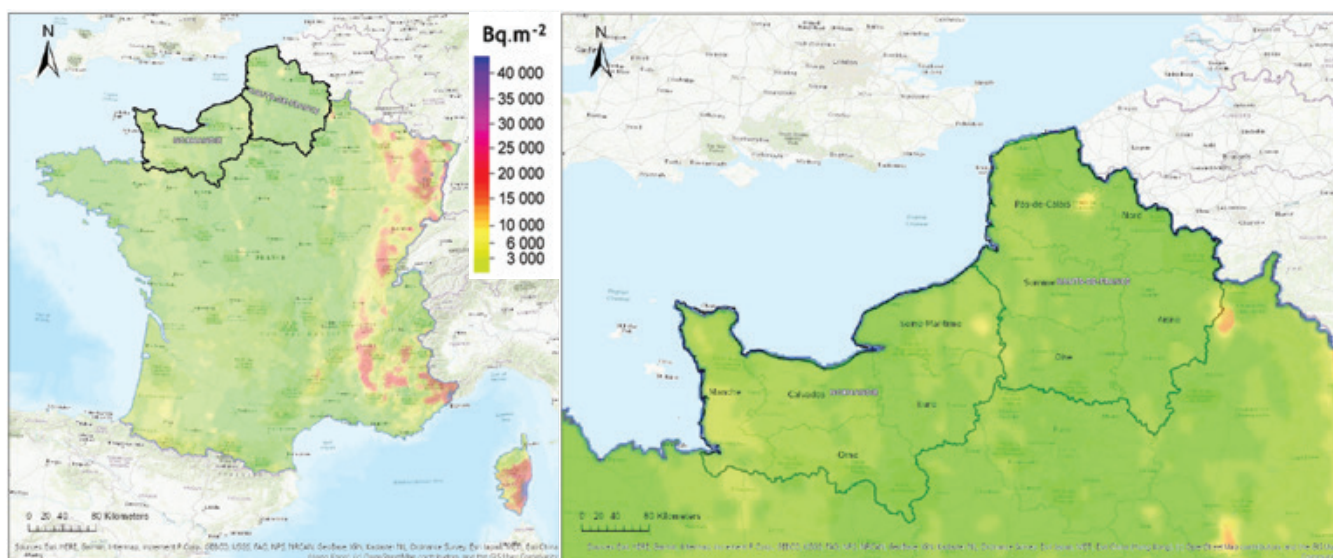


Figure 54 : Dépôts au sol de césium 137 venant de l'accident de Tchernobyl (reconstitution mise à jour en 2005)





## Niveaux d'activités mesurés dans les denrées et les productions emblématiques

Sur l'ensemble du volet terrestre du constat Normandie et Hauts-de-France, 36 prélèvements de denrées ont été réalisés dont 12 considérés comme des productions emblématiques (AOP, AOC ou IGP) du territoire. Des analyses en spectrométrie gamma ont été réalisées après calcination sur chacun des échantillons afin d'abaisser au maximum les limites de détection. Il en ressort que très peu d'échantillons présentent des résultats significatifs pour les radionucléides artificiels et que lorsque c'est le cas, seul le césium 137 est mis en évidence. Malgré les efforts mis en œuvre pour essayer d'abaisser les limites de détection, les activités mesurées en césium 137 sont très proches des seuils de décision et confirment les niveaux d'activités mesurés en dehors des zones de rémanences des retombées anciennes. Ces activités significatives ont été observées sur les prélèvements de pommes de terre, choux fleur et betteraves réalisés dans les départements du Nord et du Pas-de Calais ; elles sont comprises entre 0,05 et 0,18 Bq/kg sec.

Les activités massiques de césium 137 mesurées dans les trois échantillons de viande de cheval prélevés dans le cadre de ce constat sont de 0,03 Bq/kg frais dans l'Orne près d'Alençon, 0,06 Bq/kg frais près de Paluel et 0,78 Bq/kg frais près de Yvetot en Seine Maritime. Cette dernière valeur se situe dans la fourchette

haute des valeurs usuellement mesurées dans la viande en France en dehors des zones de rémanence des retombées anciennes (comprises entre 0,02 et 0,8 Bq/kg frais) [1]. Il est possible que les fourrages qui ont été donnés aux animaux n'aient pas été produits localement et proviennent de régions plus touchées par les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Cinq échantillons de cidre prélevés sous influence et hors influence des installations nucléaires de la Manche et du Calvados ont également été mesurés par spectrométrie gamma, et aucun radionucléide artificiel n'a pu y être mis en évidence.

Afin de disposer de valeurs actualisées du bruit de fond, des mesures de plutonium 238 et 239+240 et d'américium 241 ont également été pratiquées sur six échantillons de denrées végétales (pommes de terre et chou-fleur) prélevées dans des zones situées à distance de l'influence potentielle d'une installation nucléaire, dans les départements de la Manche, de l'Orne, du Nord et du Pas-de-Calais. Du plutonium 238 a pu être quantifié dans un prélèvement de pomme de terre réalisé dans le département du Nord, de même que du plutonium 239+240 dans cinq prélèvements de pommes de terre et de chou-fleur, et de l'américium 241 dans deux prélèvements. Les activités massiques sont présentées sur la Figure 56. Les niveaux mesurés sont conformes avec les niveaux usuels, notamment en plutonium 239+240 qui se situent en France entre  $10^{-5}$  et  $10^{-2}$  Bq/kg frais et correspondent au bruit de fond issu des retombées des tirs atmosphériques [1].

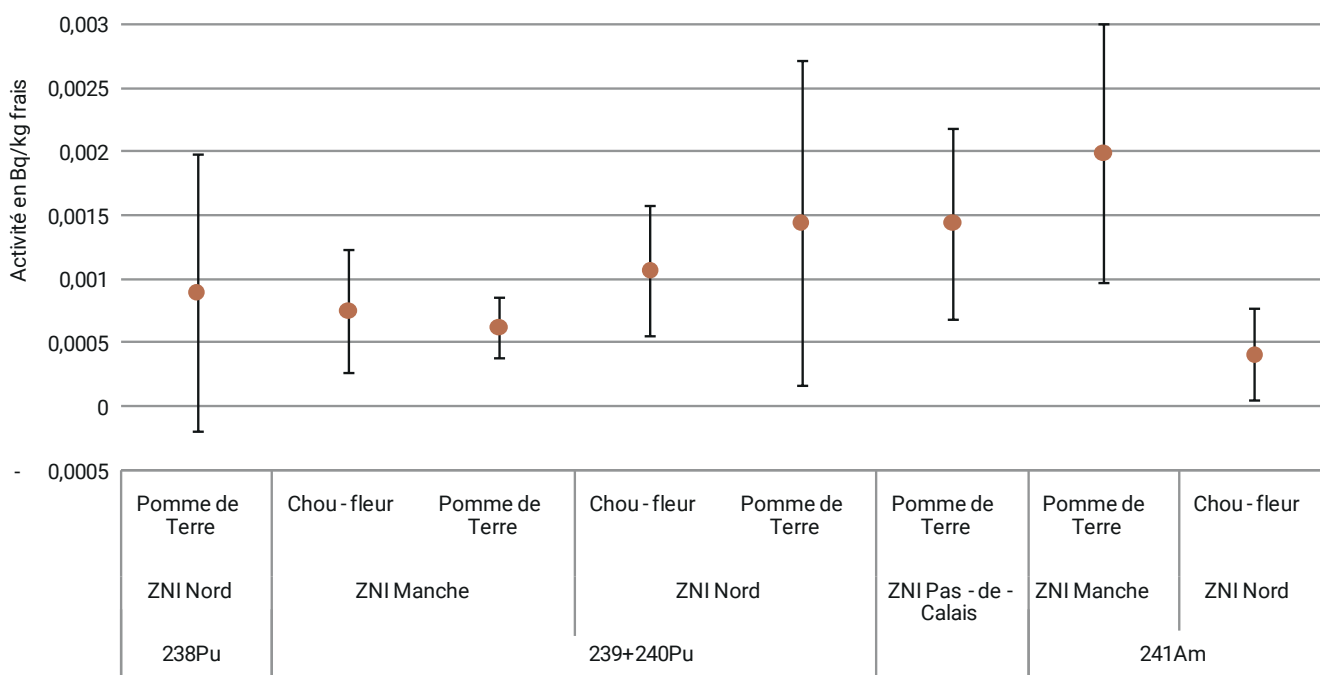


Figure 56 : Activités significatives des transuraniens mesurées dans les denrées

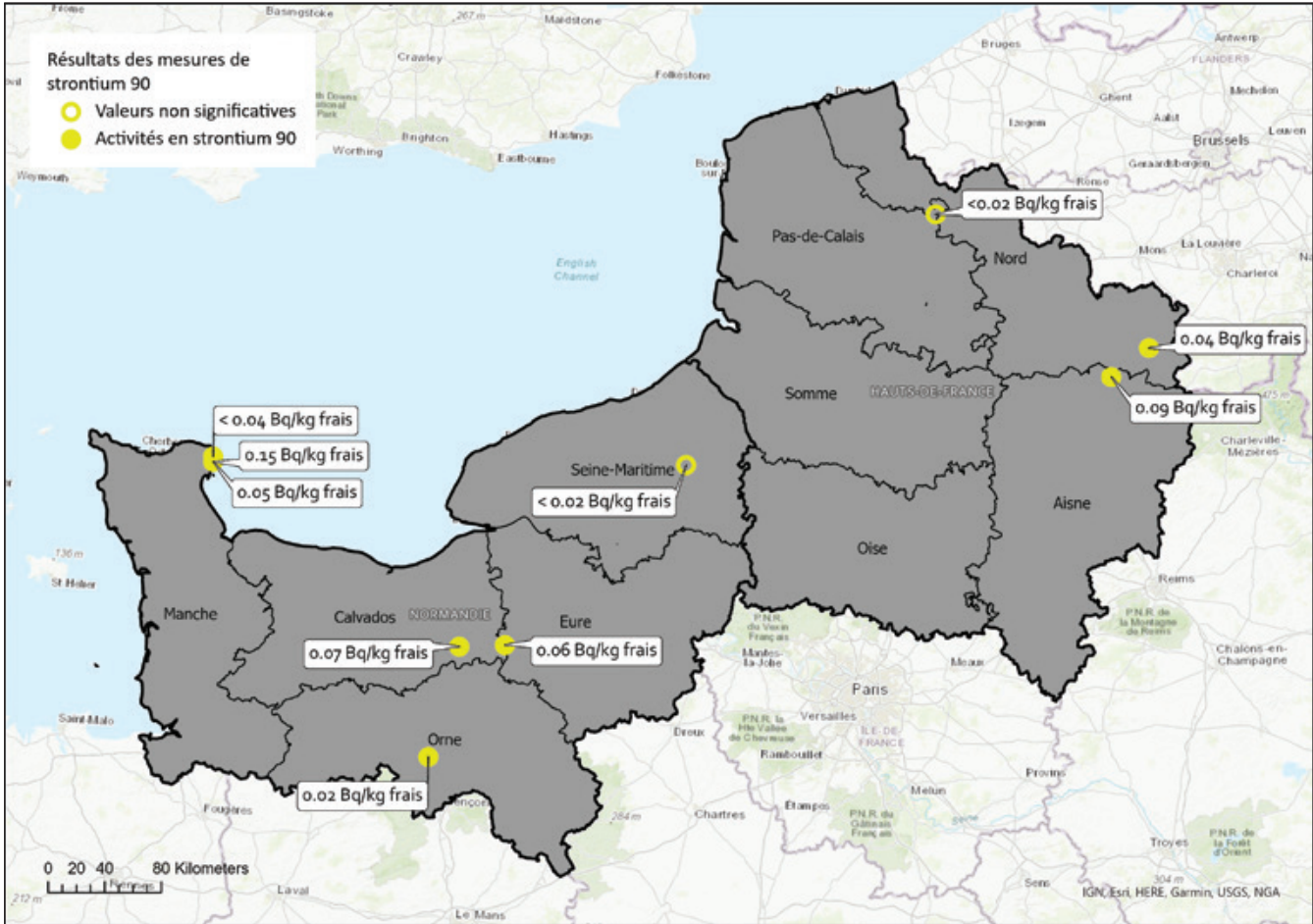


Figure 57 : Activités en strontium 90 mesurées dans les denrées

De la même manière, les activités de strontium 90 mesurées sur 10 prélèvements situées en zone éloignée des installations nucléaires dans l'Orne, le Calvados, la Manche, l'Eure, la Seine-Maritime, l'Aisne, le Nord et le Pas-de-Calais, comprises entre 0,02 à 0,15 Bq/kg frais (Figure 57), se trouvent dans la gamme du bruit de fond radiologique (0,01 à 0,2 Bq/kg frais) [1].

Enfin deux échantillons de légumes (choux fleurs et poireaux) prélevés dans le département de la Manche, hors influence des rejets d'une installation nucléaire (à l'extrémité est de la presqu'île du Cotentin), ont fait l'objet d'une mesure de carbone 14. Les niveaux mesurés sont très proches ( $231,7 \pm 2,1$  et  $232,7 \pm 2,0$  Bq/kg de C) et dans la gamme du bruit de fond du carbone 14 en milieu terrestre sur la période de prélèvement.

## Cartographie des niveaux de tritium en milieu terrestre

Les niveaux de tritium organiquement lié dans des végétaux (herbes et légumes) ont été ponctuellement mesurés sur le territoire du constat en un point par département hors influence des installations nucléaires et en un point proche de chacune d'elles afin de disposer d'une cartographie à l'échelle du territoire du constat. Les activités mesurées sont présentées sur la Figure 58.

Les niveaux relevés sont faibles, du même ordre de grandeur que l'activité en tritium organiquement lié mesuré hors de l'influence des installations nucléaires en France [1]. Les seules valeurs

supérieures à 2 Bq/L d'eau de combustion ont été détectées sur les prélèvements réalisés à proximité de l'usine de la Hague et des quatre CNPE présents sur le territoire du constat, c'est-à-dire à proximité des sites qui rejettent régulièrement du tritium. En lien avec les quantités de tritium rejetées sous forme gazeuse dans l'atmosphère par l'usine de retraitement de la Hague, l'activité la plus forte ( $7,3 \pm 0,8$  Bq/L d'eau de combustion) a été mesurée à proximité du site. Les activités mesurées à proximité des quatre CNPE sont elles aussi assez proches et comprises entre  $2,3 \pm 0,75$  et  $3,6 \pm 0,7$  Bq/L d'eau de combustion.

Les deux valeurs figurant sur la carte pour le GANIL à Caen (Calvados) sont des moyennes des prélèvements effectués (1,8 et 1,9 Bq/L d'eau de combustion). Le détail de ces valeurs est décrit dans le chapitre spécifique au point zéro réalisé près de l'installation (paragraphe 6.7).

## Synthèse sur le bruit de fond dans le milieu terrestre

Le volet terrestre a porté sur l'acquisition de données complémentaires sur les niveaux d'activités dans les denrées représentatives des territoires étudiés (fromages, pommes de terre, lingots du nord...) et les indicateurs biologiques habituellement prélevés dans le cadre de la surveillance de routine (végétaux terrestres), avec notamment une actualisation des données relatives au tritium dans les herbes hors influence des rejets des installations nucléaires. Une cartographie des niveaux en césium 137 dans les sols a également été réalisée à proximité et à distance des installations nucléaires, qui serait utile pour évaluer les conséquences d'un éventuel accident sur une installation nucléaire.

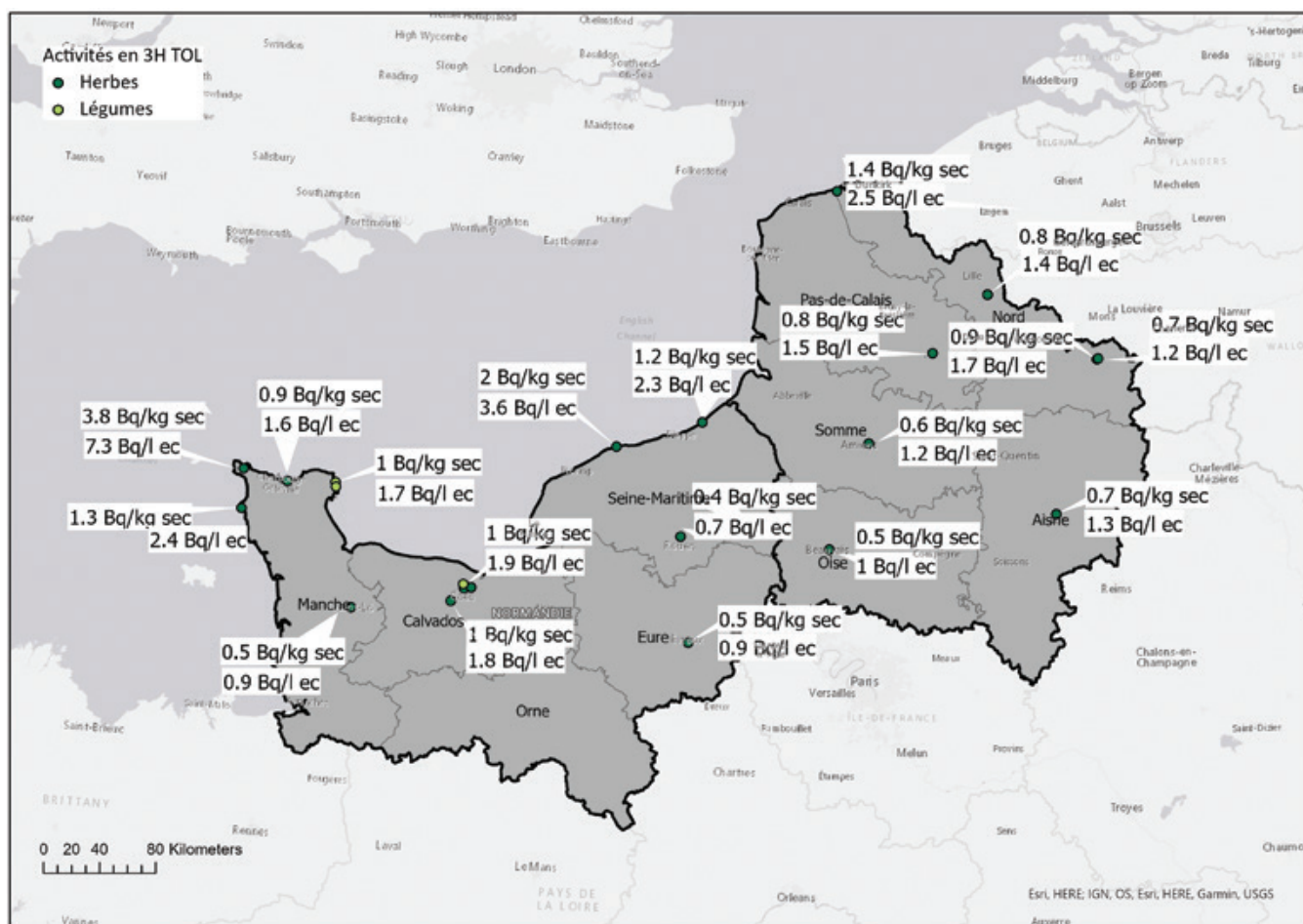


Figure 58 : Activités de tritium organiquement lié mesurées dans les végétaux terrestres

## ÉTUDES MENÉES DANS LE CADRE DU CONSTAT NORMANDIE ET HAUTS-DE-FRANCE

**E**n complément des travaux menés pour améliorer la connaissance du bruit de fond, l'IRSN s'est également attaché dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France à prendre en compte les attentes formulées par les membres du comité de suivi. Ces préoccupations concernaient différents aspects liés à l'impact des activités nucléaires sur leur territoire ou à la mise à jour d'études menées par l'IRSN dans le passé. Afin d'apporter des éléments de réponse aux acteurs locaux, l'IRSN a procédé à une analyse des données acquises par d'autres acteurs ou, lorsqu'aucune donnée n'était disponible, en réalisant des prélèvements et analyses spécifiques qui, par ailleurs, ont contribué à enrichir la connaissance de l'état radiologique de ce territoire.

### 6 1 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

#### Nappes phréatiques sous les installations nucléaires

Au titre de leur surveillance réglementaire, les exploitants d'installations nucléaires ont pour obligation de surveiller la qualité, notamment radiologique, des eaux souterraines dans l'environnement de leur installation, par la réalisation de prélèvements dans les nappes phréatiques. De son côté, contrairement aux autres compartiments de l'environnement, l'IRSN n'est pas en mesure de réaliser une surveillance de ces eaux de nappes indépendante de celle des exploitants, les piézomètres étant en général situés dans l'enceinte des sites nucléaires.

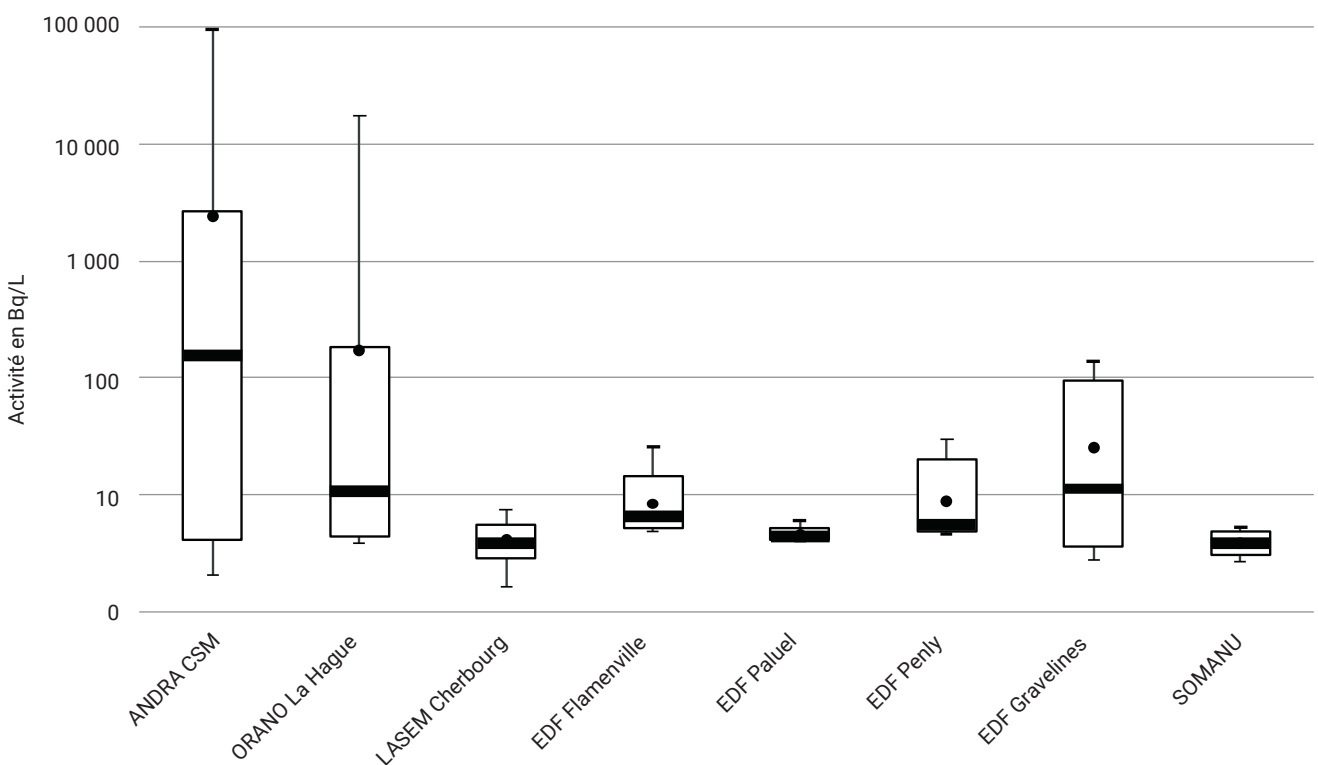


Figure 59 : Gammes d'activités de tritium mesurées dans les eaux de nappe dans le périmètre des sites sur la période 2016-2017 (donnée RNM)<sup>(15)</sup>

<sup>15</sup> Valeurs minimum et maximum, moyenne (rond plein), médiane (barre) et les quantiles 90 % et 10 %.

En réponse à la demande du comité de suivi d'étudier le marquage des eaux souterraines et à défaut de pouvoir réaliser une campagne de prélèvements dédiée, ce chapitre se propose d'étudier les données transmises par les exploitants nucléaires au RNM sur la période 2016-2017.

Sur la période considérée, le RNM compte 2 748 prélèvements et 8 313 mesures répartis entre les différents exploitants d'installations nucléaires présents sur le territoire du constat. Parmi ces exploitants, comme pour la plupart des autres types de prélèvements, Orano la Hague est le plus important fournisseur de données. L'ANDRA réalise également un nombre important de mesures en lien avec les pollutions historiques en tritium de la nappe du Centre de stockage de la manche (CSM). Parmi les analyses effectuées sur ces prélèvements, tous producteurs compris, les mesures de tritium représentent 32 % des valeurs significatives. Parmi les autres mesures, (902) sont rarement supérieures au seuil de décision (165) et correspondent aux descendants de l'uranium 238 et du thorium 232, ainsi qu'au potassium 40.

Si on se focalise sur les marquages en tritium, l'étude des résultats disponibles dans le RNM montre que les activités les plus élevées mesurées dans les eaux de nappes phréatiques concernent le CSM. La Figure 59 présente les gammes d'activité en tritium mesurées au niveau des différents sites nucléaires présents sur le territoire du constat pour lesquels, en dehors du site de la Hague

et dans une moindre mesure du site de Gravelines, les activités mesurées sont de l'ordre d'une dizaine de Bq/L.

Aucun marquage particulier en tritium n'a été identifié sur les sites de la base navale de Cherbourg et de la SOMANU à Maubeuge. Concernant les quatre CNPE inclus dans le périmètre du constat, la situation varie selon les sites. Le site de Gravelines est le site où les activités en tritium les plus importantes sont mesurées, en lien avec des événements antérieurs à la période ayant entraîné un marquage de la nappe.

Pour le cas particulier du site de la Hague, la Figure 60 détaille les gammes d'activités mesurées au niveau des différents piézomètres du CSM et de l'usine de la Hague sur la période 2016-2017 (Figure 60). On peut constater une grande disparité des activités mesurées selon la localisation du piézomètre, avec des activités en tritium de moins de 10 Bq/L et d'autres de plus de 10 000 Bq/L, voire proches de 100 000 Bq/L, les activités les plus importantes étant mesurées au niveau du CSM. La Figure 61 permet de localiser les piézomètres dont sont issues les eaux les plus marquées et qui se situent dans la partie nord du site ainsi qu'à l'extérieur du site (nord-ouest) avec des activités qui peuvent dépasser 10 000 Bq/L. Un marquage en tritium est également visible au niveau des eaux prélevées à l'ouest du site de la Hague (piézomètre 279) avec une activité qui varie entre 1 000 et 1 400 Bq/l depuis 2010.

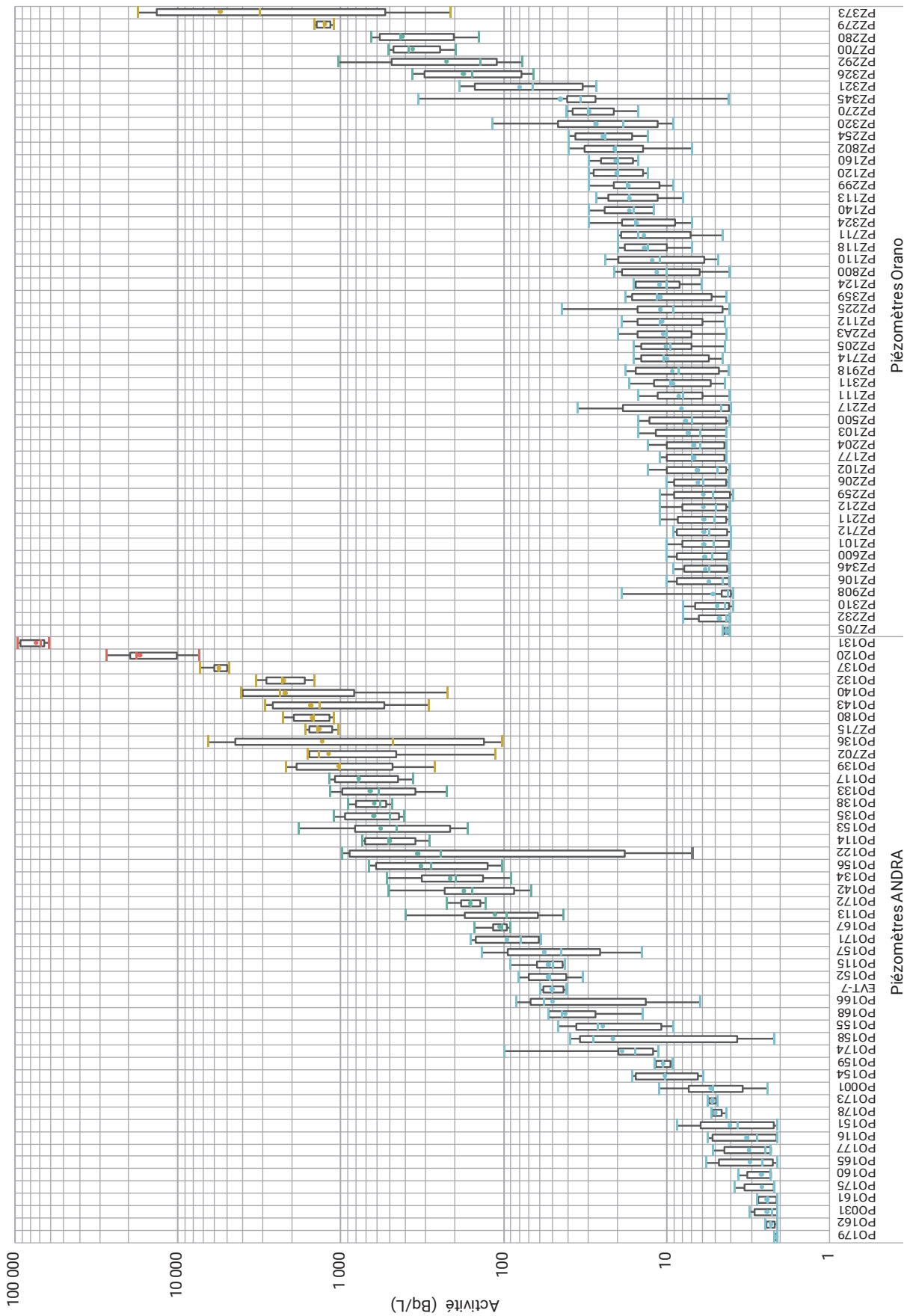
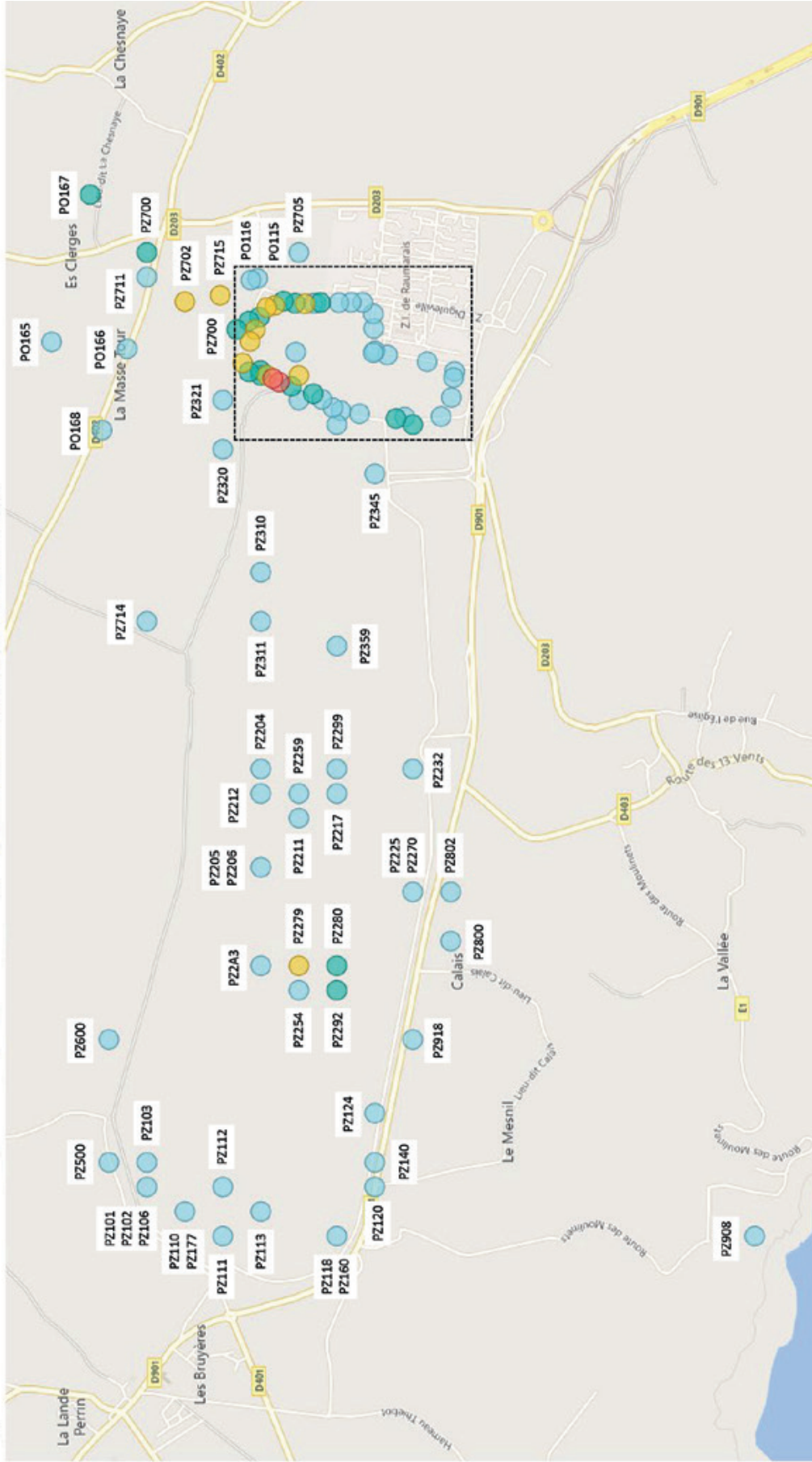


Figure 60 : Gammes d'activité de tritium dans les eaux de nappe prélevées au niveau des différents piézomètres du CSM et de l'établissement Orano de la Hague sur la période 2016-2017<sup>(16)</sup>

16 Le point EVT7 figurant parmi les mesures de tritium sur les eaux de nappes déclarées par l'ANDRA au RNM, ne correspond pas à un piézomètre mais à un pompage dans la nappe phréatique en limite sud-ouest du CSM.

Moyenne de l'activité en tritium ● 0 à 100 Bq/L ● 100 à 1000 Bq/L ● 1000 à 10000 Bq/L ● Plus de 10000 Bq/L





Moyenne de l'activité en tritium ● 0 à 100 Bq/L ● 100 à 1000 Bq/L ● 1000 à 10000 Bq/L ● Plus de 10000 Bq/L



Figure 61 : Activité moyenne du tritium dans les eaux de nappe prélevées au niveau des différents piézomètres du CSM et de l'établissement Orano de la Hague sur la période 2016-2017 (source RNM)

## Eaux de consommation humaine sur le territoire du constat

Concernant la qualité des eaux souterraines en dehors du périmètre des installations nucléaires, des contrôles sont effectués par les Agences régionales de santé (ARS) dans le cadre du suivi de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Ce contrôle est réalisé en application de l'article R. 1321-3 du Code de la santé publique et les modalités de ces contrôles précisées par l'arrêté du 12 mai 2004 modifié.

L'arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine introduit quatre indicateurs (activités alpha et bêta globales, tritium et dose indicative) pour la qualité radiologique de ces eaux. Il fixe également la fréquence des ces analyses qui varie de mensuelle à une fois tous les 10 ans en fonction des débits journaliers distribués et de la taille de la population desservie.

Les données obtenues dans le cadre de ces contrôles sont centralisées dans la base de données SISE-Eaux, système d'information du Ministère chargé de la Santé et des Agences régionales de santé (ARS) dédié à l'information du public. Pour des raisons de disponibilité des données au moment de la rédaction de ce rapport, seules les mesures de l'année 2018 ont été exploitées dans le cadre de ce chapitre.

Sur l'année 2018, 13 000 prélèvements et 68 000 mesures radiologiques ont été réalisées en France métropolitaine, dont environ 1 100 prélèvements et 5 800 mesures concernent les régions Normandie et Hauts-de-France. Les résultats disponibles sont principalement des mesures de l'activité alpha et bêta globales (respectivement 20 % chacun) et de tritium (20 %). Les autres mesures, en bien moins grande quantité, sont des mesures de radionucléides naturels tels que les descendants de l'uranium 238 ou de l'uranium 235, ainsi que quelques mesures de radionucléides artificiels (césium 134 et 137, cobalt 60, strontium 90, plutonium 238 et 239+240, américium 241 et iode 131) qui sont liées à des investigations complémentaires menées en cas de dépassement d'au moins un des quatre indicateurs définis dans l'arrêté du 11 janvier 2007.

Parmi les résultats obtenus en 2018 dans le périmètre géographique du constat, 75 % ne présentent pas d'activité significative (les activités mesurées sont inférieures aux limites de détection des appareils de mesures). Parmi les activités significatives, 59 résultats de mesure de l'activité alpha global sont supérieurs à la valeur guide de 0,1 Bq/L<sup>(17)</sup> et la majorité des dépassements se situe dans le département du Nord (Figure 62). En revanche, aucune valeur n'est supérieure à la valeur guide de 1 Bq/L définie pour l'activité bêta globale.

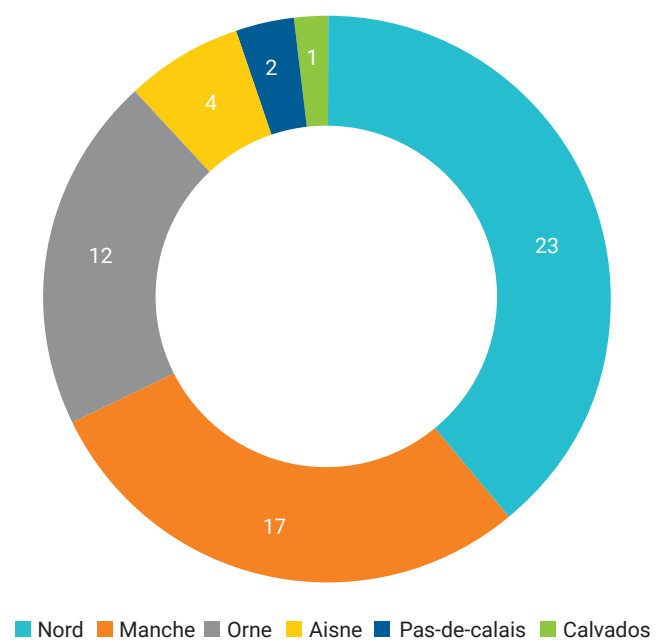


Figure 62 : Activités alpha globales supérieures à 0,1 Bq/L par département en 2018

Ces activités supérieures à la valeur guide ne sont cependant pas imputables à des radionucléides d'origine artificielle (aucune valeur supérieure à la limite de détection n'étant présente pour ces radionucléides), mais aux radionucléides naturels de la chaîne de l'uranium 238. Concernant le tritium, aucune activité significative n'a été mesurée en 2018 sur les prélèvements réalisés sur le territoire du constat, avec des limites de détection fluctuant entre 5 et 10 Bq/L.

<sup>17</sup> Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine.

## 6 2 LES INDUSTRIES GÉNÉRANT DES DÉCHETS À RADIOACTIVITÉ NATURELLE RENFORCÉE

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont d'origines diverses et représentent des volumes significatifs. Ce sont des déchets à vie longue, avec des niveaux de radioactivité assez variables. Dans le périmètre du constat Normandie et Hauts-de-France, de nombreuses industries relevant de l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières générant par transformation des déchets RNR ont été répertoriées. Les principaux sites pris en compte dans le cadre du constat sont localisés sur la Figure 63. Ils ont été étudiés dans le cadre du volet aquatique du constat en réponse aux préoccupations locales exprimées par le groupe de suivi lors des réunions préparatoires, notamment sur les impacts liés aux sites de stockage de phosphogypses.

### Les sites de stockage de phosphogypses

L'évolution de l'industrie des engrais, afin d'obtenir des produits plus concentrés et plus facilement transportables, a conduit les industriels à produire de l'acide phosphorique en traitant le phosphate de calcium naturel par de l'acide sulfurique. Par cette réaction apparaît un sous-produit, le phosphogypse, qui est un sulfate di-hydraté contenant les impuretés diverses de la matière première, notamment des traces d'uranium et de radium naturellement présents dans le minerai. La compagnie française de l'azote (COFAZ) estime que les phosphogypses contiennent environ 6 à 8 grammes d'uranium par tonne [30].

Dans les années 1970, 1,5 million de tonnes d'acide phosphorique ont été extraits en France selon ce procédé, ce qui a conduit à la production de 7 millions de tonnes de phosphogypse. Cette production était très concentrée géographiquement puisqu'elle se situait pour 63 % dans le Nord-Ouest (Rouen – Le Havre) et 9 % dans le Nord à Wattrelos. Le reste de la production était basé dans les Landes et la région Lyonnaise (Tableau 23).



Figure 63 : Localisation des industries RNR prises en compte dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France

Tableau 23 : Production et destination des phosphogypses sur le territoire français en 1978 (LCPC, 1978)

Sociétés	Sites	Production moyenne (t)	Mode de gestion
Rhône-Poulenc	Roches-de-Condrieu (Lyon)	400 000	Rejet en rivière et récupération
GESA - Rhône-Poulenc	Le Grand-Quevilly (Rouen)	1 500 000	Rejet en mer et récupération
	Oseraie (Avignon)	250 000	Rejet en rivière
	Wattrelos (Nord)	400 000	Dépôt sur terril
COFAZ - Pierrefite	Sète	400 000	Rejet en mer
	Bassens (Gironde)		Rejet en rivière
COFAZ	Le Havre	1 500 000	Rejet en mer (estuaire)
APC	Grand-Couronne (Rouen)	1 400 000	Rejet en mer
APC (Asturiona)	Tonnay (Charente-Maritime)	130 000	Rejet en rivière
APC (PEC-Rhin)	Ottmarsheim (Haut-Rhin)	230 000	Dépôt sur terril et récupération
CDF – Chimie	Douvrin (Pas-de-Calais)	300 000	Dépôt sur terril et récupération
SOCADOUR	Boucau (Landes)	300 000	Rejet en mer
	Tarnos (Landes)		
SATEC	Boucau (Landes)	300 000	Rejet en mer
	Tarnos (Landes)		



Figure 64 : Localisation du site de stockage de phosphogypses de Wattrelos

Des années 1930 jusqu'aux années 1990, les sites industriels français de production d'engrais azotés rejetaient en mer les phosphogypses ou les stockaient en terri. Sur le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France, les principaux sites de stockage sont ceux d'Anneville-Ambourville, Watrelos, Saint-Etienne-du-Rouvray, Rogerville et Douvrin [31]. Certains sites de production comme Watrelos et le site du Petit Quevilly à Rouen ont depuis fait l'objet d'une réhabilitation. Les autres sites continuent de faire l'objet d'une surveillance régulière prescrite par les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), portant notamment sur le contrôle des eaux souterraines.

À l'occasion des campagnes de prélèvements menées en 2015, des échantillons d'eau ont été prélevés sur les canaux de l'Espierre et de Roubaix (en aval du site de Watrelos) ainsi que dans la Seine (en aval des sites d'Anneville-Ambourville et Saint-Etienne-du-Rouvray) (Figure 64).

Pour l'ensemble des radionucléides recherchés, les activités mesurées sur les eaux prélevées dans le canal de Roubaix ne présentent pas de valeurs supérieures aux niveaux habituellement rencontrés en dehors de toute influence (Tableau 24). Aucune activité significative n'a été relevée sur les descendants de l'uranium 235 et de l'uranium 238, hormis pour l'uranium 234, la méthode d'analyse par ICP-MS permettant d'atteindre des niveaux de détection très bas.

**Tableau 24 :** Résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau prélevés en aval du site de stockage de Watrelos

Chaîne	Radionucléide	Activité (Bq/L)	
		Canal de Roubaix	Canal de l'Espierre
-	Indice $\alpha$ global	0,016 $\pm$ 0,009	0,168 $\pm$ 0,050
-	Indice $\beta$ global	0,49 $\pm$ 0,16	1,09 $\pm$ 0,36
-	$^3\text{H}$	< 2,2	< 2,4
-	$^{40}\text{K}$	< 0,77	< 0,78
Chaîne de l'uranium 238	$^{238}\text{U}$	0,0039 $\pm$ 0,0016	0,009 $\pm$ 0,002
	$^{234}\text{Th}$	< 0,78	< 0,79
	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	< 5	< 5
	$^{234}\text{U}$	0,005 $\pm$ 0,002	0,015 $\pm$ 0,004
	$^{230}\text{Th}$	< 0,001	0,009 $\pm$ 0,003
	$^{226}\text{Ra}$	< 0,06	< 0,01
	$^{214}\text{Pb}$	< 0,1	< 0,1
	$^{214}\text{Bi}$	< 0,09	0,13 $\pm$ 0,06
Chaîne du thorium 232	$^{210}\text{Pb}$	< 3,4	< 3,5
	$^{232}\text{Th}$	< 0,001	< 0,001
	$^{228}\text{Ac}$	< 0,16	< 0,17
	$^{228}\text{Th}$	< 0,002	< 0,002
	$^{212}\text{Pb}$	< 0,08	< 0,08
	$^{212}\text{Bi}$	< 0,56	< 0,55
Chaîne de l'uranium 235	$^{208}\text{Tl}$	< 0,05	< 0,05
	$^{235}\text{U}$	0,00018 $\pm$ 0,00007	0,00043 $\pm$ 0,00009
	$^{223}\text{Ra}$	< 0,22	< 0,22

En revanche, dans le canal de l'Espierre, les indices d'activités alpha et bêta globaux sont supérieurs aux valeurs de référence des eaux destinées à la consommation humaine<sup>(18)</sup>, bien que cette eau ne soit pas consommée. Les isotopes 234 et 238 de l'uranium mesurés par ICP-MS sont à l'équilibre (rapports  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  respectivement de 0,008 % et 0,007 %) et les activités sont faibles (bien que supérieures aux activités mesurées dans le prélèvement effectué dans le canal de Roubaix). Par ailleurs, aucune activité significative n'a été mesurée pour la chaîne du thorium 232.

Les activités significatives relevées pour le thorium 230 (activité du même ordre que celle de l'uranium 238) et le plomb 214 peuvent expliquer les niveaux des indices alpha et bêta globaux. L'activité en bismuth 214, nettement supérieure à celle du thorium 230 illustre le phénomène de rupture de chaîne.

Les mesures effectuées sur la Seine en aval des sites de phosphogypses de l'agglomération de Rouen (Figure 65) ne présentent aucun résultat significatif pour les radionucléides naturels. Le prélèvement a été effectué à Yville-sur-Seine.



Figure 65 : Prélèvement sur la Seine en aval du site de stockage d'Anneville-Ambourville

<sup>18</sup> Valeurs de référence de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine. En cas de valeur supérieure à 0,1 Bq/L pour l'indice alpha global et 1 Bq/L pour l'indice bêta global, il est procédé à l'analyse de radionucléides spécifiques. Dans le cas de la radioactivité naturelle, il s'agit de l'uranium 234, de l'uranium 238, du radium 226, du radium 228, du polonium 210 et du plomb 210.

## Les industries de traitement et de transformation des minerais de titane

La société Tioxide Europe SAS, à Calais, est l'un des principaux fabricants européens de dioxyde de titane, réalisé à partir de l'attaque chimique d'un minerai titanifère par de l'acide sulfurique. Au cours de ce procédé industriel, des déchets à radioactivité naturelle renforcée sont produits et entreposés sur place. Des

rejets liquides ont lieu dans le canal de Marck à Calais. Ce canal hydraulique est suivi par l'Agence de l'Eau pour les paramètres physico-chimiques et biologiques (Figure 66).

Dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France, un échantillon d'eau et un échantillon de sédiments ont été prélevés en aval direct de la canalisation de rejets de l'industrie. Les sédiments présentent un léger marquage en plomb 210 et en radium 223, sans que celui-ci puisse être attribué aux activités du site (Tableau 25).



Figure 66 : Implantation de TIOXIDE Europe et configuration du canal de Marck à Calais (Watergang du Sud)

**Tableau 25** : Résultats d'analyses des radionucléides naturels dans les échantillons d'eau et de sédiments prélevés dans le Watergang du Sud, en aval de l'industrie Tioxide Europe à Calais

Chaîne	Radionucléides	Eau (Bq/L)	Sédiment (Bq/kg sec)
-	Indice $\alpha$ global	0,12 $\pm$ 0,07	nm
-	Indice $\beta$ global	1,13 $\pm$ 0,55	nm
-	$^3\text{H}$	< 2,2	nm
-	$^{40}\text{K}$	0,9 $\pm$ 0,2	311 $\pm$ 39
Chaîne de l'uranium 238	$^{238}\text{U}$	0,010 $\pm$ 0,002	nm
	$^{234}\text{Th}$	< 0,2	13 $\pm$ 3
	$^{234}\text{U}$	0,012 $\pm$ 0,003	nm
	$^{230}\text{Th}$	< 0,001	nm
	$^{226}\text{Ra}$	< 0,01	nm
	$^{214}\text{Pb}$	< 0,04	14 $\pm$ 2
	$^{214}\text{Bi}$	< 0,03	12 $\pm$ 2
Chaîne du thorium 232	$^{210}\text{Pb}$	< 0,2	68 $\pm$ 10
	$^{232}\text{Th}$	< 0,001	nm
	$^{228}\text{Ac}$	< 0,07	33 $\pm$ 4
	$^{228}\text{Th}$	< 0,002	nm
	$^{212}\text{Pb}$	< 0,03	27 $\pm$ 5
	$^{212}\text{Bi}$	< 0,2	30 $\pm$ 4
Chaîne de l'uranium 235	$^{208}\text{Tl}$	< 0,02	8,4 $\pm$ 1,1
	$^{235}\text{U}$	0,0005 $\pm$ 0,0001	nm
	$^{223}\text{Ra}$	nm	5,7 $\pm$ 1,5

nm : non mesuré

## L'industrie de production ou d'utilisation de composés uranifères et thorifères

L'usine Arkema de Serquigny est située à la confluence de la Charentonne et de la Risle (Figure 67). Cette industrie chimique est implantée sur un ancien site de production industrielle de la Société des terres rares, fabriquant du nitrate de thorium à partir de la monazite dans les années 1910 – 1950. Les déchets de l'ancienne usine ont été repris, conditionnés et stockés dans un bâtiment fermé pour les protéger du ruissellement des eaux de pluie en attendant de trouver un exutoire (stockage FAVL).

Dans le cadre du constat, des prélèvements en aval hydrographique de cette installation ont été effectués afin d'acquérir des données sur le milieu aquatique de la Risle (dernier affluent de la Seine) mais aussi d'identifier un éventuel impact de cette industrie historique sur l'environnement immédiat.

À l'occasion du prélèvement dans la Risle, une activité de 53  $\pm$  4 Bq/kg sec de thorium 232 a été mesurée dans les sédiments. Dans les références disponibles au niveau national, les activités en thorium 232 dans les sédiments des grands fleuves sont comprises entre 16 et 55 Bq/kg sec [21]. Celle-ci se situe plutôt dans les valeurs hautes, ce qui pourrait témoigner d'une légère influence du site sur son environnement, également visible sur l'activité en thorium 228 (Tableau 26).



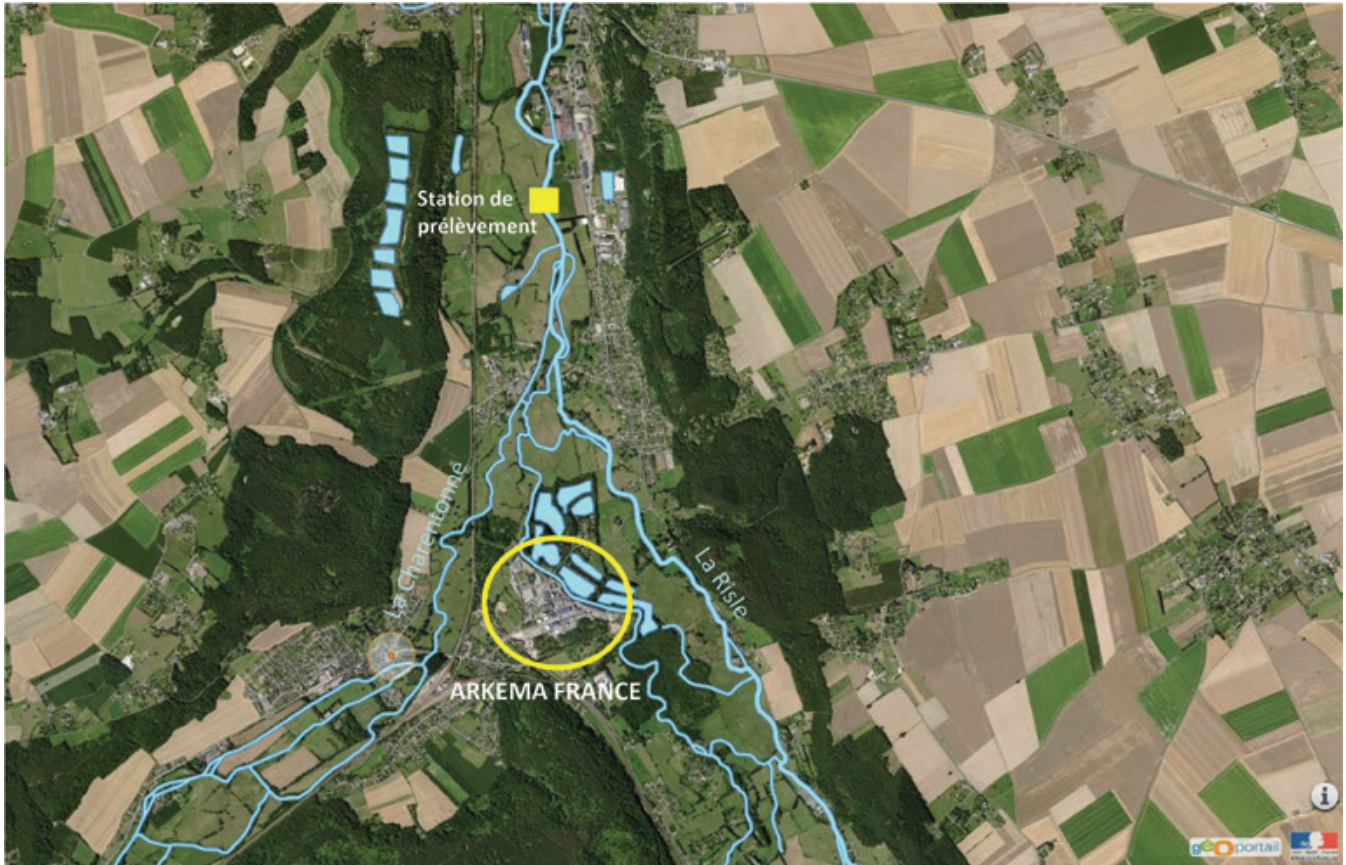


Figure 67 : Implantation d'Arkema et configuration hydrographique du bassin de la Risle

Tableau 26 : Résultats d'analyses en radionucléides naturels dans l'échantillon de sédiment prélevé en aval historique de l'ancienne usine ARKEMA

Chaîne	Radionucléides	Sédiment (Bq/kg sec)
-	$^{40}\text{K}$	$112 \pm 17$
Chaîne de l'uranium 238	$^{238}\text{U}$	$11 \pm 1$
	$^{234}\text{Th}$	$10 \pm 4$
	$^{234}\text{U}$	$10 \pm 1$
	$^{230}\text{Th}$	$14 \pm 1$
	$^{226}\text{Ra}$	$5,7 \pm 1,6$
	$^{214}\text{Pb}$	nm
	$^{214}\text{Bi}$	nm
	$^{210}\text{Pb}$	$18 \pm 4$
Chaîne du thorium 232	$^{232}\text{Th}$	$53 \pm 4$
	$^{228}\text{Ac}$	$39 \pm 6$
	$^{228}\text{Th}$	$55 \pm 4$
	$^{212}\text{Pb}$	nm
	$^{212}\text{Bi}$	nm
	$^{208}\text{Tl}$	nm
Chaîne de l'uranium 235	$^{235}\text{U}$	$0,6 \pm 0,2$
	$^{223}\text{Ra}$	nm

nm : non mesuré

## 6.3 FOCUS SUR LES REJETS DES CENTRES DE MÉDECINE NUCLÉAIRE

Le territoire géographique du constat comptait, en 2015, 32 centres de médecine nucléaire localisés au sein des grandes agglomérations. En 2015, le recensement des traitements à l'iode 131 pour cancer et hyperthyroïdie montrait qu'ils représentaient sur le territoire Normandie et Hauts-de-France 13 % de l'activité nationale, soit 1 337 traitements à l'iode 131, dont 635 pour des thérapies cancéreuses (SFMN). 93 % de ces traitements étaient répartis sur les villes de Lille, Rouen, Caen et Amiens.

Les effluents liquides en provenance des chambres réservées à l'hospitalisation des patients sont stockés dans des cuves de décroissance, puis rejetés dans le milieu naturel dans le respect

des limites réglementaires (100 Bq/L pour l'iode 131<sup>(19)</sup>). Toutefois, les selles, non stockées à l'hôpital en raison du risque de maladies nosocomiales, rejoignent le réseau d'assainissement plus rapidement. Il en va de même pour les urines une fois le patient rentré à son domicile.

Dans le cadre de la présente étude, des prélèvements ponctuels dans les eaux de surface ont été effectués en aval des grandes agglomérations comportant au moins un centre de médecine nucléaire. Comme évoqué au chapitre 3, l'iode 131 (période de 8,04 jours) est le principal radionucléide recherché, le technétium 99 métastable étant quasiment indétectable sur des prélèvements réalisés dans l'environnement compte tenu de sa période radioactive très courte (6 heures). Les résultats sont présentés sur la Figure 68.

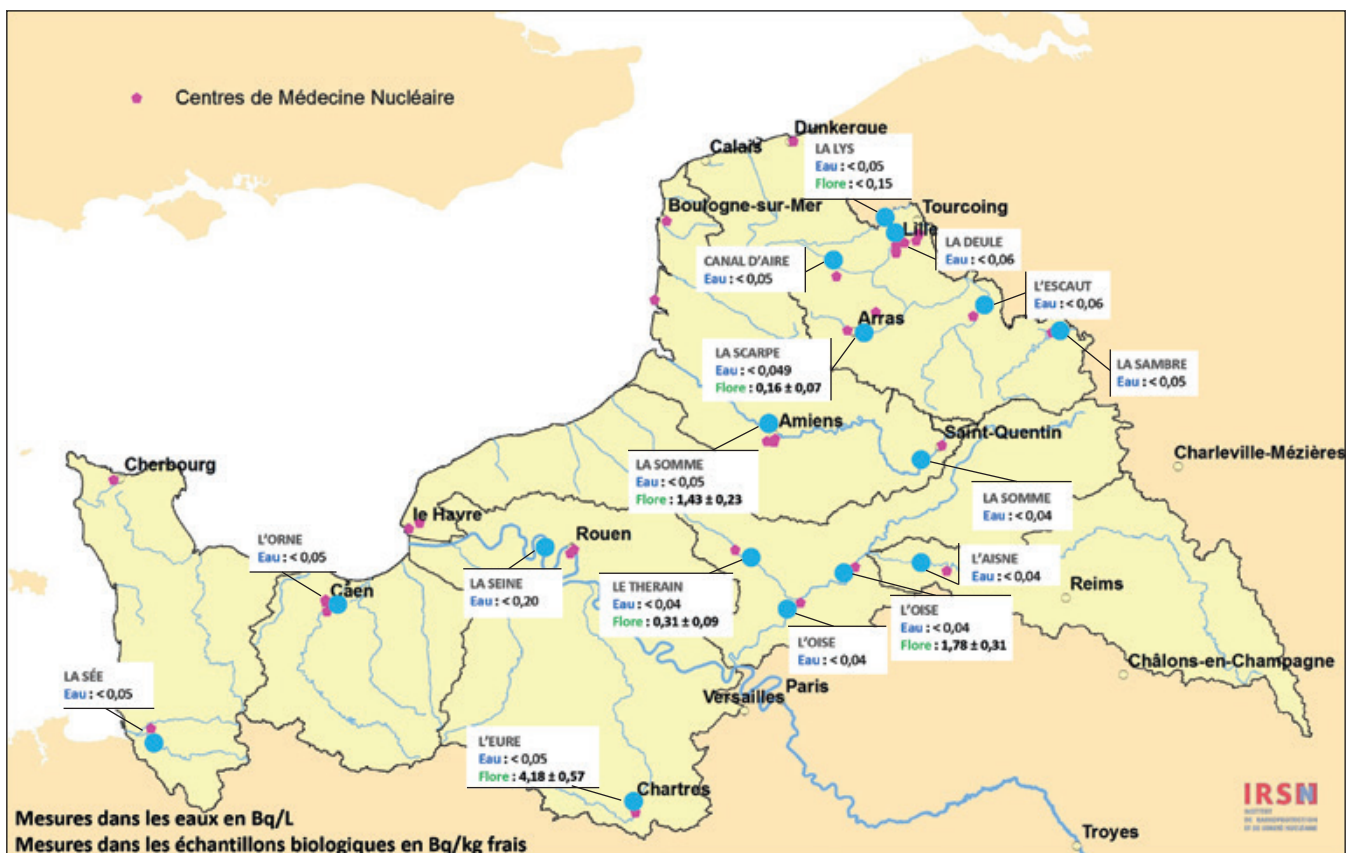


Figure 68 : Résultat des mesures en iode 131 dans les eaux et végétaux aquatiques des cours d'eau du territoire Normandie et Hauts-de-France

<sup>19</sup> Arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision no 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008 fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire

Dans les eaux de surface, aucune activité significative en iode 131 n'a pu être mise en évidence, probablement en raison de l'importante dilution du rejet dans le cours d'eau au point de prélèvement. Dans les végétaux aquatiques qui concentrent l'iode, on trouve des valeurs significatives correspondant aux agglomérations de Chartres, Beauvais, Compiègne, Amiens et Arras. Ces valeurs sont relativement faibles et comprises entre  $0,16 \pm 0,07$  et  $4,18 \pm 0,57$  Bq/kg frais. Les valeurs acquises dans le cadre de cette étude sont similaires à celles observées sur le bassin versant de la Garonne, à l'exception de la ville de Toulouse pour laquelle un marquage en iode 131 dans les végétaux aquatiques avait été identifié [33].

## 6 4 ACTUALISATION DES DONNÉES RADIOLOGIQUES SUR LES SÉDIMENTS DE LA SEINE

Afin de développer et de sécuriser la navigation en améliorant les accès aux ports du Havre et de Rouen, de nombreux aménagements ont été réalisés sur le lit mineur de la Seine dès les années 1850 et se poursuivent aujourd'hui. En complément de ces aménagements, et afin de conserver des profondeurs suffisantes pour la navigation, des dragages d'entretien sont régulièrement réalisés tout au long de l'estuaire. Sur le port amont de Rouen,

ce sont ainsi entre 150 000 et 250 000 m<sup>3</sup> de sédiments qui sont dragués en fonction des années, et 4,5 millions de m<sup>3</sup> pour la partie aval de l'estuaire de la Seine (origine essentiellement marine).

Selon leur niveau de contamination chimique, leurs propriétés géotechniques et les besoins des secteurs du bâtiment et des travaux publics, les sédiments ainsi dragués peuvent être réutilisés directement, déposés à terre pour une éventuelle réutilisation ultérieure ou encore déversés en mer. La présence de radionucléides dans ces sédiments est une problématique à considérer vis-à-vis des diverses potentielles réutilisations de ces sédiments. Plusieurs campagnes de mesures menées par l'IRSN à partir des années 1990 ont montré une influence des apports par les courants marins pouvant aller jusqu'au barrage de Poses situé en amont de la ville de Rouen ainsi qu'un marquage historique en plutonium des sédiments prélevés au niveau de l'estuaire de la Seine.

La première campagne de mesures menée en 2004 sur les sédiments de la Seine en aval de Rouen, avait permis de mettre en avant une influence des courants marins au moins jusqu'à Heurteauville situé à environ 50 km de l'embouchure de la Seine. La Figure 69 présente les activités massiques en cobalt 60 mesurées sur les sédiments prélevés entre l'embouchure et le barrage de Poses et illustre l'apport par les courants marins de cobalt issus des rejets liquides de l'usine de retraitement de la Hague.

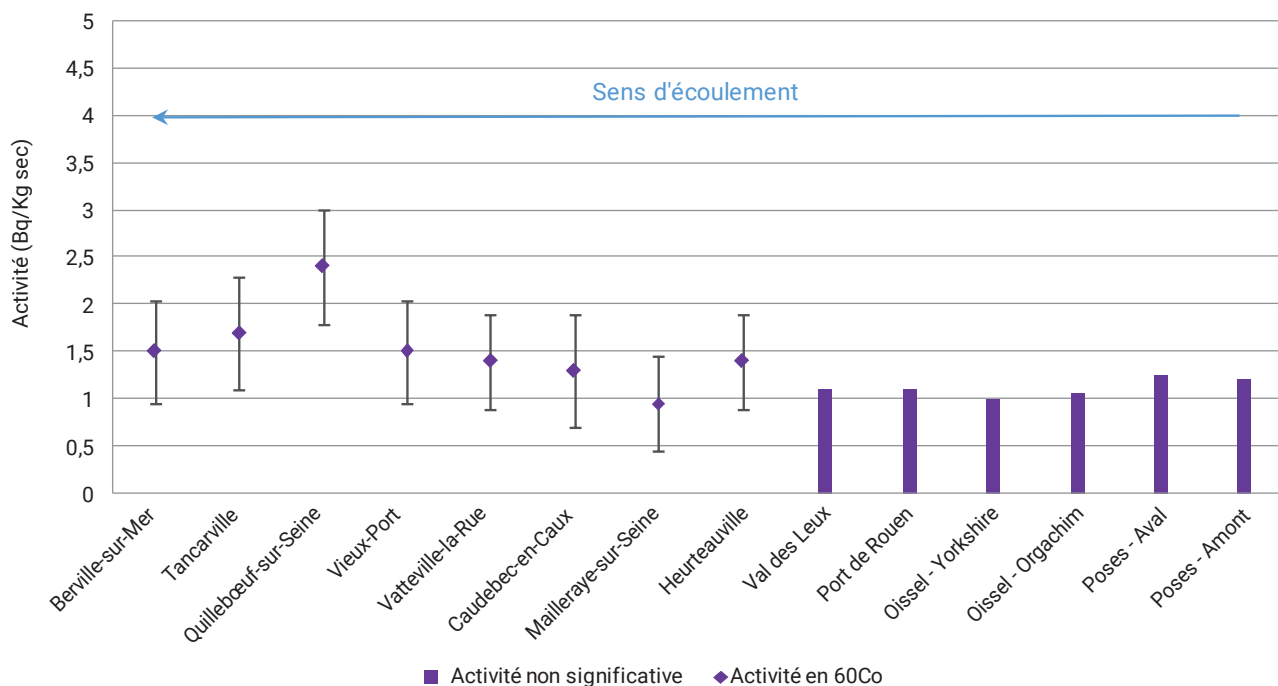


Figure 69 : Activité du cobalt 60 dans les sédiments de la Seine aval (données IRSN, campagne 2004)

En 2008, le Grand port maritime de Rouen avait sollicité l'IRSN pour réaliser des mesures de radionucléides sur des sédiments issus des dragages de la Seine dans le cadre du dossier d'enquête publique de l'opération. En plus du cobalt 60, mesuré uniquement sur l'échantillon prélevé au niveau de l'embouchure de la Seine, des activités significatives en plutonium et en américium 241 avaient également été mise en évidence sur plusieurs stations de prélèvement [8]. Les activités mesurées en 2008 sont reportées dans le Tableau 27.

À l'occasion du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France, le groupe de suivi a souhaité que l'IRSN sollicite le Grand

port maritime de Rouen pour obtenir de nouveaux prélèvements et actualise les activités mesurées, notamment en américium et en plutonium. Deux échantillons prélevés au niveau de la zone portuaire de Rouen (BRQ) et de l'estuaire de la Seine sous dominante marine (pk368) ont été obtenus dans le cadre du constat. Un troisième prélèvement de sédiment a également été réalisé au niveau de Croissy-sur-Seine (78) afin de disposer d'un niveau de référence en aval de Paris (Figure 70).

Les résultats des campagnes de 2008 et de 2015 sur les 2 stations échantillonnées sont présentés dans le Tableau 27. Ils confirment la présence de plutonium et d'américium 241 dans

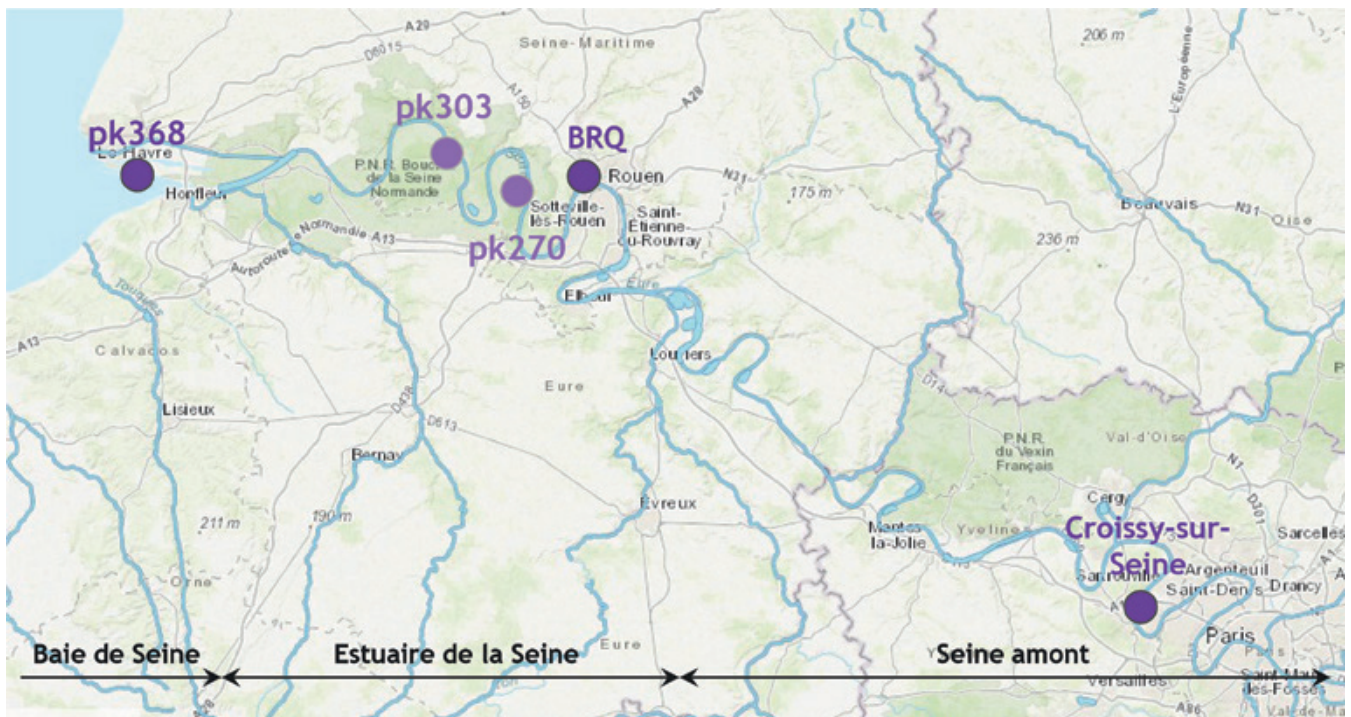


Figure 70 : Localisation des stations de dragage sédimentaire sur la Seine aval et du point amont réalisé à Croissy-sur-Seine

Tableau 27 : Résultats des mesures de plutonium et d'américium 241 réalisées sur les sédiments de dragages de la Seine (campagnes 2008 et 2015)

Point de prélèvement	Date de prélèvement	$^{238}\text{Pu}$ (Bq/kg sec)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg sec)	$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$ (Bq/kg sec)
pk368 (Le Havre)	30/07/2008	0,180 ± 0,008	0,559 ± 0,022	0,32	0,703 ± 0,059
	08/10/2015	0,124 ± 0,088	0,473 ± 0,161	0,22	0,734 ± 0,161
pk303 (Arelaune-en-Seine)	22/07/2008	< 0,0003	0,0004 ± 0,0003	-	< 0,0015
pk270 (Saint-Martin-de-Boscherville)	23/07/2008	0,039 ± 0,003	0,049 ± 0,003	0,79	0,028 ± 0,004
BRQ (Aval Rouen)	28/08/2008	0,016 ± 0,002	0,136 ± 0,007	0,12	0,050 ± 0,006
	19/10/2015	< 0,020	0,088 ± 0,036	-	0,062 ± 0,038
Croissy-sur-Seine (78)	01/09/2016	< 0,060	0,075 ± 0,065	-	0,055 ± 0,052

les sédiments de la Seine. Les niveaux mesurés en aval de Rouen sont supérieurs à la référence de Croissy-sur-Seine. On peut également noter que les activités en américium et en plutonium mesurées à l'occasion de la campagne de 2015 restent du même ordre de grandeur que celles mesurées lors de la campagne de 2008. En revanche, aucune activité significative en cobalt 60 n'a été mesurée, y compris sur le prélèvement réalisé au point pk368 situé le plus à l'ouest.

Le rapport d'activités isotopiques  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  est ici supérieur à 0,1 dans les échantillons prélevés au Havre et à Rouen, témoignant de rejets d'origine industrielle. Par les modèles de dispersion des radionucléides en mer et les différentes études menées par l'IRSN sur ce sujet, il est possible de corréliser cette origine avec les rejets liquides de l'usine de la Hague dont l'influence pénètre dans l'estuaire de la Seine via les marées et est visible jusqu'au barrage de Poses [34] [35].

## 6 5 CARTOGRAPHIE DES REJETS EN TRITIUM AUTOUR DU CNPE DE GRAVELINES ET DE L'USINE DE LA HAGUE

Les rejets radioactifs des installations nucléaires ont diminué depuis la fin des années 90, à l'exception des gazs rares, du carbone 14 et du tritium qui sont aujourd'hui parmi les radionucléides les plus rejetés, notamment dans les effluents gazeux. Le suivi par l'IRSN du tritium dans le compartiment atmosphérique repose encore largement sur la surveillance des eaux de pluie, hormis quelques installations pour lesquelles l'Institut dispose d'un système de prélèvement spécifique.

Afin de s'affranchir des coûts importants et des contraintes liées à l'utilisation de matériels de prélèvement qui nécessitent une alimentation électrique et des interventions régulières pour assurer leur fonctionnement (barboteur ou condenseur), l'IRSN a développé un système de prélèvement dit « passif » qui consiste à piéger le tritium contenu dans la vapeur d'eau (HTO) de l'atmosphère dans des zéolithes. L'intérêt de ce dispositif est de permettre un échantillonnage du tritium qui soit représentatif du milieu surveillé, facilement déployable, et qui réponde aux exigences actuelles de la surveillance de l'environnement.

Cette technique de prélèvement étant nouvelle [36], le constat Normandie et Hauts-de-France a été l'occasion de déployer plusieurs dispositifs autour du CNPE de Gravelines puis de l'usine

de retraitement de la Hague afin de réaliser une étude sur le marquage en tritium de l'environnement par les rejets chroniques de ces deux installations.

### Campagne de mesure du tritium à proximité du CNPE de Gravelines

L'étude sur les niveaux en tritium dans l'environnement du CNPE de Gravelines a été menée entre mars et octobre 2016. Celle-ci constituait la première tentative de déploiement simultané de plusieurs dispositifs de prélèvement autour d'une installation nucléaire. Pour la réalisation des prélèvements, l'IRSN s'est appuyé sur le réseau ATMO Hauts-de-France qui dispose de stations de surveillance de la qualité de l'air dans la région de Gravelines. Cinq stations ont ainsi été retenues pour y implanter les dispositifs de prélèvement (Figure 71) :

- Calais-Parmentier (voie des sables à Calais) – 19 km du CNPE ;
- Gravelines PC/DRIRE (rue du pont de pierre à Gravelines) – 3 km du CNPE ;
- Loon-Plage (rue des sports à Loon-Plage) – 8 km du CNPE ;
- Grande-Synthe (rue du comte Jean à Grande-Synthe) – 12 km du CNPE ;
- Malo-les-Bains (rue Henri Dunant à Malo-les-Bains) – 21 km du CNPE.

L'objectif était de réaliser une cartographie des activités en tritium autour du CNPE de Gravelines et d'évaluer l'effet de la distance sur la concentration en tritium dans l'air sur un axe privilégié correspondant à la rose des vents, plus particulièrement la distance jusqu'à laquelle on peut encore mesurer l'influence des rejets en tritium du CNPE (6 réacteurs 900 MW). L'autre but de cette étude était de déterminer le bruit de fond en tritium à proximité et à distance de l'installation, les résultats de la surveillance réglementaire de l'environnement réalisée par l'exploitant disponibles dans le RNM n'étant que très rarement significatifs.

Au total 85 prélèvements, à raison d'un prélèvement tous les 15 jours, ont été réalisés durant les 8 mois de l'étude. Les résultats des mesures de tritium dans la vapeur d'eau de l'air (HTO) sont présentés par station sur la Figure 72. On constate à la lecture des résultats que les activités mesurées sur l'ensemble des stations sont plutôt faibles et varient assez peu dans le temps. La moyenne de l'activité mesurée en tritium HTO sur les cinq stations s'élève à  $1,677 \pm 0,732$  Bq/L, soit une activité volumique moyenne dans l'air de  $0,019 \pm 0,008$  Bq/m<sup>3</sup>. Si l'on considère un bruit de fond en tritium dans l'atmosphère de l'ordre de 1 à 2 Bq/L, l'activité mesurée au niveau des communes proches du CNPE de Gravelines ne dépasse pas le bruit de fond en tritium de l'atmosphère. Ce premier constat remet en question l'objectif initial



Figure 71 : Localisation des stations ATMO à proximité du CNPE de Gravelines et implantation des piègeurs passifs tritium

d'évaluer l'effet de la distance sur la concentration en tritium mais aura permis de confirmer que l'influence des rejets atmosphériques du CNPE se limite à l'environnement proche du site et est difficilement discriminable du bruit de fond dès lors qu'on se situe à plus de trois kilomètres du CNPE.

On peut par ailleurs observer une légère augmentation de l'activité en tritium sur la période allant de juin à septembre 2016. Celle-ci étant visible sur les cinq stations, y compris la plus éloignée du CNPE, on peut difficilement relier cette augmentation aux activités rejetées par le CNPE compte tenu de la distance mais en revanche envisager une variation saisonnière du bruit de fond en lien avec la concentration en vapeur d'eau de l'atmosphère.

Le Tableau 28 fait la synthèse des données acquises sur les 5 stations en présentant les résultats des mesures réalisées sur la vapeur d'eau récupérée par les piègeurs passifs. Il ressort que les activités mesurées sont relativement homogènes et ne se détachent pas du bruit de fond en tritium dans l'atmosphère. Les stations de Gravelines et de Loon-Plage, les plus proches du CNPE, présentent une activité en tritium dans la vapeur d'eau de l'air légèrement supérieure aux autres stations mais restent dans la gamme des valeurs du bruit de fond. Ces résultats s'expliquent par le fait que, si les stations du réseau Atmo présentaient l'avantage de pouvoir accueillir les dispositifs de prélèvement, elles sont très probablement trop éloignées du site pour pouvoir en mesurer l'influence.

Tableau 28 : Synthèse des résultats de mesures du tritium dans l'atmosphère autour du CNPE de Gravelines

Stations (Est en Ouest)	Activités en tritium (HTO)			Unités
	Minimum	Maximum	Moyenne	
Calais-Parmentier (19 km du CNPE)	0,81 ± 0,70	2,50 ± 0,77	1,59 ± 0,72	Bq/L
	0,006 ± 0,005	0,033 ± 0,010	0,018 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Gravelines PC/DRIRE (3 km du CNPE)	1,01 ± 0,71	2,82 ± 0,77	1,83 ± 0,74	Bq/L
	0,007 ± 0,005	0,046 ± 0,014	0,022 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Loon-Plage (8 km du CNPE)	0,94 ± 0,73	2,84 ± 0,81	1,66 ± 0,73	Bq/L
	0,010 ± 0,006	0,031 ± 0,010	0,019 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Grande-Synthe (12 km du CNPE)	0,80 ± 0,72	2,43 ± 0,74	1,59 ± 0,73	Bq/L
	0,008 ± 0,004	0,032 ± 0,010	0,018 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Malo-les-Bains (21 km du CNPE)	0,99 ± 0,68	2,57 ± 0,75	1,70 ± 0,74	Bq/L
	0,006 ± 0,004	0,034 ± 0,010	0,019 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>

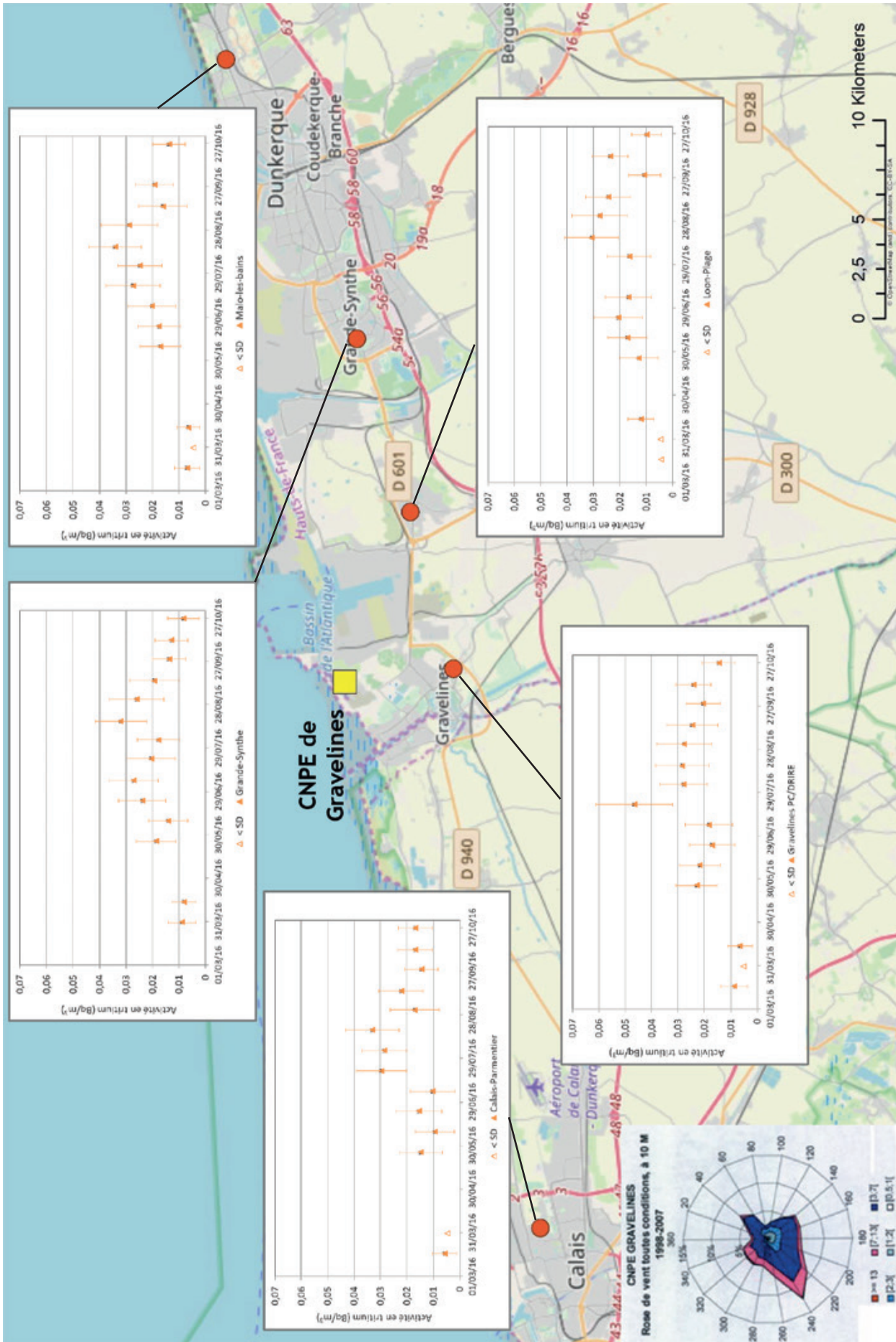


Figure 72 : Résultats des activités en tritium mesurées sur les 5 stations autour du CNPE de Gravelines entre mars et octobre 2016

Cette première étude menée dans l'environnement du CNPE de Gravelines aura montré que les performances obtenues par la technique du piégeage passif permettent de mesurer des activités en tritium très basses et de disposer de valeurs significatives même à plus grande distance du site, jusqu'à Calais ou Dunkerque. Elle aura aussi permis de déterminer plus précisément la distance à partir de laquelle il n'est plus possible de déterminer l'influence des rejets d'un CNPE sur l'activité en tritium de l'atmosphère.

## Activités en tritium dans l'environnement de la Hague

Dans le prolongement de l'étude conduite à Gravelines, une étude similaire a été menée entre octobre 2016 et mai 2017 dans l'environnement de l'usine de la Hague. L'objectif comme à Gravelines était de réaliser une cartographie des niveaux de tritium autour des usines de la Hague mais sur un périmètre plus proche afin de mieux quantifier les effets liés à la distance. Pour réaliser cette étude, l'IRSN s'est appuyé sur Orano qui a installé des piègeurs

passifs sur ses cinq « stations-villages » situées à Gréville-Hague (AS1), Digulleville (AS2), Beaumont-Hague (AS3), Herqueville (AS4) et Jobourg (AS5). La station IRSN d'Omonville-la-Petite a constitué le sixième point de prélèvement, permettant de couvrir tout le pourtour du site sur un cercle de l'ordre de quelques kilomètres (Figure 73). Au total, 77 prélèvements ont été réalisés et mesurés.

Les données acquises dans le cadre de la surveillance régulière sur la station IRSN d'Omonville ont également été valorisées, en particulier les mesures de tritium par barboteur ainsi que les données expérimentales issues des mesures réalisées par le laboratoire de l'IRSN de Cherbourg, qui dispose d'une balise de mesure du krypton 85 et d'un système de prélèvement du tritium par condenseur permettant d'obtenir des prélèvements intégrés sur 24 heures.

Les données acquises montrent que l'influence des rejets de l'usine de la Hague reste modérée en milieu atmosphérique : la moyenne de l'activité en tritium HTO pour l'ensemble des stations sur la période allant d'octobre 2016 à mai 2017 s'élève

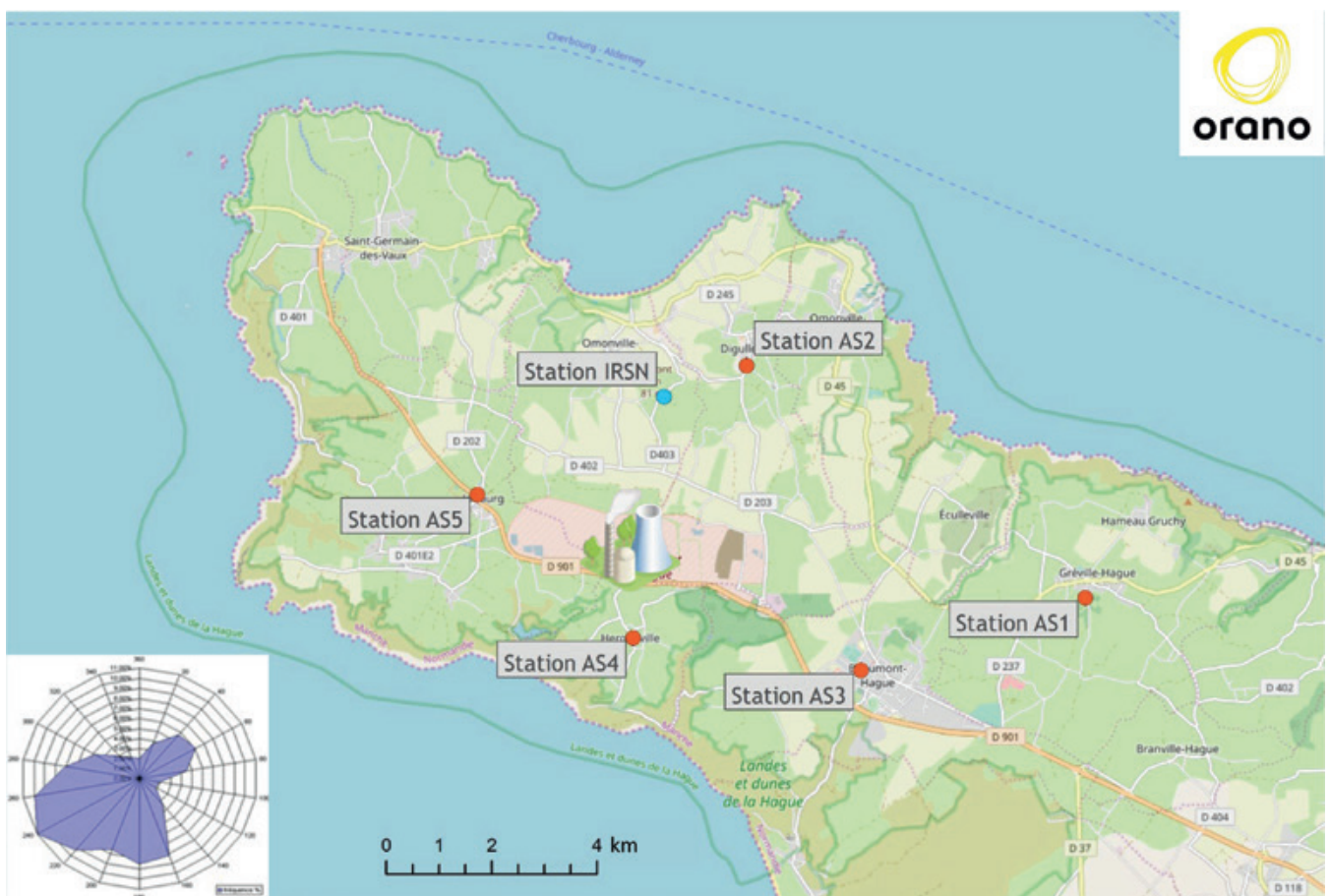


Figure 73 : Localisation des stations village Orano et de la station IRSN autour du site de la Hague



à 0,043 Bq/m<sup>3</sup>. Pour rappel, le bruit de fond mesuré dans l'environnement du CNPE de Gravelines s'élevait à 0,019 Bq/m<sup>3</sup>. Ceci s'explique par le fait que la majorité du tritium mis en jeu lors des opérations de retraitement est sous forme d'eau tritiée et rejetée en mer, une très faible partie seulement des rejets en tritium de l'usine étant sous forme gazeuse.

La Figure 74 présente l'ensemble des résultats acquis sur les différentes stations instrumentées. Selon le positionnement de la station par rapport aux vents dominants et sa distance au site, les activités mesurées peuvent varier, avec les moyennes les plus importantes mesurées aux points AS4 (Herqueville), AS5 (Jobourg) et à la station IRSN d'Omonville-la-Petite (Tableau 29).

Les concentrations en tritium dans la vapeur d'eau de l'atmosphère peuvent par ailleurs connaître de fortes variations et atteindre des activités plus élevées que le bruit de fond si on considère que celui-ci se situe entre 1 et 2 Bq/L comme l'ont montré les mesures réalisées autour du CNPE de Gravelines.

Un aspect important à prendre en considération lorsque l'on s'intéresse aux activités en tritium mesurées dans l'environnement de l'usine de la Hague est que le tritium présent dans la vapeur d'eau de l'air ne représente qu'une partie du tritium rejeté dans l'atmosphère par les installations, la majeure partie des rejets

gazeux s'opérant, à la différence des CNPE, sous la forme d'hydrogène tritié (HT). La Figure 75, obtenue à partir des activités mesurées par le barboteur IRSN installé à Omonville-la-Petite, montre la répartition entre les formes HT et HTO du tritium dans l'air pour chacune des périodes de l'année 2015. On peut ainsi constater que, pour certaines périodes, la forme HT représente entre 50 et 80 % de l'activité totale.

La mesure du tritium HTO autour de l'usine de la Hague ne représente donc qu'une partie du tritium présent dans l'atmosphère et quand, sur la période de l'étude (octobre 2016 – juin 2017), le maximum mesuré en tritium HTO a été de  $0,262 \pm 0,020$  Bq/m<sup>3</sup>, l'activité la plus élevée en tritium HT a été de  $1,154 \pm 0,103$  Bq/m<sup>3</sup>.

Comme pour l'étude menée à Gravelines, les mesures réalisées dans l'environnement de l'usine de la Hague ont également été l'occasion d'acquérir des données de terrain et de comparer les résultats obtenus par la technique du piégeage passif avec les autres techniques de mesure du tritium dans l'atmosphère (barboteur et condenseur). Par ailleurs, les résultats obtenus par le laboratoire IRSN de Cherbourg dans le cadre de programmes de recherche ont également permis de mieux comprendre les phénomènes observés.

**Tableau 29 :** Synthèse des résultats de mesures du tritium dans l'atmosphère autour de l'usine de la Hague

Stations	Activités en tritium (HTO)			
	Minimum	Maximum	Moyenne	Unités
Station Gréville-Hague (8 km du site)	$1,08 \pm 0,75$	$5,87 \pm 0,89$	$2,54 \pm 0,76$	Bq/L
	$0,006 \pm 0,004$	$0,048 \pm 0,007$	$0,020 \pm 0,006$	Bq/m <sup>3</sup>
Station Digulleville (4 km du site)	$2,89 \pm 0,74$	$7,96 \pm 0,97$	$4,91 \pm 0,85$	Bq/L
	$0,022 \pm 0,006$	$0,074 \pm 0,011$	$0,040 \pm 0,007$	Bq/m <sup>3</sup>
Station Jobourg (1 km du site)	$1,72 \pm 0,74$	$20,4 \pm 1,92$	$7,58 \pm 1,04$	Bq/L
	$0,014 \pm 0,006$	$0,128 \pm 0,012$	$0,061 \pm 0,008$	Bq/m <sup>3</sup>
Station Herqueville (1,5 km du site)	$2,06 \pm 0,74$	$12,4 \pm 1,33$	$6,21 \pm 0,98$	Bq/L
	$0,016 \pm 0,006$	$0,092 \pm 0,010$	$0,048 \pm 0,008$	Bq/m <sup>3</sup>
Station Beaumont-Hague (4,5 km du site)	$1,66 \pm 0,73$	$4,28 \pm 0,81$	$2,77 \pm 0,80$	Bq/L
	$0,009 \pm 0,005$	$0,037 \pm 0,007$	$0,022 \pm 0,006$	Bq/m <sup>3</sup>
Station IRSN – Omonville-la-Petite (2 km du site)	$3,20 \pm 0,77$	$35,40 \pm 2,70$	$10,19 \pm 1,18$	Bq/L
	$0,021 \pm 0,005$	$0,262 \pm 0,020$	$0,077 \pm 0,009$	Bq/m <sup>3</sup>

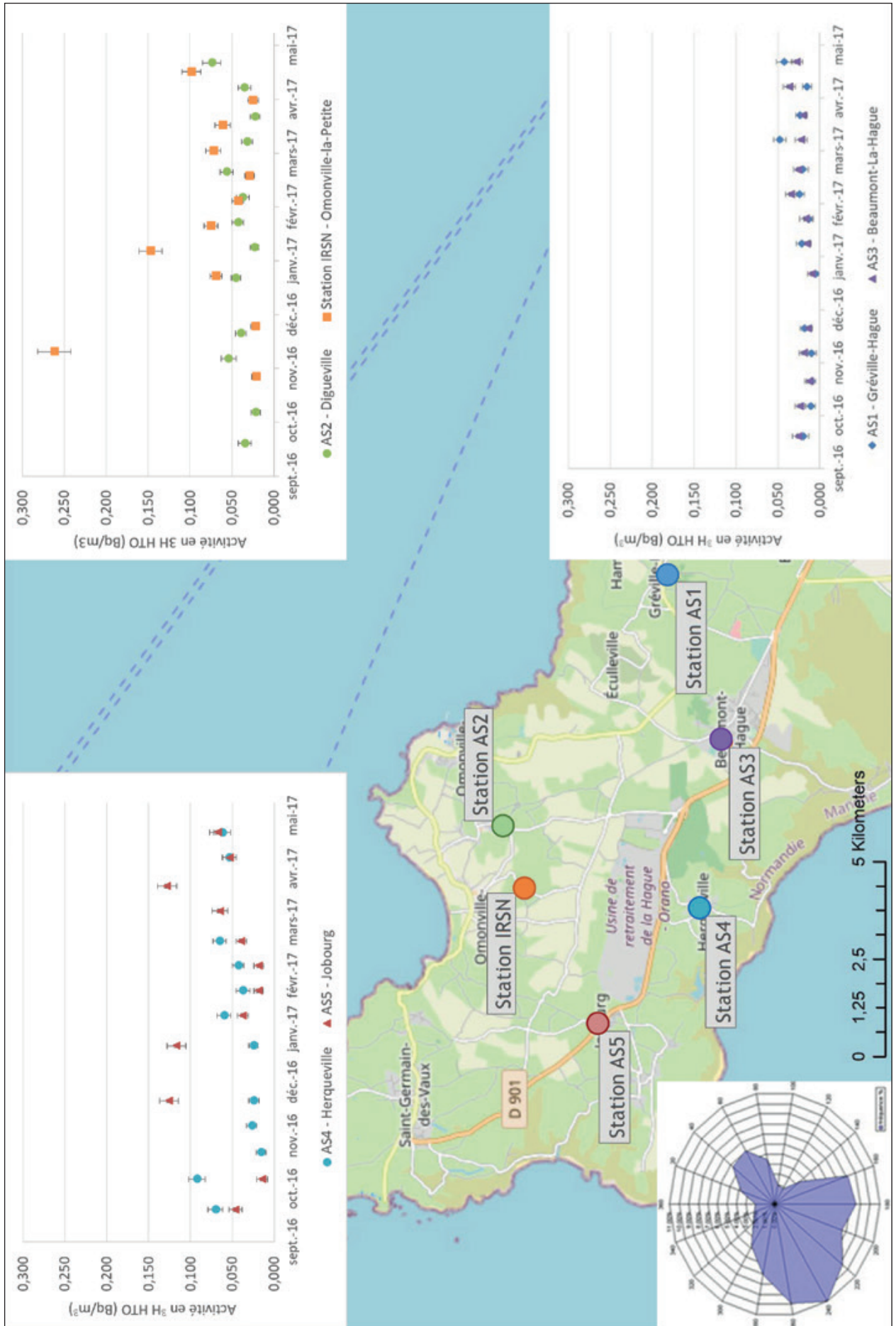


Figure 74 : Résultats des activités de tritium mesurées sur les 6 stations entre octobre 2016 et mai 2017

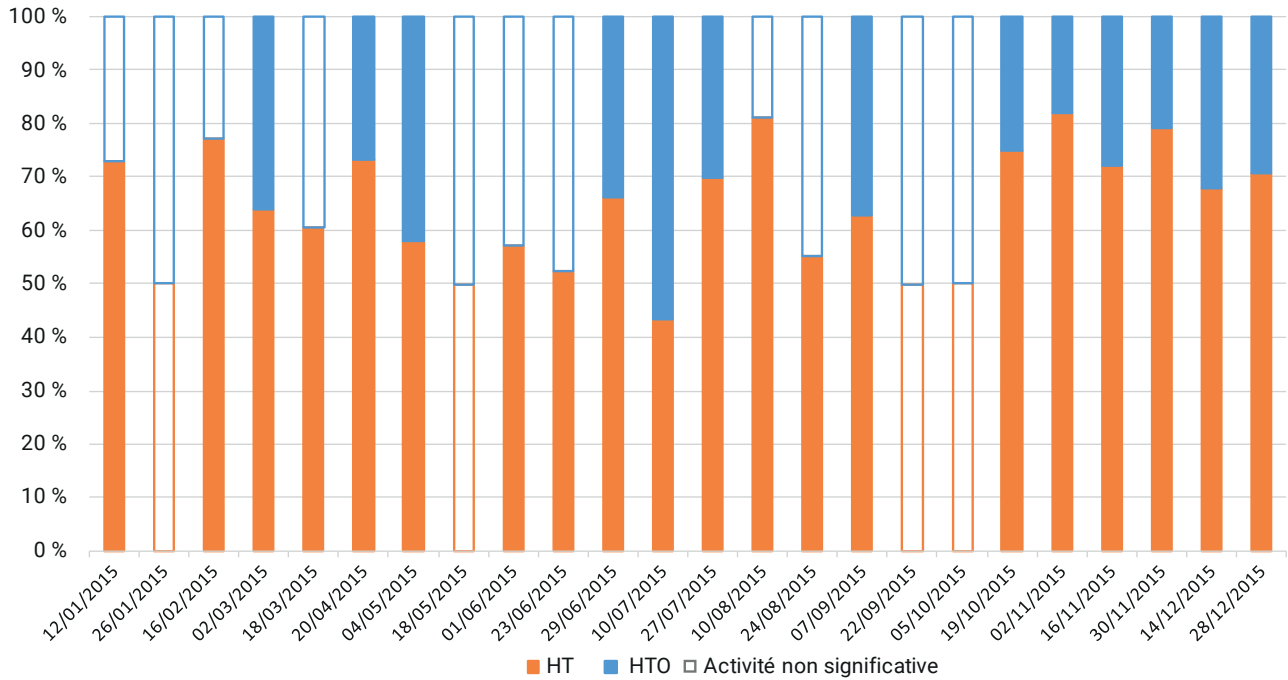
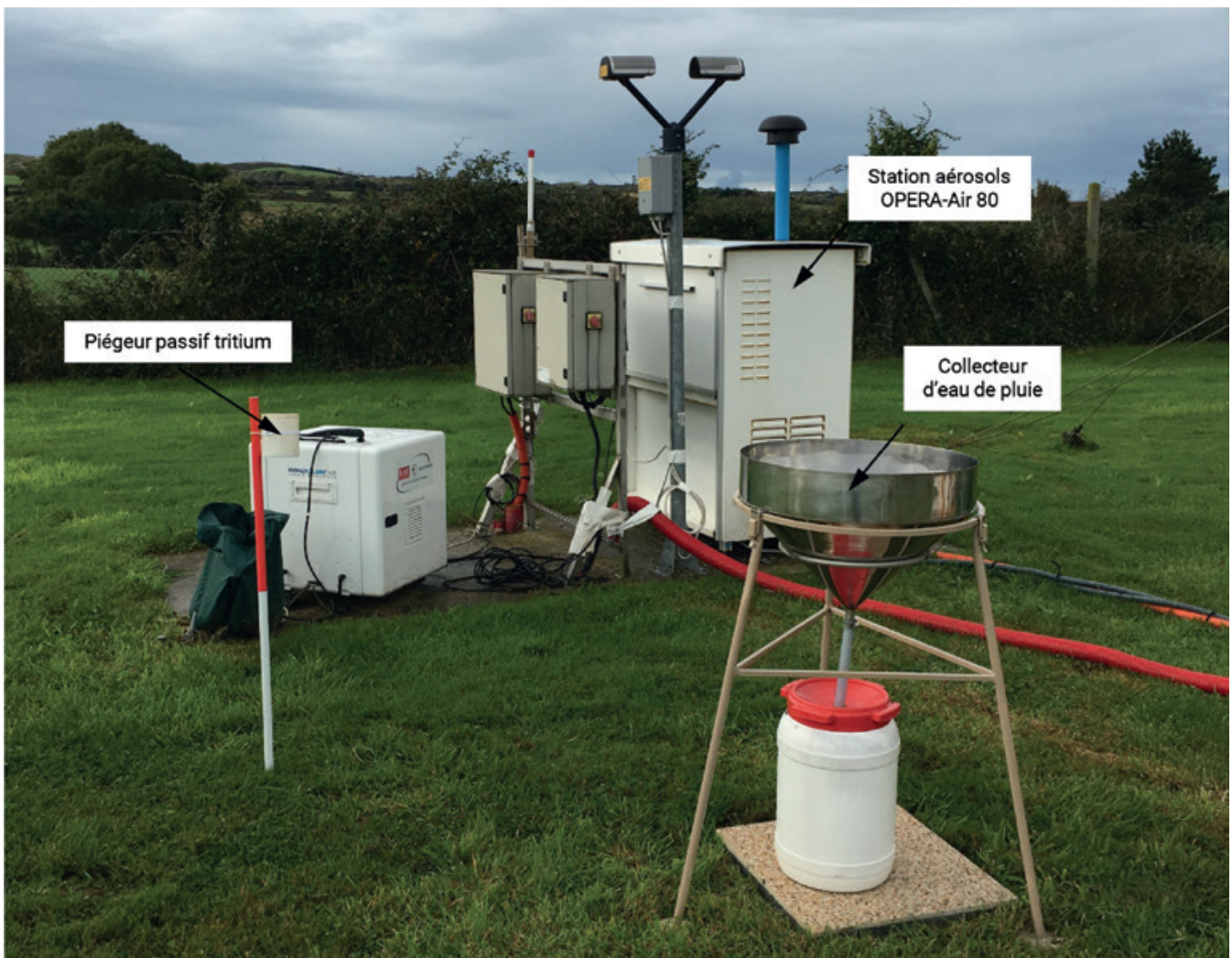


Figure 75 : Répartition des formes HT et HTO du tritium mesuré à Omonville-la-Petite par l'IRSN en 2015 dans le cadre de la surveillance régulière



Equipements installés sur la plateforme IRSN d'Omonville-la-Petite (octobre 2016) © Michaël PETITFRERE/IRSN

## 6 6 CARACTÉRISATION DE L'IMPACT DES REJETS DE LA SOMANU

Contrairement aux quatre centrales nucléaires implantées sur le territoire du constat ou à l'usine de retraitement de la Hague qui, compte tenu des niveaux d'activités rejetées, font l'objet d'une surveillance régulière de la part de l'IRSN couvrant, en complément de celle réglementaire effectuée par l'exploitant, les différents compartiments de l'environnement, certains sites considérés comme de moindre importance, ne faisaient jusqu'alors pas l'objet d'un tel suivi<sup>(20)</sup>. Le premier site à avoir fait l'objet d'une campagne de caractérisation dans le cadre du constat est la Société de maintenance du nucléaire (SOMANU), usine du groupe Framatome sur la commune de Maubeuge (Nord).

### Impact des rejets liquides sur la Flamenne

La SOMANU est autorisée dans le cadre de ses activités de maintenance de matériels provenant d'installations nucléaires (composants du circuit primaire des réacteurs d'EDF) à rejeter des effluents liquides (émetteurs bêta/gamma et tritium) dans la Flamenne<sup>(21)</sup>. À noter que seuls les effluents en provenance du lavage des sols et du linge sont rejetés après avoir fait l'objet d'un contrôle. Les effluents radioactifs produits lors des opérations de maintenance subissent quant à eux des opérations de déminéralisation et de filtration avant d'être évacués en citerne vers un site de traitement dédié. La Figure 76 situe le site et le point de rejet ainsi que les prélèvements réalisés dans le cadre du constat.

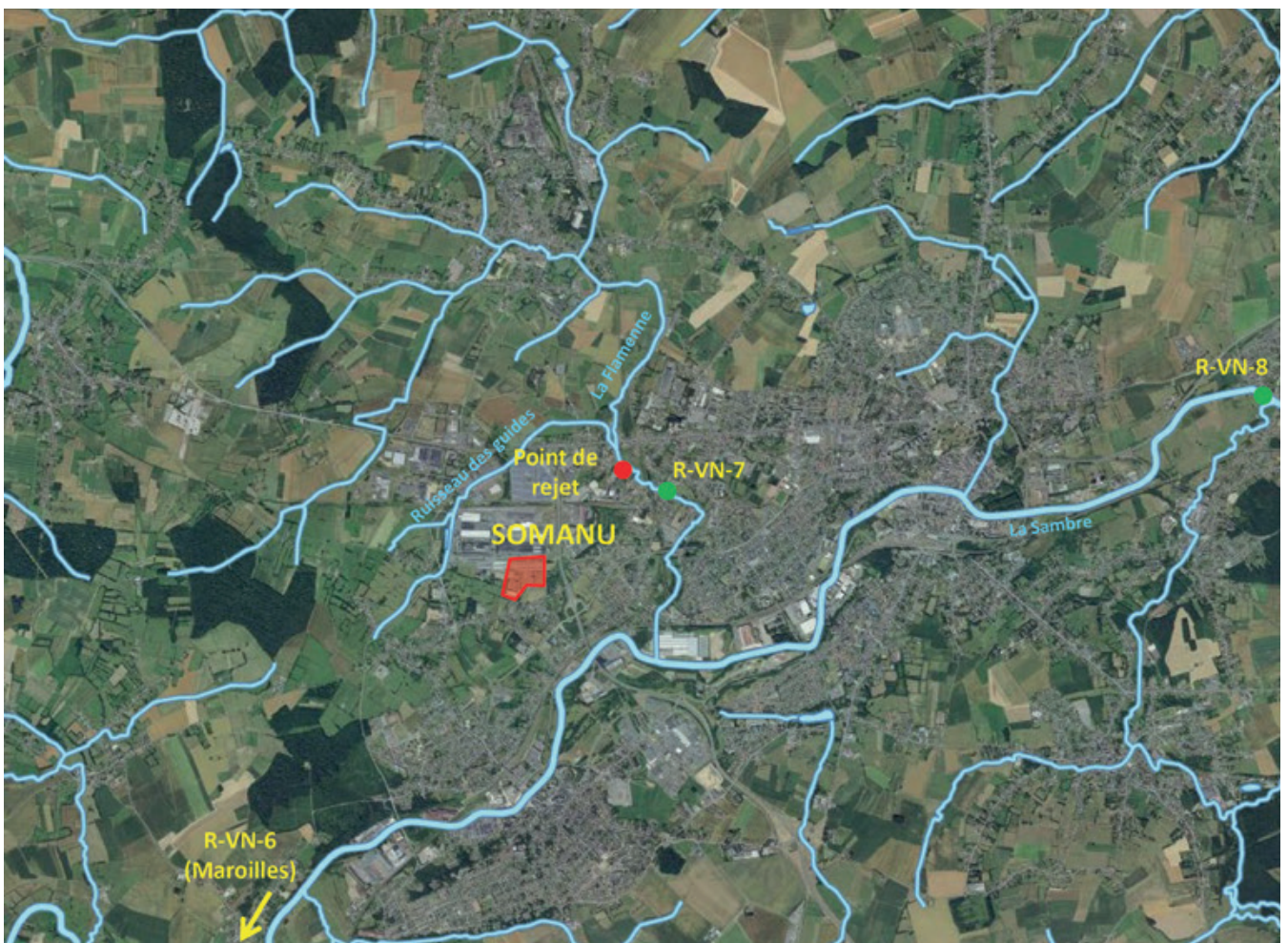


Figure 76 : Localisation du ruisseau de la Flamenne, à proximité de la SOMANU

20 La SOMANU a été réintégrée en 2018 à la suite du Constat dans le plan de surveillance régulière de l'IRSN.

21 Arrêté du 7 août 1986 relatif à l'autorisation de rejet d'effluents radioactifs liquides par la SOMANU.

En 2015, des prélèvements d'eau, de sédiments et de végétaux aquatiques ont été réalisés dans la Flamenne et dans la Sambre en amont de la confluence avec la Flamenne. Un prélèvement d'eau a également été réalisé dans la Sambre à environ 20 km après cette confluence au niveau de la commune de Maroilles.

Lors des analyses réalisées sur les prélèvements d'eau, aucun radionucléide artificiel émetteurs gamma n'a été détecté. Aucune activité en tritium dans l'eau n'est par ailleurs significative dans la Sambre après sa confluence avec la Flamenne et, l'activité en tritium mesurée dans la Flamenne en aval du point de rejet ( $1,23 \pm 0,71$  Bq/L) est proche du bruit de fond mesuré dans les cours d'eau en milieu continental (Tableau 30).

En ce qui concerne le tritium dans la Flamenne, une mesure a également été réalisée sur un échantillon d'algues filamenteuses (*Spyrogira longata*) prélevé en aval du point de rejet de la SOMANU.

**Tableau 30** : Activités en tritium mesurées dans les eaux de surface à proximité de la SOMANU

Point de prélèvement	Description	Activité en $^3\text{H}$ (Bq/L)
R-VN-8	La Sambre (amont confluence)	< 0,67
R-VN-7	La Flamenne (aval rejet SOMANU)	$1,23 \pm 0,71$
R-VN-6	La Sambre (aval confluence)	< 0,67

Bien que significative et pouvant résulter en partie des activités industrielles menées sur le site, l'activité de tritium mesurée reste faible et proche du bruit de fond :  $3,57 \pm 0,26$  Bq/L d'eau de combustion, soit  $1,06 \pm 0,24$  Bq/kg sec.

Les résultats des analyses par spectrométrie gamma sur les prélèvements de sédiments et de végétaux aquatiques réalisés dans ces deux cours d'eau permettent en revanche de confirmer sans ambiguïté l'influence des activités de la SOMANU sur le milieu aquatique. Différents produits d'activation ( $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  et  $^{60}\text{Co}$ ) ont ainsi été mesurés sur les prélèvements réalisés en avril 2015. Le césium 137 présent dans les sédiments des deux cours d'eau témoigne plutôt quant à lui de la rémanence des retombées atmosphériques des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (Tableau 31).

Compte-tenu de la mise en évidence de radionucléides artificiels à l'occasion de la première campagne de prélèvements, une seconde campagne a été organisée sur la Flamenne en août 2017. Les prélèvements réalisés ont permis de confirmer les niveaux d'activités mesurées en 2015. La présence de cobalt 60 a été constatée sur les sédiments prélevés en aval du point de rejet ( $0,61 \pm 0,10$  Bq/kg sec), ainsi que celle du cobalt 58 sur un prélèvement d'algues filamenteuses ( $0,79 \pm 0,22$  Bq/kg sec). Bien que les niveaux d'activité restent très faibles, la présence de ce marquage en aval du point de rejet a conduit l'IRSN à inclure ce point de prélèvement dans sa surveillance régulière de l'environnement français.

**Tableau 31** : Activités mesurées dans les sédiments et les végétaux aquatiques de la Sambre et de la Flamenne

Localisation du prélèvement	Date de Prélèvement	Nature	Activités en Bq/kg sec				
			$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{58}\text{Co}$	$^{60}\text{Co}$
La Sambre (amont confluence)	21/04/2015	Sédiments	< 0,77	$1,78 \pm 0,39$	< 0,80	< 1,62	< 0,67
	21/04/2015	Iris des marais	< 0,31	< 0,26	< 0,34	< 0,74	< 0,35
La Flamenne (aval SOMANU)	21/04/2015	Sédiments	< 0,39	$0,72 \pm 0,19$	< 0,39	< 0,67	< 0,50
	21/04/2015	Algues filamenteuses	$0,35 \pm 0,12$	$1,27 \pm 0,22$	$0,53 \pm 0,19$	< 0,70	$2,73 \pm 0,37$
	01/08/2017	Sédiments	< 0,12	$0,31 \pm 0,08$	< 0,14	< 0,14	$0,61 \pm 0,10$
	01/08/2017	Algues filamenteuses	$0,44 \pm 0,18$	$1,02 \pm 0,25$	$1,02 \pm 0,28$	$0,79 \pm 0,22$	$9,59 \pm 1,22$

## Impact sur le milieu terrestre

L'autorisation de rejets délivrée à la SOMANU ne prévoit pas de rejets d'effluents gazeux dans l'atmosphère. Pour autant, les activités menées sur le site avaient conduit l'exploitant à déclarer en 2011 un événement relatif à la présence de traces de cobalt 58 et de cobalt 60 dans les effluents gazeux rejetés à la cheminée de l'atelier, sans conséquence pour l'environnement.

Les campagnes de prélèvements et de mesures menées dans le cadre du volet terrestre du constat Normandie et Hauts-de-France ont donc été l'occasion de s'assurer de l'absence de radionucléides artificiels du fait d'éventuels rejets gazeux dans l'environnement proche de la SOMANU. Des prélèvements de sol, d'herbe et de légumes ont notamment été réalisés à proximité et à distance de l'installation (Figure 77).

Hormis le césium 137 issu de la rémanence des retombées atmosphériques, aucun autre radionucléide artificiel n'a été mesuré sur les prélèvements réalisés. Des valeurs significatives en césium 137 ont été obtenues par spectrométrie gamma *in situ* et sur le prélèvement de sol réalisé à Neuf-Mesnils, au sud-ouest du site ; elles se situent au niveau du bruit de fond régional ( $2,8 \pm 0,4$  Bq/kg frais). Les activités mesurées dans les deux prélèvements de betteraves réalisés au nord et au sud de l'installation sont aussi à des niveaux très faibles (0,01 Bq/kg frais et 0,03 Bq/kg frais respectivement) qui relèvent du bruit de fond. Ces résultats sont synthétisés dans le Tableau 32.

Les activités de tritium libre et de tritium organiquement lié mesurées dans deux échantillons d'herbe prélevés au sud et au nord du site de la SOMANU, sont faibles et correspondent au bruit de fond, confirmant ainsi l'absence de marquage lié aux activités de la SOMANU.

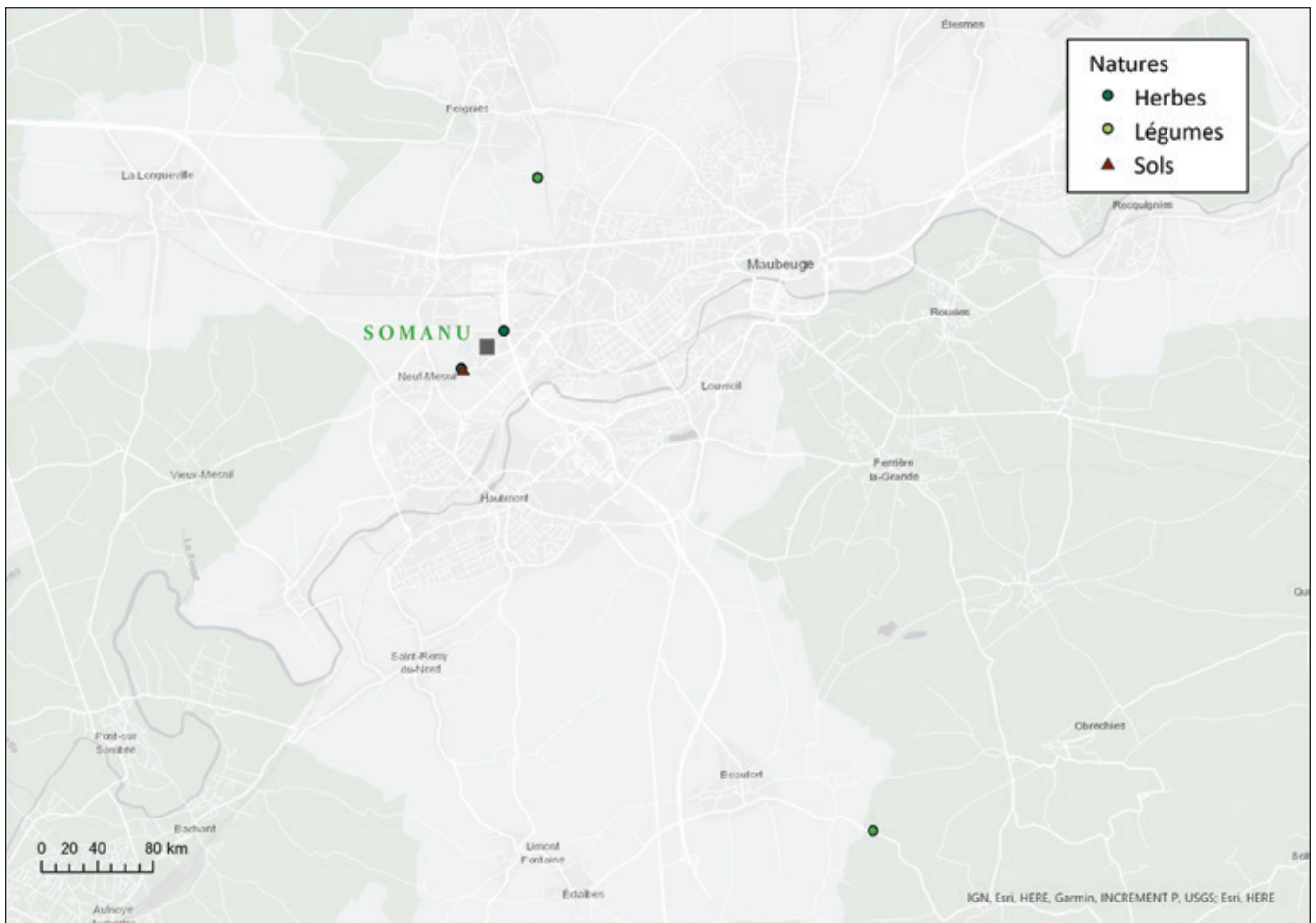


Figure 77 : Carte des prélèvements réalisés dans le compartiment terrestre près de la SOMANU dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France

Tableau 32 : Activités en césium 137 et en tritium mesurées dans les prélèvements réalisés près de la SOMANU

Nature	Zone de prélèvement	Césium 137 (Bq/kg frais)	Tritium libre (Bq/L)	Tritium organiquement lié (Bq/kg sec)
Herbe	Sud-ouest du site (500 m)	< 0,03	1,1 ± 0,7	0,7 ± 0,3
	Nord-est du site (350 m)	< 0,04	0,9 ± 0,7	0,9 ± 0,3
Betterave	Nord du site (2 km)	0,03 ± 0,006	nm	nm
	Sud du site (7 km)	0,01 ± 0,005	nm	nm
Sol	Sud-ouest du site (550 m)	2,8 ± 0,4	nm	nm

nm : non mesuré



Mesures gamma *in situ* et prélèvements d'herbe à proximité de la SOMANU en présence des représentants de la CLI (août 2017)  
© Marie-Hélène PERTUISOT/IRSN

## 6 7 BRUIT DE FOND EN TRITIUM AUTOUR DU GANIL AVANT LE DÉMARRAGE DE SPIRAL 2

À l'occasion des travaux menés dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France, une campagne de prélèvements a été organisée en 2018 autour du GANIL à Caen afin d'acquérir des données complémentaires autour de cette installation et de disposer

de résultats de mesures (en particulier de tritium) avant la mise en service de la nouvelle boucle de l'accélérateur. Ce projet d'extension (SPIRAL 2) visait en effet à étendre les caractéristiques de l'accélérateur de particules et a fait l'objet d'une demande de modification de l'autorisation de rejets de l'installation<sup>(22)</sup>.

En lien avec les radionucléides susceptibles d'être rejetés, des mesures de spectrométrie gamma ont été réalisées sur tous les prélèvements ainsi qu'en tritium libre et organiquement lié sur les échantillons d'herbes et de légumes prélevés dans le cadre de cette campagne. La Figure 78 présente les prélèvements réalisés, ainsi que les principaux résultats d'intérêt.

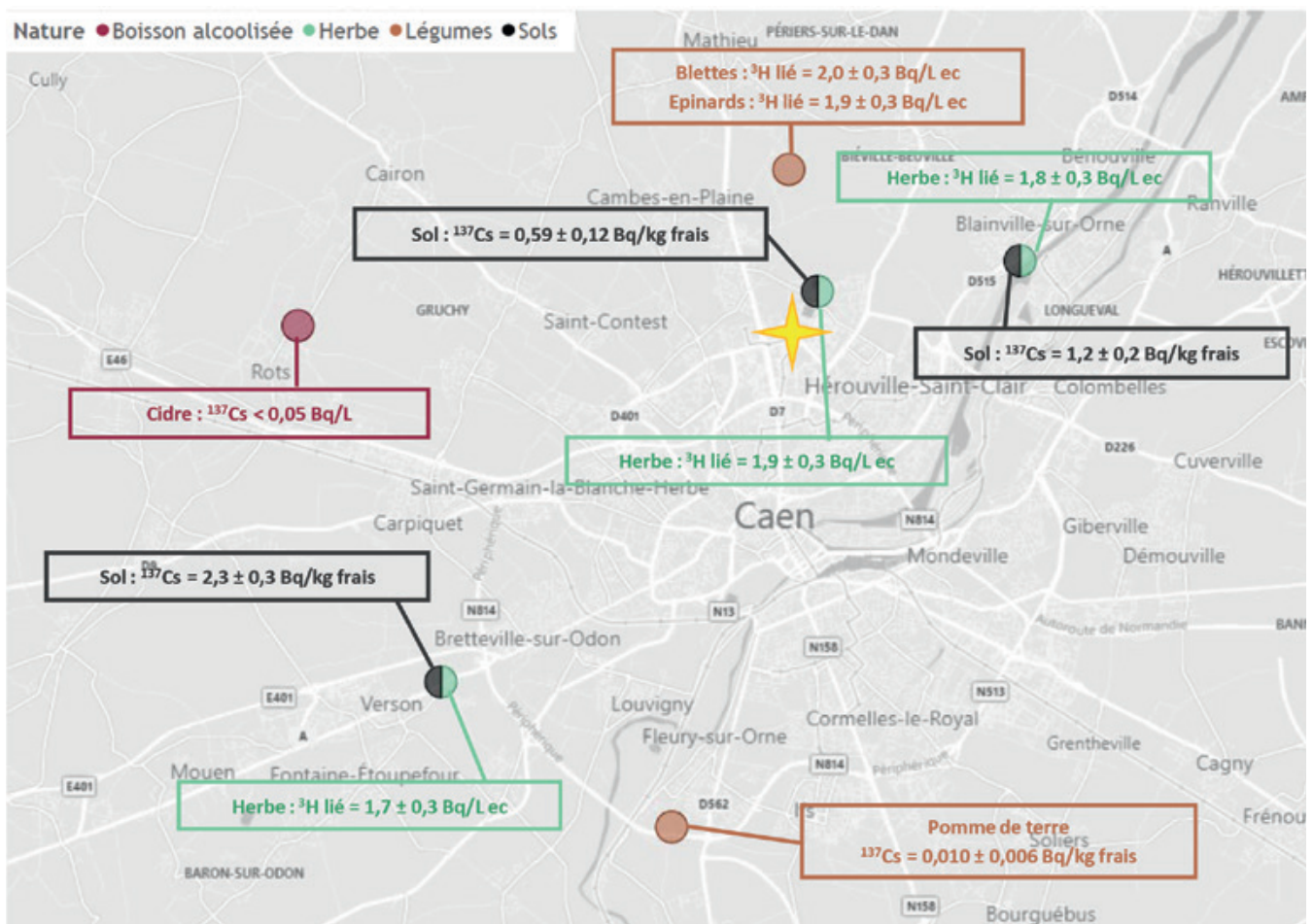


Figure 78 : Carte des prélèvements réalisés autour du GANIL (Bq/L ec = Bq/L d'eau de combustion)

22 Décision n° 2015-DC-0515 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 7 juillet 2015 fixant les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents de l'installation nucléaire de base n° 113 exploitée par le Groupement d'intérêt économique GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds) dans le département du Calvados, décision homologuée le 16 septembre 2015.



On constate que les activités en césium 137 mesurées sur les trois prélèvements de sols sont du même ordre de grandeur que celles présentées au paragraphe 5.4 et correspondent au bruit de fond issu des retombées atmosphériques. Il en va de même pour l'activité en césium 137 mesurée sur le prélèvement de pomme de terre réalisé au sud de Caen ( $0,010 \pm 0,006$  Bq/kg frais). Un échantillon de cidre produit à quelques kilomètres à l'ouest de Caen a également été mesuré par spectrométrie gamma sans qu'aucun radionucléide artificiel n'ait été mesuré.

En ce qui concerne les résultats en tritium organiquement lié, les activités mesurées sont relativement homogènes autour de

l'installation, sans observer d'hétérogénéités spatiales liées aux vents dominants qui soufflent du sud-ouest vers le nord-est. Les résultats en tritium sont rassemblés dans le Tableau 33.

Les activités en tritium organiquement lié (moyenne de 1,9 Bq/L d'eau de combustion) correspondent aux activités mesurées hors influence d'une installation rejetant du tritium dans l'atmosphère. L'influence du GANIL sur son environnement proche n'est donc pas discernable du bruit de fond.

**Tableau 33** : Résultats des analyses de tritium dans les végétaux près du GANIL

Libellé	Espèce	Activité en tritium libre (Bq/L)	Activité en tritium organiquement lié (Bq/L ec)
Point 1 Bieville-Beauville	Blette	$1,10 \pm 0,69$	$1,99 \pm 0,30$
	Épinard	$0,89 \pm 0,69$	$1,88 \pm 0,30$
Point 2 Hérouville Saint-Clair	Herbe	$2,43 \pm 0,74$	$1,93 \pm 0,31$
Point 3 Blainville-sur-Orne	Herbe	$1,41 \pm 0,70$	$1,84 \pm 0,31$
Point 4 Verson	Herbe	$1,59 \pm 0,71$	$1,77 \pm 0,30$



Mesures gamma *in situ* et prélèvements d'herbe à proximité du GANIL (avril 2018) © Rémi VERSCHAEVE/IRSN

# 7 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

**L**e constat radiologique Normandie et Hauts-de-France, initié en 2014 par l'IRSN, a porté sur l'ensemble des dix départements composant ces deux régions, ainsi que sur la Manche et la partie sud de la mer du Nord. Les travaux menés ont permis d'approfondir la connaissance des niveaux de radioactivité naturelle et artificielle dans les différentes composantes de l'environnement par l'obtention de résultats de mesures souvent inédits, à proximité mais également à distance des installations nucléaires, notamment sur des indicateurs peu étudiés dans le cadre de la surveillance radiologique régulière mise en œuvre par les différents acteurs de cette surveillance. Au total, plus de 500 prélèvements et 1 000 analyses ont été spécifiquement réalisés entre 2014 et 2018. Le constat a poursuivi un double objectif : caractériser le bruit de fond hors influence des installations nucléaires et évaluer plus finement l'influence de leurs rejets.

En premier lieu, les travaux se sont attachés à renforcer et à mettre à jour la connaissance sur le bruit de fond hérité des retombées anciennes dans les différentes composantes de l'environnement. Pour le milieu aquatique, le tritium, le carbone 14, les produits de fission et d'activation ainsi que les radionucléides naturels ont été quantifiés précisément, à des niveaux ou à des seuils de décision très bas, permettant dès lors de disposer de niveaux de référence à l'échelle de ces deux régions.

L'IRSN s'est ainsi attaché à couvrir un grand nombre de cours d'eau, dont certains n'avaient jusqu'alors jamais fait l'objet d'analyses, afin de disposer d'un référentiel actualisé des niveaux d'activités dans les différents compartiments biologiques (eau, sédiments, végétaux aquatiques). Les mesures réalisées n'ont mis en évidence aucune particularité locale émanant de radionucléides naturels. Les résultats obtenus pour le tritium et le carbone 14 ont montré des niveaux d'activité qui relèvent du bruit de fond radiologique hérités des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Il en est de même pour le césium 137 rémanent de ces retombées et de celles de l'accident de Tchernobyl, dont les activités mesurées, qui se situent dans la gamme des valeurs les plus basses mesurées en France, confirment que ces cours d'eau drainent un territoire assez peu touché par les retombées de cet accident. Les mesures effectuées en aval des centres de médecine nucléaire ont par ailleurs confirmé la présence d'iode 131 due à leurs rejets et permis de quantifier les valeurs associées, notamment dans les végétaux aquatiques.

En milieu marin, de nouvelles données ont été acquises, notamment sur les produits issus de la pêche à pieds et, grâce à la collaboration avec l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), sur la faune aquatique et les sédiments offshore, qui jusque-là n'avaient jamais pu être analysés par l'IRSN. En dehors de l'influence de l'usine de la Hague, les résul-

tats acquis confirment que les activités de carbone 14 en milieu marin sont proches de celles mesurées en milieu terrestre – bien que légèrement supérieures et plus variables – et que les activités en tritium organiquement lié (TOL) sont relativement homogènes sur l'ensemble des différentes matrices étudiées. Pour les autres radionucléides artificiels, seules quelques valeurs, légèrement supérieures aux seuils de décisions, ont pu être relevées sur les sédiments et les échantillons de faune prélevés à proximité de l'usine de la Hague.

Sur le volet atmosphérique, l'accent a été mis sur le renforcement de la connaissance des niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle à proximité des installations nucléaires. Cependant, des données sur le bruit de fond dans les aérosols atmosphériques et en tritium dans l'atmosphère ont également été recueillies, confirmant la baisse des niveaux d'activités dans l'air hors influence des rejets des installations nucléaires.

Les campagnes sur le volet terrestre ont quant à elles essentiellement visé l'acquisition de données complémentaires sur les niveaux d'activités des radionucléides dans les denrées représentatives des territoires étudiés (fromages, pommes de terre, lingots du nord...) et les indicateurs biologiques habituellement prélevés dans le cadre de la surveillance régulière (végétaux terrestres). Une actualisation des données relatives au tritium dans les herbes hors influence des installations nucléaires et des niveaux en césium 137 dans les sols a également été réalisée, confirmant notamment les faibles retombées de l'accident de Tchernobyl sur le Nord-Ouest du pays. Ces informations seraient par ailleurs utiles pour disposer de niveaux de référence en cas de rejet accidentel provenant d'une installation nucléaire.

En second lieu, les travaux menés dans le cadre du constat, en particulier sur le volet atmosphérique, ont permis d'acquérir des données plus précises sur l'influence des rejets liés au fonctionnement normal des installations nucléaires du territoire concerné. Autour du CNPE de Gravelines et de l'usine de retraitement de la Hague, la présence de plusieurs radionucléides émetteurs gamma imputables aux rejets atmosphériques tels que le cobalt 58, le cobalt 60, l'iode 129 ou l'argent 110m a ainsi été mise en évidence, de même que l'influence des installations sur les niveaux en tritium dans les eaux de pluie. Les niveaux observés en césium 137 n'ont, en revanche, pas permis de distinguer une éventuelle contribution des rejets des installations par rapport au bruit de fond issu des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

Les demandes des acteurs locaux, exprimées au sein du comité de suivi mis en place pour accompagner le constat, ont été intégrées à la stratégie d'étude. Elles ont notamment conduit l'IRSN à s'intéresser aux sites du territoire mettant en œuvre de la

radioactivité naturelle renforcée, en particulier les sites de stockages de phosphogypses. Au vu des premiers résultats obtenus et de la variété des situations rencontrées, l'IRSN envisage une étude plus complète sur ce type de site à l'issue de ce constat. Un regard a également été porté sur les niveaux d'activités dans les eaux souterraines, qu'il s'agisse des nappes phréatiques à l'aplomb des installations nucléaires ou du suivi sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

Quelques campagnes effectuées lors de cette étude autour d'installations nucléaires ne faisant jusque-là pas l'objet d'un suivi régulier de la part de l'IRSN ont en outre permis d'établir un état de référence pour leur intégration à la surveillance régulière de l'Institut. C'est le cas notamment du GANIL à Caen, avant le démarrage de l'installation SPIRAL 2, et de la SOMANU (Framatome) à Maubeuge, pour laquelle les prélèvements réali-

sés dans le cadre du constat ont mis en évidence une influence des rejets liquides sur le milieu aquatique.

De plus, ce constat radiologique a confirmé des marquages déjà connus, liés à des incidents survenus sur certaines des installations nucléaires de la zone étudiée, comme la contamination de la nappe phréatique à l'aplomb du centre de stockage de la Manche en tritium par un incident au début des années 1970 ou la présence de plutonium et d'américium dans les sédiments de la Seine.

Enfin, le constat Normandie et Hauts de France a été l'occasion de tester de nouveaux dispositifs de surveillance qui sont aujourd'hui progressivement déployés dans le cadre de la surveillance régulière comme du nouveau programme d'étude radiologique de sites mis en œuvre par l'IRSN.



Prélèvement de salicornes sur l'estran vaso-sableux de Régneville-sur-Mer (octobre 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN

- [1] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017. Rapport IRSN DG/2018-00006.
- [2] Rapport Nucléaire et environnement 2017. Bilan 2017 des CNPE en exploitation.
- [3] Groupe radioécologique Nord Cotentin. Inventaire des rejets des installations nucléaires, volume 1.
- [4] Rapport d'information du site Orano la Hague. Édition 2017.
- [5] Centre de stockage de la Manche, rapport environnemental et bilan annuel de la surveillance du Centre et de son environnement – Année 2017.
- [6] Rapport d'information du site de SOMANU. Édition 2017.
- [7] Constat radiologique Nord-Normandie : rapport méthodologique relatif aux compartiments aquatiques continental et marin. Rapport IRSN PRP-ENV/SESURE 2015-01.
- [8] Mesures et expertise sur les radionucléides présents dans les sédiments issus de l'approfondissement du chenal de navigation du Grand port maritime de Rouen. Rapport IRSN DEI/SECRE n° 09-022.
- [9] Traces historiques de radionucléides artificiels dans les dépôts sédimentaires de la Seine : l'ASN considère qu'il n'y a pas de risque sanitaire. Note d'information du 17 Juin 2014.
- [10] Détection de concentration anormale en plutonium dans les sédiments de la Seine. Avis IRSN 2014-00042.
- [11] Mise en œuvre du programme de surveillance des peuplements de poissons dans les masses d'eau de transition (estuaires) du bassin Seine-Normandie. Agence de l'Eau Seine-Normandie, Rapport de terrain, campagne d'automne sur les masses d'eau HT04, HT05 et HT06 et campagne exploratoire sur l'estuaire de la Dives (HT08).
- [12] Évaluation annuelle du stock de coquilles Saint-Jacques de la baie de Seine : résultats de la campagne COMOR 45. Rapport IFREMER.
- [13] Surveillance sanitaire des coquillages de Pêche récréative du département de la Manche. Bilan des suivis 2012/2014. Rapport ARS Basse-Normandie, Service Santé Environnement.
- [14] Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) – Base de données du RNM et site internet public : [www.mesure-radioactivite.fr](http://www.mesure-radioactivite.fr)
- [15] Radioactivité d'un secteur littoral de la Manche : données nouvelles sur les sources et transferts au continent par aérosols et embruns marins. Rapport CEA-R-5193.
- [16] Transfert des radionucléides sous forme de gaz et d'aérosols dans les environnements complexes : étude expérimentales de dispersion atmosphérique et d'échanges aux interfaces », Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, 2003.
- [17] Mémento de la statistique agricole. Rapport Agreste, édition 2015.
- [18] Chroniques des niveaux d'activité au sein des systèmes aquatiques fluviaux français, radionucléides émetteurs gamma, <sup>90</sup>Sr et isotopes du plutonium. Rapport IRSN DEI/SESURE 2009-29.
- [19] Radionucléides naturels en France. Approche géochimique de la variabilité des radionucléides naturels d'origine tellurique dans les sols et les sédiments fluviaux. Rapport DEI/SESURE 2007-21.
- [20] Constat radiologique Vallée du Rhône. Rapport final relatif au milieu aquatique. Rapport PRP-ENV/SESURE/2013-37.
- [21] Natural radioactivity in the aquatic components of the main French rivers. Radiation Protection Dosimetry, 45 (1-4).
- [22] Bruit de fond du tritium en milieu terrestre. Article Radioprotection 49(2), 139-142.
- [23] Constat radiologique « Rémanence de la radioactivité d'origine artificielle ». Rapport PRP-ENV/SESURE 2015-41.
- [24] Doses liées à l'incorporation de radionucléides naturels par l'alimentation en France métropolitaine. Rapport IRSN PRP-ENV/SESURE/2014-18.
- [25] Bilan 2013 de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement à l'échelle de la Normandie (littoral et cours d'eau). Rapport de l'ACRO.

- [26] Suivi radioécologique de l'environnement terrestre, aquatique continental et marin des centres nucléaires de production d'électricité français, année 2012. Fascicule II la Manche et la mer du Nord. Rapport PRP-ENV/SESURE/2013-05.
- [27] Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2012. Rapport de synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN.
- [28] Exploitation des séries temporelles de mesures environnementales de concentrations en radionucléides disponibles dans les compartiments biologiques en Manche Rapport IRSN/2020-00083.
- [29] Mesures de l'iode 129 particulaire et gazeux à proximité du site Orano La Hague Rapport IRSN/2019-00711.
- [30] Radioactivité naturelle technologiquement renforcée – 2<sup>e</sup> partie Les phosphogypses. Rapport de l'Association Robin des Bois (2009).
- [31] Le phosphogypse, utilisation d'un sous-produit industriel en technique routière. Rapport du Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC) (1978).
- [32] Étude des termes sources et du transfert de la radioactivité d'origine médicale dans le réseau d'assainissement de la ville de Toulouse. Rapport IRSN DEI/SESURE n° 2004-25.
- [33] Constat radiologique Sud-Ouest, rapport de synthèse. Rapport IRSN/2020-00896.
- [34] 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* 9, 169-210.
- [35] Étude de la pénétration des particules marines dans l'estuaire de la Seine par l'analyse des radionucléides naturels et artificiels. Programme scientifique Seine Aval ; thème Hydrodynamique et transport sédimentaire.
- [36] Développement d'un piègeur passif pour la surveillance du tritium atmosphérique. *Article Radioprotection* 2017, 52(1), 57–64.



Prélèvement de sédiments dans la Sambre en amont de la confluence avec la Flamenne (avril 2015) © Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN

# LISTE DES ACRONYMES

<b>AASQA</b>	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
<b>ACRO</b>	Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest
<b>ANDRA</b>	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
<b>AOP/AOC</b>	Appellation d'origine protégée/contrôlée
<b>ARS</b>	Agence régionale de santé
<b>CEA</b>	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
<b>CLI</b>	Commission locale d'information
<b>CNPE</b>	Centre nucléaire de production d'électricité
<b>CNRS</b>	Centre national de la recherche scientifique
<b>CSM</b>	Centre de stockage de la Manche (ANDRA)
<b>DDTM</b>	Direction départementale des territoires et de la mer
<b>DGAL</b>	Direction générale de l'alimentation
<b>DGCCRF</b>	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
<b>DREAL</b>	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
<b>EC</b>	Eau de combustion
<b>EDF</b>	Électricité de France
<b>GANIL</b>	Grand accélérateur national d'ions lourds
<b>GEMEL</b>	Groupe d'étude des milieux estuariens et littoraux
<b>HT</b>	Tritium sous forme d'hydrogène tritié
<b>HTO</b>	Tritium sous forme d'eau tritiée
<b>IBTS</b>	International Bottom Trawl Survey
<b>ICPE</b>	Installation classée pour la protection de l'environnement
<b>IFREMER</b>	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
<b>IGP</b>	Indication géographique protégée
<b>INB</b>	Installation nucléaire de base
<b>IRSN</b>	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
<b>LD</b>	Limite de détection
<b>MES</b>	Matières en suspension
<b>ONEMA</b>	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
<b>REP</b>	Réacteur à eau pressurisée
<b>RNM</b>	Réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement : <a href="http://www.mesure-radioactivite.fr">www.mesure-radioactivite.fr</a>
<b>SD</b>	Seuil de décision
<b>SFMN</b>	Société française de médecine nucléaire
<b>STEP</b>	Station d'épuration des eaux usées
<b>TOL</b>	Tritium organiquement lié

# TABLE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX

## Illustration

Figure 1 : Étendue géographique du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France .....	7
Figure 2 : Étendue géographique du volet aquatique continental du constat Normandie et Hauts-de-France.....	8
Figure 3 : Répartition des prélèvements réalisés par différents acteurs présents sur le territoire du constat pour l'année 2017 (source : RNM).....	9
Figure 4 : Chaînes de désintégration de l'uranium 238, du thorium 232 et de l'uranium 235 .....	10
Figure 5 : Principales installations sur le territoire du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France.....	11
Figure 6 : Aperçu général des ZI et ZNI sur tout le territoire du constat Normandie et Hauts-de-France .....	16
Figure 7 : Résultats de mesures radiologiques disponibles pour le volet aquatique continental en 2015.....	18
Figure 8 : Localisation des stations de prélèvement relatives au volet aquatique continental.....	19
Figure 9 : Localisation des deux stations de dragage sédimentaire sur la Seine aval.....	20
Figure 10 : Bilan des campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre du volet aquatique continental .....	21
Figure 11 : Natures et localisation des prélèvements réalisés sur le volet aquatique continental.....	21
Figure 12 : Exemple de maillage retenu pour la campagne en Manche occidentale de 2014 et localisation des prélèvements IRSN.....	23
Figure 13 : Bilan des campagnes de prélèvements réalisées dans le cadre du volet aquatique marin .....	24
Figure 14 : Natures et localisation des prélèvements réalisés pour le volet aquatique marin .....	25
Figure 15 : Données disponibles et prélèvements réalisés dans le cadre du volet aquatique du constat Normandie et Hauts-de-France.....	26
Figure 16 : Localisation des stations d'intérêt du réseau ATMO de la balise aérosols grand débit .....	28
Figure 17 : Localisation des stations d'intérêt du réseau de surveillance d'Orano la Hague et de la balise aérosols grand débit .....	28
Figure 18 : Répartition des prélèvements par département dans le compartiment terrestre en 2018 (Source : RNM) .....	30
Figure 19 : Prélèvements existants par type de matrice sur le territoire du constat.....	31
Figure 20 : Surfaces dédiées aux différentes productions agricoles sur le territoire du constat (données 2013).....	31
Figure 21 : Carte des points de référence herbe, gamma in situ et sol .....	33
Figure 22 : Prélèvements réalisés dans le cadre du constat par rapport aux données disponibles auparavant .....	35
Figure 23 : Résultats des analyses en tritium dans les échantillons du constat radiologique Normandie et Hauts-de-France .....	38
Figure 24 : Activité en césium 137 dans les eaux brutes (Bq/L) et les sédiments aquatiques (Bq/kg sec) prélevés en 2015 dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France .....	41
Figure 25 : Synthèse des activités mesurées sur les principaux radionucléides naturels (K, U, Th) en milieu marin.....	43
Figure 26 : Radioactivité naturelle des sédiments de la Manche et de la mer du Nord prélevés dans le cadre du constat .....	43
Figure 27 : Activités en polonium 210 dans les mollusques, crustacés et poissons prélevés à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France.....	44
Figure 28 : Activité en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés sur le littoral.....	45
Figure 29 : Activité en tritium organiquement lié dans les échantillons prélevés en mer .....	46
Figure 30 : Gamme d'activité en carbone 14 dans les algues brunes observée sur la période 2000-2014 par l'IRSN .....	47
Figure 31 : Activités en carbone 14 dans les échantillons prélevés sur le littoral.....	48

Figure 32 : Activités en carbone 14 dans les échantillons de poissons et de céphalopodes prélevés en mer .....	49
Figure 33 : Activités en césium 137 dans les sédiments marins superficiels prélevés dans le cadre du constat.....	50
Figure 34 : Activités en césium 137 dans les poissons prélevés lors des campagnes océanographiques d'IFREMER 2014-2015.....	51
Figure 35 : Activités en césium 137 dans les encornets prélevés lors des campagnes océanographiques d'IFREMER 2014-2015.....	52
Figure 36 : Activités en cobalt 60 dans les patelles du port de Goury (données IRSN) et rejets liquides de la Hague (données Orano).....	53
Figure 37 : Activités en cobalt 60 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques d'IFREMER 2014-2015 et des campagnes littorales de l'IRSN en 2015.....	53
Figure 38 : Activités en strontium 90 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques d'IFREMER 2014-2015 et campagnes littorales CNN en 2015.....	56
Figure 39 : Activités en américium 241 dans les échantillons faune-flore prélevés lors des campagnes littorales du constat en 2015.....	57
Figure 40 : Activités en américium 241 dans les sédiments marins superficiels prélevés lors des campagnes océanographiques d'IFREMER 2014-2015 et des campagnes littorales de l'IRSN en 2015.....	58
Figure 41 : Activités en plutonium dans les échantillons prélevés lors des campagnes littorales en 2015.....	58
Figure 42 : Activités mesurées en spectrométrie alpha sur les échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du constat.....	59
Figure 43 : Activités en béryllium 7 et plomb 210 mesurées en 2016 et 2017 sur les stations aérosols implantées sur le territoire du constat.....	60
Figure 44 : Activités significatives mesurées entre janvier 2016 et décembre 2017 sur les stations aérosols implantées sur le territoire du constat.....	61
Figure 45 : Activités volumiques en iode 129 sous forme particulaire et gazeuse mesurées à la station IRSN d'Omonville-la-Petite.....	62
Figure 46 : Radionucléides naturels mesurés sur les aérosols atmosphériques Omonville-la-Petite et à Gravelines .....	63
Figure 47 : Radionucléides artificiels mesurés sur les aérosols atmosphériques à la station IRSN d'Omonville-la-Petite entre mars et octobre 2015.....	64
Figure 48 : Radionucléides artificiels mesurés sur les aérosols atmosphériques à la station AS1 du CNPE de Gravelines entre mai 2017 et avril 2018.....	65
Figure 49 : Gammes d'activité du débit de dose gamma ambiant par départements sur la période 2015 - 2017.....	66
Figure 50 : Débit de dose gamma ambiant enregistré à Amiens en 2016 (moyenne journalière) .....	66
Figure 51 : Débit de dose gamma ambiant et activité en krypton 85 mesurés à la station d'Omonville-la-Petite.....	67
Figure 52 : Activités en tritium mesurées dans les eaux de pluies à proximité des 4 CNPE présents sur le territoire du constat.....	68
Figure 53 : Activités en tritium mesurées dans les eaux de pluies à proximité de l'usine de la Hague.....	69
Figure 54 : Dépôts au sol de césium 137 venant de l'accident de Tchernobyl (reconstitution mise à jour en 2005).....	70
Figure 55 : Activités massiques en césium 137 dans les prélèvements de sols (Bq/kg frais) et par les mesures gamma in-situ (Bq/kg).....	71
Figure 56 : Activités significatives de transuraniens mesurées dans les denrées .....	72
Figure 57 : Activités mesurées de strontium 90 dans les denrées et les productions emblématiques.....	73
Figure 58 : Activités de tritium organiquement lié mesurées dans les végétaux terrestres.....	74
Figure 59 : Gammes d'activités de tritium mesurées dans les eaux de nappe dans le périmètre des sites sur la période 2016-2017 (donnée RNM) .....	75



Figure 60 : Gammes d'activité de tritium dans les eaux de nappe prélevées au niveau des différents piézomètres du CSM et de l'établissement Orano de la Hague sur la période 2016-2017.....	77
Figure 61 : Activité moyenne du tritium dans les eaux de nappe prélevées au niveau des différents piézomètres du CSM et de l'établissement Orano de la Hague sur la période 2016-2017 (source RNM) .....	79
Figure 62 : Activités alpha globales supérieures à 0,1 Bq/L par département en 2018.....	80
Figure 63 : Localisation des industries RNR prises en compte dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France.....	81
Figure 64 : Localisation du site de stockage de phosphogypses de Wattlelos .....	82
Figure 65 : Prélèvement sur la Seine en aval du site de stockage d'Anneville-Ambourville .....	84
Figure 66 : Implantation de TIOXIDE Europe et configuration du canal de Marck à Calais (Watergang du Sud).....	85
Figure 67 : Implantation d'ARKEMA et configuration hydrographique du bassin de la Risle .....	87
Figure 68 : Résultat des mesures en iode 131 dans les eaux et végétaux aquatiques des cours d'eau du territoire Normandie et Hauts-de-France.....	88
Figure 69 : Activité du cobalt 60 dans les sédiments de la Seine Aval (données IRSN, campagne 2004) .....	89
Figure 70 : Localisation des stations de dragage sédimentaire sur la Seine aval et du point amont réalisé à Croissy-sur-Seine.....	90
Figure 71 : Localisation des stations ATMO à proximité du CNPE de Gravelines et implantation des piègeurs passifs tritium .....	92
Figure 72 : Résultats des activités en tritium mesurées sur les 5 stations autour du CNPE de Gravelines entre mars et octobre 2016 .....	93
Figure 73 : Localisation des stations village Orano et de la station IRSN et implantation des piègeurs passifs tritium autour du site de la Hague.....	94
Figure 74 : Résultats des activités de tritium mesurées sur les 6 stations entre octobre 2016 et mai 2017 .....	96
Figure 75 : Répartition des formes HT et HTO du tritium mesuré à Omonville-la-Petite par l'IRSN en 2015 dans le cadre de la surveillance régulière .....	97
Figure 76 : Localisation du ruisseau de la Flamenne, à proximité de la SOMANU.....	98
Figure 77 : Carte des prélèvements réalisés dans le compartiment terrestre près de la SOMANU dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France.....	100
Figure 78 : Carte des prélèvements réalisés autour du GANIL.....	102

## Tableau

Tableau 1 : Liste des réacteurs présents sur les 4 CNPE du constat (source : EDF).....	12
Tableau 2 : Rejets liquides des 4 CNPE présents sur le territoire du constat en 2017 (données EDF).....	12
Tableau 3 : Rejets gazeux des 4 CNPE présents sur le territoire du constat en 2017 (données EDF).....	12
Tableau 4 : Bilan des rejets gazeux de l'usine Orano de la Hague de 2010 à 2017 (données Orano).....	13
Tableau 5 : Bilan des rejets liquides de l'usine Orano de la Hague de 2014 à 2017 (données Orano).....	13
Tableau 6 : Limites de rejets des effluents gazeux du GANIL.....	14
Tableau 7 : Plan de prélèvements et de mesures sur les poissons du volet aquatique continental (stations ONEMA).....	20
Tableau 8 : Synthèse des prélèvements obtenus grâce au partenariat avec l'IFREMER dans le cadre de leurs différentes campagnes de prélèvements.....	22
Tableau 9 : Plan de prélèvements et de mesures relatif au volet marin littoral.....	24
Tableau 10 : Plan d'analyses et critères associés.....	27
Tableau 11 : Synthèse des prélèvements et analyses réalisés dans le cadre du volet atmosphérique.....	29
Tableau 12 : Plan de prélèvements du volet productions agricoles représentatives de chaque département.....	32
Tableau 13 : Liste des prélèvements AOP/AOC envisagés pour le constat Normandie et Hauts-de-France.....	32
Tableau 14 : Liste des prélèvements réalisés dans le cadre du volet terrestre du constat.....	34
Tableau 15 : Résultats d'analyse des radionucléides naturels dans les échantillons de sédiments dulçaquicoles.....	37
Tableau 16 : Résultats en tritium lié mesuré sur les végétaux aquatiques et les poissons.....	39
Tableau 17 : Activité mesurée en carbone 14 dans les végétaux aquatiques et les poissons prélevés dans le cadre du constat Normandie et Hauts-de-France.....	40
Tableau 18 : Activité massique en 137Cs dans les poissons prélevés par l'ONEMA et la Fédération de pêche de l'Eure à l'occasion du constat Normandie et Hauts-de-France.....	42
Tableau 19 : Activités en strontium 90 dans les prélèvements de faune aquatique du constat Normandie et Hauts-de-France.....	55
Tableau 20 : Activités des principaux radionucléides d'origine artificielle mesurées sous influence du CNPE de Gravelines entre mai 2017 et avril 2018.....	64
Tableau 21 : Synthèse des activités en tritium mesurées sur les eaux de pluie entre janvier 2016 et mars 2017.....	68
Tableau 22 : Activité en césium 137 dans les prélèvements d'herbes réalisés dans le cadre du constat.....	71
Tableau 23 : Production et destination des phosphogypses sur le territoire français en 1978 (LCPC, 1978).....	82
Tableau 24 : Résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau prélevés en aval du site de stockage de Wattrelos.....	83
Tableau 25 : Résultats d'analyses des radionucléides naturels dans les échantillons d'eau et de sédiments prélevés dans le Watergang du Sud, en aval de l'industrie Tioxide Europe à Calais.....	86
Tableau 26 : Résultats d'analyses en radionucléides naturels dans l'échantillon de sédiment prélevé en aval historique de l'ancienne usine ARKEMA.....	87
Tableau 27 : Résultats des mesures de plutonium et d'américium 241 réalisés sur les sédiments de dragages de la Seine (campagnes 2008 et 2015).....	90
Tableau 28 : Synthèse de résultats de mesures du tritium dans l'atmosphère autour du CNPE de Gravelines.....	92
Tableau 29 : Synthèse des résultats de mesures du tritium dans l'atmosphère autour de l'usine de la Hague.....	95
Tableau 30 : Activités en tritium mesurés dans les eaux de surface à proximité de la SOMANU.....	99
Tableau 31 : Activités mesurées dans les sédiments et les végétaux aquatiques de la Sambre et de la Flamenne.....	99
Tableau 32 : Activités en césium 137 et en tritium dans les prélèvements réalisés près de la SOMANU.....	101
Tableau 33 : Résultats des analyses de tritium dans les végétaux près du GANIL.....	103

## ANNEXES

## 11 1

ANNEXE 1 - PRODUCTIONS DÉPARTEMENTALES DES DENRÉES CIBLES  
DU CONSTAT

Seuil minimum retenu pour le choix des denrées cibles : 3 %  
Nombre de prélèvements par département et par site : 1

Denrées	Hauts-de-France						Normandie						Total
	Aisne	Nord	Oise	Pas-de-Calais	Somme	Total Région	Calvados	Manche	Orne	Eure	Seine-Maritime	Total Région	
Céréales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blé tendre	3,8 %	2,4 %	3,3 %	3,5 %	4,0 %	16,9 %	1,7 %	0,9 %	1,8 %	3,2 %	2,3 %	9,9 %	5
Orge	2,4 %	0,9 %	1,5 %	1,9 %	1,9 %	8,5 %	1,1 %	0,5 %	1,1 %	1,6 %	1,5 %	5,8 %	0
Cultures industrielles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Betterave	14,8 %	5,1 %	9,3 %	8,9 %	10,4 %	48,5 %	2,1 %	0,01 %	0,3 %	2,5 %	2,9 %	7,8 %	5
Lin	1,7 %	6,7 %	2,3 %	11,2 %	10,2 %	32,1 %	8,6 %	-	0,5 %	20,3 %	34,3 %	63,7 %	6
Pommes de terre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PdT conso.	3,4 %	20,8 %	2,5 %	15,2 %	16,6 %	58,5 %	0,7 %	0,5 %	0,05 %	1,2 %	5,8 %	8,3 %	5
Oléagineux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Colza	3,5 %	0,8 %	3,0 %	1,4 %	2,7 %	11,3 %	1,4 %	0,2 %	1,7 %	4,0 %	2,0 %	9,3 %	2
Protéagineux	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Féveroles	-	-	-	-	-	-	4,4 %	0,3 %	1,0 %	3,5 %	5,2 %	14,4 %	3
Légumes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Haricots verts	3,2 %	2,5 %	1,9 %	4,0 %	11,9 %	22,8 %	-	-	-	-	-	-	3
Petits pois	3,8 %	9,9 %	4,3 %	20,7 %	17,1 %	55,9 %	-	-	-	-	-	-	5
Haricots	3,8 %	1,3 %	2,8 %	6,1 %	13,8 %	27,8 %	-	-	-	-	-	-	3
Chou-fleur	-	3,2 %	-	4,5 %	-	7,9 %	-	4,0 %	-	-	-	-	3
Endives	6,7 %	20,8 %	2,1 %	34,7 %	26,6 %	90,9 %	-	-	-	-	-	-	4
Epinards	3,6 %	-	-	9,8 %	8,9 %	22,3 %	-	-	-	-	-	-	3
Poireaux	-	-	-	-	-	-	-	21,0 %	-	-	-	-	1
Persil	-	-	-	-	-	-	-	7,0 %	-	-	-	-	1
Carottes	-	-	-	-	-	-	-	14,0 %	-	-	-	-	1
Céleris-raves	-	-	-	-	-	-	-	5,0 %	-	-	-	-	1
Navets	-	-	-	-	-	-	-	19,0 %	-	-	-	-	1
Salsifis et scorsonères	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,0 %	-	1
Production animale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lait	1,2 %	2,7 %	0,7 %	3,0 %	1,8 %	9,4 %	2,6 %	6,3 %	2,8 %	1,0 %	2,6 %	15,3 %	1
Viande de porc (données 2010 pour la Normandie)	0,3 %	2,4 %	0,1 %	1,3 %	0,5 %	4,6 %	4,2 %		1,0 %		5,2 %		1
Viande de bœuf (données 2013)	1,2 %	1,8 %	0,6 %	2,1 %	1,1 %	6,8 %	2,2 %	4,1 %	2,6 %	0,9 %	2,5 %	12,3 %	1
Poulets de chair	-	-	-	-	-	5,9 %	2,5 %		0,5 %		3,0 %		0
Cheval	-	-	-	-	-	-	14,9 %		3,6 %		18,5 %		2
Lapins	-	-	-	-	-	-	3,0 %		0,7 %		3,7 %		0
Pintades	-	-	-	-	-	-	2,5 %		0,6 %		3,1 %		0
Dindes et dindons	-	-	-	-	-	-	3,0 %		0,5 %		3,5 %		0
(Eufs de consommation)	-	-	-	-	-	8,9 %	-	-	-	-	-	-	0
Fourrages	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mais ensilage	0,8 %	2,1 %	0,7 %	2,7 %	1,8 %	8,1 %	0,2 %	0,4 %	0,3 %	0,3 %	0,2 %	1,4 %	0
Alcool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Champagne AOP	7,4 %	-	-	-	-	7,4 %	-	-	-	-	-	-	1
Pommes à cidre	-	-	-	-	-	-	18,4 %	7,7 %	13,8 %	-	-	39,9 %	3
<b>Total prélèvements ZNI</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>38</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>62</b>
<b>Nombre d'installations</b>	0	2	0	0	0	2	1	3	0	0	2	6	8
<b>Total prélèvements ZI</b>	0	12	0	0	0	12	5	27	0	0	8	40	52
<b>Total prélèvements ZI + ZNI</b>	10	18	3	10	9	50	10	36	1	5	12	64	114

## 11 2 ANNEXE 2 – PRÉSENTATION DE LA BOÎTE À MOUSTACHES

Pour décrire une série de résultats de mesures, et notamment sa dispersion, il est possible de fournir les bornes minimum et maximum, déterminant ainsi la gamme complète des valeurs. Toutefois, il arrive que les minimum et maximum correspondent à des valeurs extrêmes qui donnent une vision trop large de la gamme de valeurs les plus fréquemment rencontrées. Pour déterminer cette gamme, il est possible de calculer des percentiles (on parle aussi de quantile). Ainsi, 80 % des données sont comprises entre le percentile 10 % et le percentile 90 %.

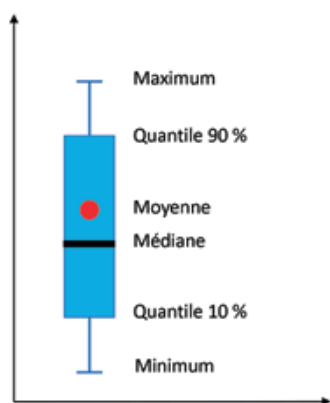


Figure A1: Représentation de la boîte à moustaches

La « boîte à moustaches » permet de représenter simultanément plusieurs indicateurs et d'obtenir une vision synthétique et complète de la répartition des résultats de mesures. Habituellement, la « boîte à moustaches » fournit des percentiles et notamment une médiane (percentile 50) pour indiquer le centre de la distribution (50 % des valeurs sont inférieures à la médiane).

Les notions utilisées pour l'analyse des données dans le cadre de cette étude sont rappelées ci-après :

- moyenne : somme des valeurs mesurées divisée par le nombre total de mesures ;
- médiane : valeur qui partage en deux groupes de même effectif l'ensemble des mesures (50 % des mesures étant inférieures à cette valeur et 50 % des mesures étant supérieures à cette valeur) ;
- percentiles : ils partagent une population de données en 100 portions égales : par exemple le percentile 90 %, est la valeur pour laquelle 90 % des mesures sont inférieures à cette valeur.

L'utilisation de deux percentiles tels que 10 %-90 % permet d'encadrer de façon robuste l'ensemble des mesures.

11 3

ANNEXE 3 - LOCALISATION DES ZONES DE PÊCHES DES CAMPAGNES IFREMER

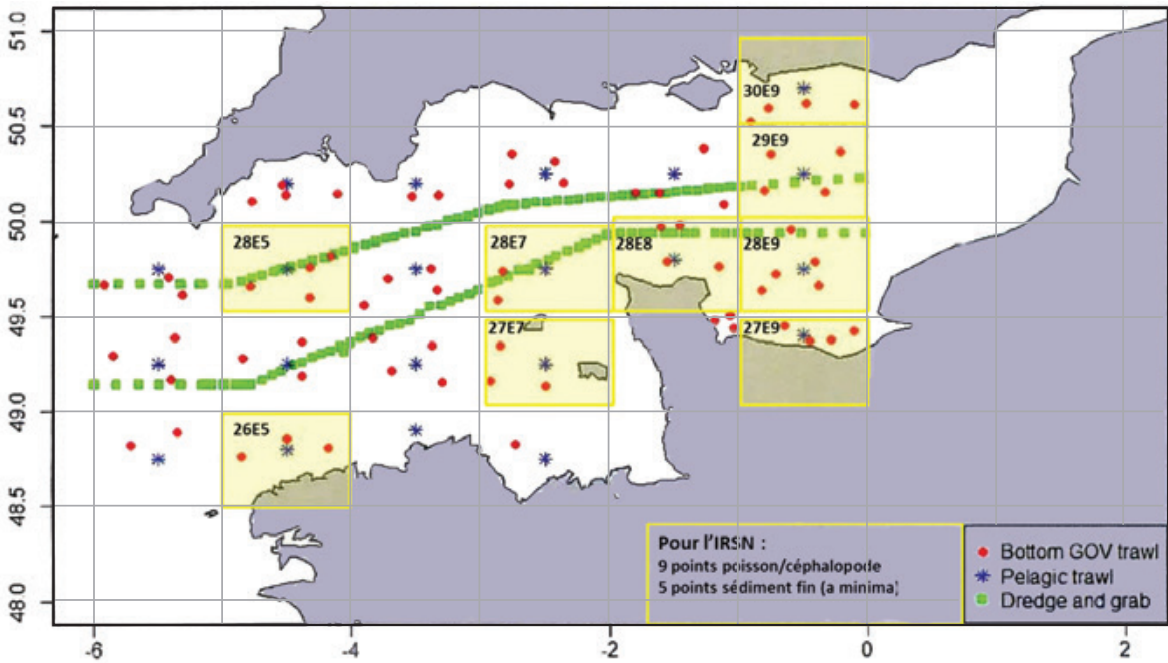


Figure A2 : Carte du maillage de la campagne en Manche occidentale 2014 et localisation des prélèvements IRSN

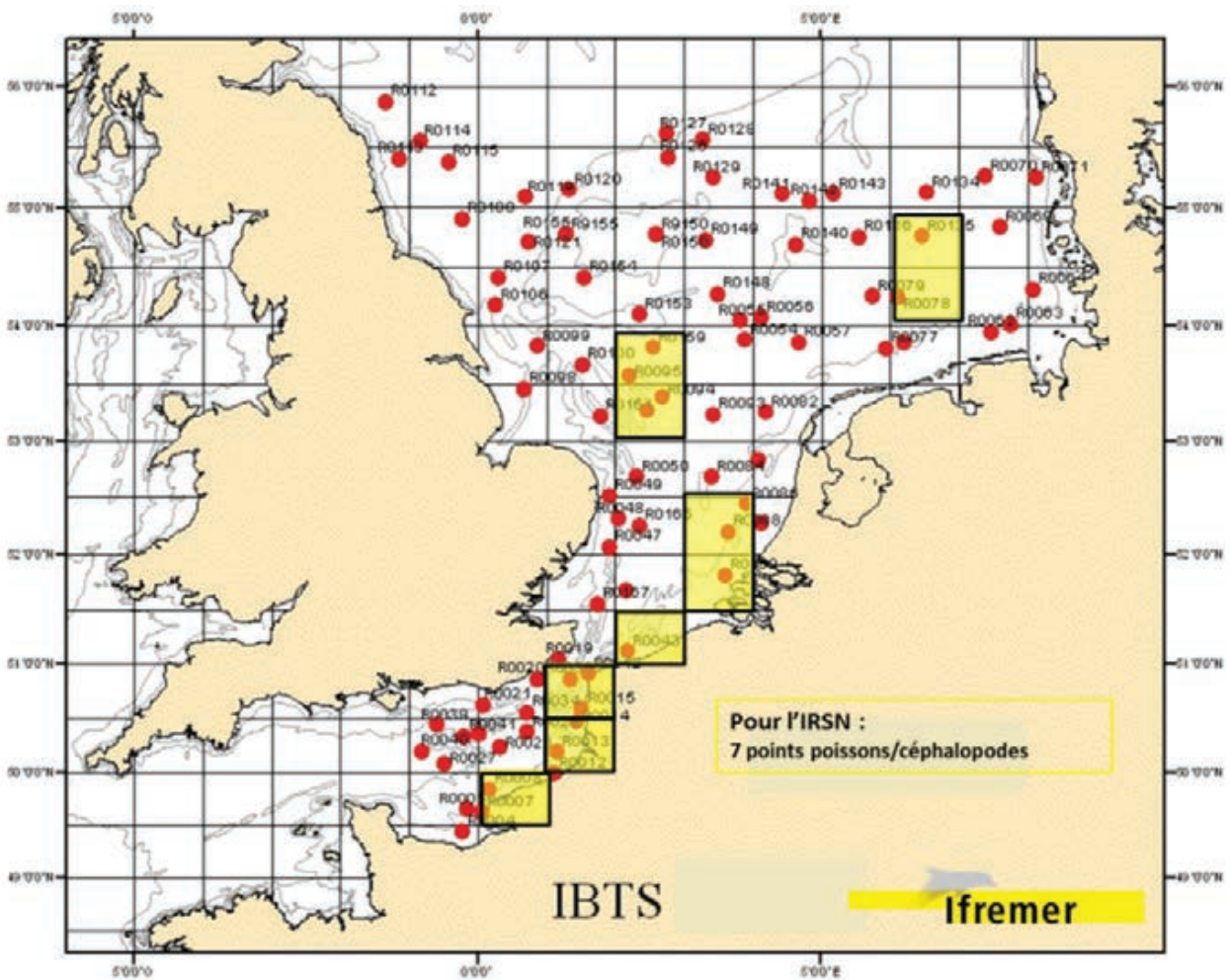


Figure A3 : Carte du maillage de la campagne en Manche occidentale 2015 et localisation des prélèvements IRSN

## 11 4 ANNEXE 4 – TABLEAUX DE RÉSULTATS

Les données présentées dans ce rapport sont disponibles dans le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement ([www.mesure-radioactivite.fr](http://www.mesure-radioactivite.fr)), à l'exception des analyses

réalisées dans le cadre d'études expérimentales qui sont fournies dans les tableaux suivants :

Annexe 4.1 : Résultats de mesures acquis dans le cadre de l'étude sur le tritium autour du CNPE de Gravelines

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	0,87 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	0,006 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	1,35 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	0,009 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	< 0,68	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	< 0,004	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	1,05 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	16/03/16	30/03/16	<sup>3</sup> H	0,007 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,64	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,63	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,63	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	1,18 ± 0,71	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	0,009 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,64	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	30/03/16	13/04/16	<sup>3</sup> H	< 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	2,0 ± 0,7	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	1,01 ± 0,71	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	0,007 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	1,85 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	0,012 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	1,27 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	0,008 ± 0,004	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	0,99 ± 0,68	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	13/04/16	27/04/16	<sup>3</sup> H	0,006 ± 0,004	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	0,81 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	1,02 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	1,48 ± 0,71	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>

nc : non calculé (hygrométrie non disponible)

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	ne	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	< 0,67	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	27/04/16	11/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	1,33 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	1,16 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	0,94 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	0,80 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	1,01 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	11/05/16	25/05/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	1,38 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	0,015 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	1,24 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	0,013 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	2,14 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	0,023 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	1,8 ± 0,72	Bq/l
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	2,07 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	25/05/16	08/06/16	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,84 ± 0,66	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,009 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	1,95 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	1,59 ± 0,68	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	1,29 ± 0,68	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	1,51 ± 0,68	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	8/06/16	22/06/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	1,50 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	1,7 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	0,021 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	2,07 ± 0,774	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	1,53 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	1,34 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	22/06/16	06/07/16	<sup>3</sup> H	0,015 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>

nc : non calculé (hygrométrie non disponible)  
ne : prélèvement non exploitable

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	0,85 ± 0,69	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	0,010 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	1,50 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	0,018 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	06/07/16	21/07/16	<sup>3</sup> H	2,21 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	06/07/16	21/07/16	<sup>3</sup> H	0,027 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	1,34 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	1,66 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	06/07/16	20/07/16	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	2,31 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	0,029 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	2,02 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	0,027 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	ne	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	ne	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	2,36 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	20/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	0,047 ± 0,015	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	21/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	1,59 ± 0,71	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	21/07/16	03/08/16	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	03/08/16	17/08/16	<sup>3</sup> H	2,49 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	03/08/16	17/08/16	<sup>3</sup> H	0,029 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	2,13 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	0,025 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	1,54 ± 0,68	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	0,018 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	1,35 ± 0,67	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	0,016 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	2,26 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	03/08/16	16/08/16	<sup>3</sup> H	0,028 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	2,12 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	0,028 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	2,29 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	0,031 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	2,57 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	0,034 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	2,43 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	16/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	0,032 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	17/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	2,50 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	17/08/16	31/08/16	<sup>3</sup> H	0,033 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	1,25 ± 0,69	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	2,09 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	0,028 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>

ne : prélèvement non exploitable



Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	2,14 ± 0,79	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	0,029 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	1,97 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	0,026 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	2,09 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	31/08/16	13/09/16	<sup>3</sup> H	0,028 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	1,88 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	1,62 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	2,04 ± 0,71	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	1,33 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	0,016 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	2,00 ± 0,79	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	13/09/16	28/09/16	<sup>3</sup> H	0,025 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	1,58 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	2,11 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	1,54 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	1,21 ± 0,69	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	0,011 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	2,29 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	28/09/16	11/10/16	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	1,56 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	0,013 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	2,84 ± 0,81	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	2,82 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	1,99 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	11/10/16	26/10/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	1,72 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	Malo-les-Bains (Rue Henri Dunant)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	1,04 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	Grande-Synthe (Rue du Comte Jean)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	0,008 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	1,24 ± 0,70308	Bq/L
Piège passif	Loon-Plage (Rue des sports)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	0,010 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	1,79 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	Gravelines PC/DRIRE (Rue du pont de pierre)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	0,015 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	2,04 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	Calais-Parmentier (Voie des sables)	26/10/16	08/11/16	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>

## Annexe 4.2 : Résultats de mesures acquis dans le cadre de l'étude sur le tritium autour du site de la Hague

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	4,86 ± 0,83	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	0,046 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	7,70 ± 0,98	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	0,070 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	3,49 ± 0,79	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	0,034 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	2,68 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	0,026 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	2,12 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/10/2016	01/11/2016	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	1,72 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	12,40 ± 1,33	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	0,092 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	3,01 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	0,023 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	1,48 ± 0,69	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	0,011 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	2,89 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/11/2016	15/11/2016	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	1,32 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	0,010 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	4,82 ± 0,90	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	3,46 ± 0,85	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	1,66 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	0,012 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	16/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	2,06 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	16/11/2016	01/12/2016	<sup>3</sup> H	0,016 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	21/11/2016	5/12/2016	<sup>3</sup> H	3,29 ± 0,82	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	21/11/2016	5/12/2016	<sup>3</sup> H	0,021 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	1,32 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	0,010 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	3,50 ± 0,79	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	0,027 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	2,49 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	6,99 ± 1,10	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/12/2016	15/12/2016	<sup>3</sup> H	0,054 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>

nc : non calculé (hygrométrie non disponible)

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	05/12/2016	19/12/2016	<sup>3</sup> H	35,4 ± 2,70	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	05/12/2016	19/12/2016	<sup>3</sup> H	0,262 ± 0,020	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	18,30 ± 1,62	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	0,126 ± 0,011	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	2,76 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	2,08 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	0,014 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	5,43 ± 0,86	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	0,040 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	3,21 ± 0,82	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/12/2016	01/01/2017	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	19/12/2016	16/01/2017	<sup>3</sup> H	3,46 ± 0,84	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	19/12/2016	16/01/2017	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	1,67 ± 0,97	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	0,009 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	1,08 ± 0,75	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	0,006 ± 0,004	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	20,40 ± 1,92	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/01/2017	01/02/2017	<sup>3</sup> H	0,117 ± 0,011	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	16/01/2017	30/01/2017	<sup>3</sup> H	12,30 ± 1,21	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	16/01/2017	30/01/2017	<sup>3</sup> H	0,069 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/01/2017	02/1/2017	<sup>3</sup> H	4,34 ± 0,98	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/01/2017	02/1/2017	<sup>3</sup> H	0,025 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	3,32 ± 0,98	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	30/01/2017	13/02/2017	<sup>3</sup> H	20,30 ± 1,90	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	30/01/2017	13/02/2017	<sup>3</sup> H	0,147 ± 0,014	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	3,56 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	0,023 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	2,33 ± 0,72	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	0,015 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	9,04 ± 1,23	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	0,06 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	5,78 ± 1,01	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/02/2017	15/02/2017	<sup>3</sup> H	0,038 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	13/02/2017	27/02/2017	<sup>3</sup> H	9,77 ± 1,07	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	13/02/2017	27/02/2017	<sup>3</sup> H	0,075 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	1,75 ± 0,70	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	0,013 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	5,70 ± 0,86	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	0,043 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	2,49 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	0,019 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	2,18 ± 0,98	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	0,017 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	4,92 ± 1,08	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/02/2017	01/03/2017	<sup>3</sup> H	0,037 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	27/02/2017	13/03/2017	<sup>3</sup> H	5,29 ± 0,85	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	27/02/2017	13/03/2017	<sup>3</sup> H	0,043 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	4,17 ± 0,81	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	0,037 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	4,28 ± 0,81	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	0,035 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	2,44 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	0,018 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	3,01 ± 0,7525	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	5,46 ± 0,87	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/03/2017	15/03/2017	<sup>3</sup> H	0,043 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	13/03/2017	27/03/2017	<sup>3</sup> H	4,11 ± 0,80	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	13/03/2017	27/03/2017	<sup>3</sup> H	0,029 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	5,22 ± 0,82	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	0,039 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	8,11 ± 0,97	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	0,065 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	3,29 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	0,026 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	2,50 ± 0,74	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	6,53 ± 0,89	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/03/2017	01/04/2017	<sup>3</sup> H	0,057 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	27/03/2017	10/04/2017	<sup>3</sup> H	8,35 ± 1,03	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	27/03/2017	10/04/2017	<sup>3</sup> H	0,072 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	2,81 ± 0,91	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	3,95 ± 0,80	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	0,032 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	7,81 ± 1,14	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	0,065 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	5,87 ± 0,89	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	0,048 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>

Nature	Station de prélèvement	Date de début	Date de fin	Radionucléide	Activité	Unité
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	8,83 ± 1,19	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/04/2017	15/04/2017	<sup>3</sup> H	nc	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	04/10/2017	24/04/2017	<sup>3</sup> H	7,52 ± 1,12	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	04/10/2017	24/04/2017	<sup>3</sup> H	0,061 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	3,05 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	0,020 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	3,43 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	0,024 ± 0,005	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	3,27 ± 0,81	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	0,022 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	18,20 ± 1,65	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/04/2017	01/05/2017	<sup>3</sup> H	0,128 ± 0,012	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	24/04/2017	10/05/2017	<sup>3</sup> H	3,20 ± 0,77	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	24/04/2017	10/05/2017	<sup>3</sup> H	0,025 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	5,81 ± 0,89	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	0,053 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	4,18 ± 0,82	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	0,037 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	5,83 ± 0,89	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	0,054 ± 0,008	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	2,03 ± 0,73	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	0,015 ± 0,006	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	3,69 ± 0,78	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	01/05/2017	15/05/2017	<sup>3</sup> H	0,035 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	10/05/2017	19/06/2017	<sup>3</sup> H	9,27 ± 1,06	Bq/L
Piège passif	Station IRSN - Omonville-la-Petite	10/05/2017	19/06/2017	<sup>3</sup> H	0,098 ± 0,011	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	3,66 ± 0,80	Bq/L
Piège passif	AS1 - station Gréville-Hague	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	0,042 ± 0,009	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	6,32 ± 0,93	Bq/L
Piège passif	AS2 - station Digueville	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	0,074 ± 0,011	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	5,29 ± 0,88	Bq/L
Piège passif	AS4 - Station Herqueville	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	0,062 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	3,12 ± 0,76	Bq/L
Piège passif	AS3 - Station Beaumont-La-Hague	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	0,027 ± 0,007	Bq/m <sup>3</sup>
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	6,09 ± 0,88	Bq/L
Piège passif	AS5 - Station Jobourg	15/05/2017	01/06/2017	<sup>3</sup> H	0,068 ± 0,010	Bq/m <sup>3</sup>

nc : non calculé (hygrométrie non disponible)

Annexe 4.3 : Activités significatives mesurées sur les filtres de la station aérosols grand débit lors de l'étude menée à la Hague

Prélèvements				
Date de début	Date de fin	Nature	Station	Volume (m <sup>3</sup> )
23/03/2015	30/03/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	43170
30/03/2015	07/04/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57703
07/04/2015	15/04/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	66610
15/04/2015	20/04/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	65263
20/04/2015	27/04/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	41630
27/04/2015	04/05/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	59071
04/05/2015	11/05/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57726
11/05/2015	18/05/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57460
18/05/2015	26/05/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57518
26/05/2015	01/06/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	65725
01/06/2015	08/06/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	49260
08/06/2015	15/06/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57579
15/06/2015	23/06/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56229
23/06/2015	29/06/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	64286
29/06/2015	06/07/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	48614
06/07/2015	10/07/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56226
10/07/2015	20/07/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	32427
20/07/2015	27/07/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	78660
27/07/2015	03/08/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	55189
03/08/2015	10/08/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	58039
10/08/2015	17/08/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56123
17/08/2015	24/08/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	31831
24/08/2015	31/08/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56067
31/08/2015	07/09/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56107
07/09/2015	14/09/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57650
14/09/2015	21/09/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56129
21/09/2015	28/09/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56859
28/09/2015	05/10/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	57243
05/10/2015	12/10/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	55999
12/10/2015	19/10/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	56656
19/10/2015	26/10/2015	Aérosols atmosphériques	Omonville-la-Petite	60323

Activité volumique en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$						
$^7\text{Be}$	$^{22}\text{Na}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{234}\text{Th}$	$^{60}\text{Co}$	$^{129}\text{I}$	$^{137}\text{Cs}$
2840 ± 260	0,31 ± 0,08	640 ± 60	< 1,1	< 0,05	0,17 ± 0,06	0,40 ± 0,07
2090 ± 190	0,25 ± 0,07	117 ± 11	< 1,0	< 0,04	2,33 ± 0,26	0,05 ± 0,03
1830 ± 170	0,11 ± 0,05	118 ± 11	< 0,8	< 0,04	< 0,50	< 0,02
3460 ± 310	0,37 ± 0,07	380 ± 40	< 1,1	< 0,03	3,90 ± 0,50	0,19 ± 0,03
2700 ± 250	0,23 ± 0,07	325 ± 30	< 1,0	< 0,05	0,12 ± 0,05	0,09 ± 0,03
3190 ± 290	0,40 ± 0,08	288 ± 27	< 1,3	< 0,03	2,01 ± 0,22	0,12 ± 0,03
2260 ± 210	0,31 ± 0,06	118 ± 11	0,9 ± 0,3	< 0,03	0,84 ± 0,10	0,12 ± 0,03
2790 ± 260	0,32 ± 0,07	166 ± 16	< 0,7	< 0,03	3,60 ± 0,40	0,03 ± 0,02
4000 ± 400	0,55 ± 0,10	213 ± 20	< 1,0	< 0,04	0,24 ± 0,06	0,04 ± 0,02
2590 ± 240	0,27 ± 0,07	180 ± 17	< 0,9	< 0,03	0,11 ± 0,05	0,07 ± 0,03
3470 ± 320	0,38 ± 0,08	202 ± 19	< 1,1	< 0,05	0,71 ± 0,10	0,08 ± 0,03
2610 ± 240	0,36 ± 0,09	121 ± 12	< 1,0	0,13 ± 0,05	0,10 ± 0,06	< 0,03
3560 ± 320	0,48 ± 0,10	269 ± 25	< 1,2	< 0,04	< 0,80	0,07 ± 0,03
2810 ± 260	0,36 ± 0,07	202 ± 19	< 0,8	< 0,03	< 0,50	0,08 ± 0,02
1860 ± 170	0,21 ± 0,06	196 ± 19	< 0,9	< 0,05	1,08 ± 0,13	0,04 ± 0,02
3800 ± 400	0,41 ± 0,08	332 ± 31	0,8 ± 0,5	< 0,02	2,27 ± 0,25	0,05 ± 0,02
2940 ± 270	0,37 ± 0,09	160 ± 15	< 1,1	< 0,06	0,55 ± 0,09	0,08 ± 0,04
2320 ± 210	0,25 ± 0,05	152 ± 14	< 0,6	< 0,02	0,86 ± 0,10	0,08 ± 0,02
2120 ± 190	0,24 ± 0,06	124 ± 12	< 0,8	< 0,03	0,42 ± 0,07	0,03 ± 0,02
2930 ± 270	0,32 ± 0,08	210 ± 20	< 1,1	< 0,04	1,43 ± 0,17	0,06 ± 0,03
2730 ± 250	0,21 ± 0,06	160 ± 15	< 1,0	0,03 ± 0,02	0,92 ± 0,12	0,06 ± 0,02
3700 ± 400	0,25 ± 0,10	360 ± 40	< 1,6	< 0,08	1,15 ± 0,16	0,09 ± 0,05
3630 ± 330	0,29 ± 0,07	356 ± 33	< 1,1	< 0,04	1,99 ± 0,22	0,05 ± 0,02
2860 ± 260	0,23 ± 0,07	206 ± 19	< 1,1	< 0,05	0,26 ± 0,07	< 0,04
2300 ± 210	0,15 ± 0,05	191 ± 18	< 0,8	< 0,031	< 0,50	0,03 ± 0,02
2960 ± 270	0,22 ± 0,06	311 ± 29	< 0,9	< 0,03	1,36 ± 0,16	0,04 ± 0,02
2220 ± 200	0,19 ± 0,05	243 ± 23	0,7 ± 0,4	0,04 ± 0,02	0,46 ± 0,07	< 0,03
2660 ± 240	0,14 ± 0,04	219 ± 21	< 0,8	< 0,03	< 0,50	0,04 ± 0,02
3530 ± 320	0,29 ± 0,07	640 ± 60	< 1,0	< 0,03	0,18 ± 0,06	0,21 ± 0,04
4100 ± 120	0,16 ± 0,09	370 ± 11	< 1,3	< 0,04	0,2 ± 0,12	0,20 ± 0,08
3800 ± 400	0,18 ± 0,06	660 ± 70	< 1,2	< 0,03	< 0,90	1,71 ± 0,19

## Annexe 4.4 : Activités significatives mesurées sur les filtres de la station aérosols grand débit lors de l'étude menée à Gravelines

Prélèvements				
Date de début	Date de fin	Nature	Station	Volume (m³)
01/05/2017	08/05/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	21195
08/05/2017	15/05/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	20757
15/05/2017	22/05/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	18524
22/05/2017	29/05/2017	aerosols atmosferiques	Gravelines AS1	18522
29/05/2017	05/06/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	18589
05/06/2017	12/06/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	33709
12/06/2017	19/06/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	50993
19/06/2017	26/06/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51559
26/06/2017	03/07/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51022
03/07/2017	10/07/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51858
10/07/2017	17/07/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51532
17/07/2017	24/07/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51036
24/07/2017	31/07/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	50979
31/07/2017	07/08/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51860
07/08/2017	14/08/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52444
14/08/2017	21/08/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54186
21/08/2017	28/08/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52251
28/08/2017	04/09/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52721
04/09/2017	11/09/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51602
11/09/2017	18/09/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52095
18/09/2017	25/09/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	55974
25/09/2017	02/10/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52722
02/10/2017	09/10/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54320
09/10/2017	16/10/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54005
16/10/2017	23/10/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51735
23/10/2017	30/10/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	53422
30/10/2017	06/11/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54203
06/11/2017	13/11/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54528
13/11/2017	20/11/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	56013
20/11/2017	27/11/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	53759
27/11/2017	04/12/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	59585
04/12/2017	11/12/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54563
11/12/2017	18/12/2017	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	57844
08/01/2018	15/01/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54883
15/01/2018	22/01/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52305
22/01/2018	29/01/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	56172
29/01/2018	05/02/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	55169
05/02/2018	12/02/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	56779
12/02/2018	19/02/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	Volume non conforme
19/02/2018	26/02/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	56284
26/02/2018	05/03/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51405
05/03/2018	12/03/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	50580
12/03/2018	19/03/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	52999
19/03/2018	26/03/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	55485
26/03/2018	02/04/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	Volume non conforme
02/04/2018	09/04/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	54913
09/04/2018	16/04/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	50719
16/04/2018	23/04/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	50972
23/04/2018	30/04/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51146
30/04/2018	07/05/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51518
07/05/2018	14/05/2018	Aérosols atmosphériques	Gravelines AS1	51392



Activité volumique en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$							
$^7\text{Be}$	$^{22}\text{Na}$	$^{210}\text{Pb}$	$^{234}\text{Th}$	$^{60}\text{Co}$	$^{95}\text{Zr}$	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{137}\text{Cs}$
3026 ± 271	0,29 ± 0,17	302 ± 28	< 2,46	< 0,13	< 0,13	< 0,11	0,18 ± 0,08
4263 ± 382	0,45 ± 0,12	344 ± 31	< 1,77	< 0,08	< 0,08	< 0,07	0,14 ± 0,05
2830 ± 254	0,25 ± 0,11	254 ± 23	< 1,76	< 0,09	< 0,11	< 0,09	0,08 ± 0,06
3509 ± 314	0,48 ± 0,16	461 ± 42	< 2,34	< 0,12	< 0,13	< 0,11	< 0,10
2705 ± 242	0,35 ± 0,11	310 ± 28	< 1,54	1,34 ± 0,23	< 0,11	< 0,08	< 0,08
2291 ± 205	0,36 ± 0,08	175 ± 16	< 1,03	0,15 ± 0,05	0,63 ± 0,10	0,13 ± 0,04	0,05 ± 0,03
2089 ± 187	0,25 ± 0,06	332 ± 30	< 0,75	0,06 ± 0,03	< 0,04	< 0,03	0,06 ± 0,02
3072 ± 275	0,45 ± 0,09	498 ± 45	< 1,09	0,34 ± 0,07	< 0,05	0,06 ± 0,03	0,09 ± 0,03
2321 ± 208	0,28 ± 0,07	197 ± 18	< 1,07	0,08 ± 0,04	< 0,05	< 0,04	0,07 ± 0,03
3293 ± 295	0,44 ± 0,08	355 ± 32	< 0,99	0,48 ± 0,08	< 0,04	0,08 ± 0,03	0,05 ± 0,02
2509 ± 225	0,32 ± 0,07	187 ± 17	< 0,95	0,14 ± 0,04	< 0,04	0,12 ± 0,04	0,03 ± 0,02
2595 ± 232	0,35 ± 0,07	269 ± 25	< 0,90	0,18 ± 0,04	< 0,04	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,02
2415 ± 161	0,26 ± 0,07	179 ± 12	< 1,14	0,13 ± 0,05	< 0,042	< 0,04	0,05 ± 0,02
1991 ± 178	0,25 ± 0,05	155 ± 14	< 0,76	0,08 ± 0,03	< 0,04	< 0,03	0,05 ± 0,02
2508 ± 225	0,25 ± 0,05	190 ± 17	< 0,72	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03 ± 0,02
2498 ± 224	0,23 ± 0,06	236 ± 22	< 0,95	< 0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,03
2434 ± 218	0,27 ± 0,07	305 ± 28	< 0,99	< 0,06	< 0,04	< 0,04	0,07 ± 0,03
3082 ± 276	0,24 ± 0,06	428 ± 39	< 0,94	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,11 ± 0,03
2320 ± 208	0,20 ± 0,05	209 ± 19	< 0,94	0,12 ± 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,03
1131 ± 101	0,11 ± 0,04	134 ± 12	< 0,67	0,10 ± 0,03	< 0,04	< 0,04	< 0,04
2231 ± 200	0,19 ± 0,06	346 ± 32	< 1,04	< 0,05	< 0,04	< 0,04	0,06 ± 0,03
3107 ± 278	0,22 ± 0,06	682 ± 62	< 1,09	0,23 ± 0,05	< 0,05	< 0,04	0,10 ± 0,03
2055 ± 184	0,13 ± 0,05	142 ± 13	< 1,02	< 0,05	< 0,05	< 0,04	< 0,04
2923 ± 262	0,22 ± 0,06	723 ± 66	< 1,21	0,10 ± 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
2974 ± 266	0,28 ± 0,06	618 ± 56	< 1,08	< 0,05	< 0,04	< 0,04	0,15 ± 0,03
2033 ± 182	0,15 ± 0,04	215 ± 20	< 0,77	0,22 ± 0,05	< 0,04	< 0,03	0,04 ± 0,02
3580 ± 320	0,35 ± 0,07	531 ± 48	< 0,99	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,08 ± 0,02
2182 ± 195	0,15 ± 0,04	238 ± 22	< 0,78	0,04 ± 0,02	< 0,04	< 0,03	0,16 ± 0,03
2323 ± 208	0,21 ± 0,05	174 ± 16	< 0,88	< 0,04	< 0,03	< 0,03	0,06 ± 0,02
3709 ± 332	0,37 ± 0,08	587 ± 54	< 1,33	< 0,05	< 0,05	< 0,04	0,08 ± 0,03
1073 ± 96	0,08 ± 0,03	78 ± 7	< 0,48	< 0,03	< 0,03	< 0,02	0,05 ± 0,01
2085 ± 187	0,17 ± 0,04	175 ± 16	< 0,70	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,07 ± 0,02
1107 ± 99	0,07 ± 0,03	72 ± 7	< 0,54	< 0,03	< 0,03	< 0,02	0,08 ± 0,02
1297 ± 116	< 0,07	506 ± 46	< 0,85	< 0,05	< 0,04	< 0,03	0,22 ± 0,04
1826 ± 163	0,14 ± 0,04	78 ± 7	0,74 ± 0,38	0,05 ± 0,02	< 0,04	< 0,03	< 0,03
2349 ± 210	0,27 ± 0,06	100 ± 9	< 0,87	0,17 ± 0,04	< 0,04	0,13 ± 0,02	< 0,03
1416 ± 127	0,08 ± 0,03	146 ± 13	< 0,71	< 0,04	< 0,04	< 0,03	0,03 ± 0,02
2019 ± 181	0,16 ± 0,05	201 ± 18	< 0,98	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,07 ± 0,03
Volume non conforme							
3188 ± 285	0,30 ± 0,06	490 ± 45	< 0,94	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,32 ± 0,05
2784 ± 249	0,25 ± 0,06	579 ± 53	< 1,06	< 0,04	< 0,05	< 0,04	1,20 ± 0,13
2652 ± 238	0,24 ± 0,07	200 ± 18	< 1,17	< 0,05	< 0,06	< 0,04	0,09 ± 0,03
2497 ± 223	0,23 ± 0,05	326 ± 30	< 0,85	< 0,03	< 0,04	< 0,03	0,22 ± 0,05
4524 ± 405	0,63 ± 0,11	319 ± 29	< 1,42	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,08 ± 0,04
Volume non conforme							
3332 ± 298	0,37 ± 0,07	270 ± 25	< 0,97	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,07 ± 0,04
1359 ± 122	0,11 ± 0,04	251 ± 23	< 0,74	< 0,04	< 0,04	< 0,03	< 0,04
5878 ± 526	0,77 ± 0,14	631 ± 58	< 1,72	< 0,06	< 0,05	< 0,05	0,13 ± 0,05
1854 ± 166	0,22 ± 0,05	138 ± 13	< 0,76	0,16 ± 0,04	< 0,04	< 0,03	< 0,04
4069 ± 364	0,54 ± 0,10	248 ± 23	< 1,21	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,08 ± 0,04
4348 ± 389	0,67 ± 0,11	327 ± 30	< 1,13	0,06 ± 0,03	< 0,04	0,23 ± 0,046	0,09 ± 0,04

**IRSN**

Pôle santé et environnement  
Direction de l'Environnement

**E-mail**

[contact@irsn.fr](mailto:contact@irsn.fr)

**N° du rapport**

Rapport IRSN /2021-00561  
Tous droits réservés IRSN  
Septembre 2021

**Conception et réalisation**

Agence Chromatiques, Paris.

**Photo de couverture**

Prélèvement de salicornes dans la zone humide de la réserve naturelle du domaine de Beauguillot en baie des Veys (octobre 2015)  
© Jean-Baptiste SAUNIER/IRSN.





31, avenue de la Division Leclerc  
92262 Fontenay-aux-Roses cedex  
RCS Nanterre b 440 546 018

**COURRIER**

B.P. 17  
92262 Fontenay-aux-Roses cedex

**TÉLÉPHONE**


+33 (0)1 58 35 88 88

**SITE INTERNET**

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

**E-MAIL**

[contact@irsn.fr](mailto:contact@irsn.fr)

 [@irsn\\_france](https://twitter.com/irsn_france)