

Constat radiologique « Nord - Normandie »

Rapport méthodologique relatif aux compartiments
aquatiques continental et marin

PRP-ENV/SESURE/2015-01



Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement

Demandeur	IRSN
N° action/processus de rattachement	003/05/01/02 - Processus R3

Constat radiologique « Nord - Normandie »

Rapport méthodologique relatif aux compartiments aquatiques continental et marin

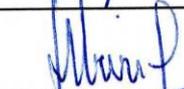
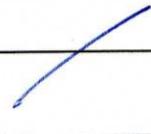
Jean-Baptiste SAUNIER - Fabrice LEPRIEUR

Laboratoire de surveillance et d'expertise
environnementale par échantillonnage

Pôle radioprotection, environnement, déchets et crise

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement

PRP-ENV/SESURE/2015-01

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteurs	Vérificateur	Chef du SESURE	Directeur de l'environnement	Directeur Général de l'IRSN *
Noms	JB. SAUNIER F. LEPRIEUR	O. PIERRARD	G. MANIFICAT	J-C. GARIEL	J. REPUSSARD
Dates	11/12/2014	11/12/2014	18/02/15	24/03/15	
Signatures					

DIFFUSION : Libre Interne Limitée

*si nécessaire

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme
LEPRIEUR Fabrice PIERRARD Olivier SAUNIER Jean-Baptiste	IRSN / SESURE / Laboratoire de surveillance et d'expertise environnementale par échantillonnage (LS3E)
BAILLY DU BOIS Pascal BOUST Dominique	IRSN / SERIS / Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC) IRSN / SERIS / Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC)
WYCKAERT Laure	IRSN / PRP / Groupe Informatique Scientifique
PINEL Margaux	Agence des Aires Marines Protégées
SARRAZA Manuel	Agence de l'Eau Seine-Normandie
HAMON Nolwenn	Comité régional des pêches de Basse-Normandie
TETARD Xavier	Comité régional des pêches de Basse-Normandie
FETTER Pierre	Fédération de pêche d'Eure-et-Loir
FOUCHER Éric	Ifremer Port-en-Bessin
LAZARD Coline	Ifremer Boulogne-sur-Mer
TRAVERS-TROLET Morgane	Ifremer Boulogne-sur-Mer
VERIN Yves	Ifremer Boulogne-sur-Mer
RIVIÈRE Camille	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
VILLETTE Frédéric	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

SOMMAIRE

1 LES CONSTATS RADIOLOGIQUES DE L'IRSN.....	7
1.1 OBJECTIFS DES CONSTATS RADIOLOGIQUES.....	7
1.1.1 Etablir un référentiel actualisé des niveaux de radioactivité dans l'environnement et contribuer à l'évaluation des expositions radiologiques des populations et de l'environnement.....	7
1.1.2 Accroître la transparence des travaux de l'IRSN et partager les connaissances avec les acteurs territoriaux	9
1.2 STRATÉGIE GLOBALE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE	10
1.3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE RÉALISATION DES CONSTATS RADIOLOGIQUES	11
2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU CONSTAT NORD-NORMANDIE	13
2.1 CADRAGE DE L'ÉTUDE.....	13
2.2 ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE DE L'ÉTUDE	13
2.3 DÉMOGRAPHIE ET POLES D'ACTIVITÉS	15
3 PRINCIPALES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES OU SITES METTANT EN ŒUVRE DES RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE OU ARTIFICIELLE	16
3.1 LES CENTRES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	16
3.2 LES USINES DE TRAITEMENT DE COMBUSTIBLES USÉS	19
3.2.1 L'usine de traitement du combustible usé AREVA-NC de La Hague	19
3.2.2 Le site industriel de Sellafield	21
3.3 LES SITES DE STOCKAGE ET LES DECHETS IMMERGÉS.....	22
3.3.1 Le centre de stockage de la Manche	22
3.3.2 La Fosse des Casquets	23
3.4 LA BASE NAVALE DE CHERBOURG	24
3.5 LA SOCIETE DE MAINTENANCE NUCLEAIRE (SOMANU)	25
3.6 LES INDUSTRIES GÉNÉRANT DES DÉCHETS A RADIOACTIVITÉ NATURELLE RENFORCÉE	25
3.6.1 Les industries de traitement et de transformation des minerais de titane	26
3.6.2 L'industrie de production ou d'utilisation de composés uranifères et thorifères	26
3.6.3 L'industrie des phosphates pour la fabrication d'acide phosphorique et la production d'engrais agricole.....	26
3.7 LES CENTRES DE MÉDECINE NUCLÉAIRE.....	26
3.8 SYNTHÈSE	30
4 CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS AQUATIQUES TERRESTRES	32
4.1 SEINE AVAL ET COTIERS NORMANDS	32
4.1.1 Seine aval	33
4.1.2 Côtiers normands	33
4.2 BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE L'ARTOIS PICARDIE	34
4.2.1 Les cours d'eau de la mer du Nord	34
4.2.2 Les cours d'eau de la Manche	35
4.3 FOND GEOCHIMIQUE.....	36

4.4 RESERVES NATURELLES	37
5 CARACTERISTIQUES DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD	39
5.1 HYDROGRAPHIE ET GEOMORPHOLOGIE	39
5.2 AIRES MARINES PROTEGEES	40
5.2.1 Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale.....	41
5.2.2 Le golfe normand-breton.....	41
5.3 ZONES SOUS INFLUENCE DES APPORTS DE LA SEINE	42
6 DONNEES ACQUISES DANS LE CADRE DES PROGRAMMES DE SURVEILLANCE ET DES ETUDES RADIOECOLOGIQUES.....	43
6.1 SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DU TERRITOIRE REALISEE PAR L'INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE	43
6.2 SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS EFFECTUEE PAR LES EXPLOITANTS NUCLEAIRES.....	44
6.3 OBSERVATOIRE CITOYEN DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'ACRO	45
6.4 LE RESEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT	45
7 STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LE MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL ..	47
7.1 STRATEGIE D'ACQUISITION DES DONNEES	47
7.2 MESURES DE TERRAIN	48
7.3 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL	49
7.3.1 Eau et matières en suspension	49
7.3.2 Sédiments	49
7.3.3 Bioindicateurs	49
7.3.4 Synthèse de la stratégie pour le milieu aquatique continental	51
8 STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE DU MILIEU MARIN CÔTIER ET OFFSHORE	54
8.1 STRATEGIE D'ACQUISITION DES DONNEES	54
8.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU MARIN COTIER	56
8.2.1 Eau de mer	56
8.2.2 Sédiments.....	56
8.2.3 Bioindicateurs	57
8.3 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU MARIN OFFSHORE.....	62
8.3.1 Sédiments	64
8.3.2 Bioindicateurs	65
9 SYNTHÈSE, PLANNING PREVISIONNEL ET PERSPECTIVES	68
10 GLOSSAIRE	70
11 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	74
12 ANNEXES	76
12.1 INDUSTRIES ET INSTALLATIONS NON PRISES EN COMPTE DANS LE CADRE DU VOLET AQUATIQUE DE CE CONSTAT RADIOLOGIQUE	76
12.2 STATIONS D'ÉPURATION DES GRANDES AGGLOMERATIONS ENCADRANT LES CENTRES DE MEDECINE NUCLEAIRE.....	79

1 LES CONSTATS RADIOLOGIQUES DE L'IRSN

1.1 OBJECTIFS DES CONSTATS RADIOLOGIQUES

1.1.1 ETABLIR UN REFERENTIEL ACTUALISE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT ET CONTRIBUER A L'EVALUATION DES EXPOSITIONS RADIOLOGIQUES DES POPULATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT

LES CONSTATS RADIOLOGIQUES ONT POUR OBJECTIF D'ETABLIR SUR UN TERRITOIRE ETENDU (PLUSIEURS DEPARTEMENTS), UN REFERENTIEL ACTUALISE DES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE DANS CERTAINS COMPARTIMENTS DE L'ENVIRONNEMENT CARACTERISTIQUES DU TERRITOIRE CONCERNE. SELON L'EMPRISE DU CONSTAT ET LE MILIEU ETUDIE, L'ACCENT EST MIS SUR LES PRODUCTIONS AGRICOLES VEGETALES ET ANIMALES TYPIQUES DU TERRITOIRE CONCERNE, LES PRODUITS DE LA PECHE OU LES BIOINDICATEURS NATURELS. IN FINE, CES MESURES CONTRIBUENT A L'EVALUATION DES EXPOSITIONS RADIOLOGIQUES DANS UN OBJECTIF DE PROTECTION SANITAIRE DES POPULATIONS ET DE L'ENVIRONNEMENT.

La connaissance de l'état radiologique des différents compartiments environnementaux permet de contribuer à l'évaluation des doses auxquelles la population est exposée quelle que soit l'origine des rayonnements ionisants et d'assurer la protection des consommateurs (denrées, eaux de boisson, ...).

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 RNM dans le cadre de la surveillance permanente ou lors d'études radioécologiques antérieures. Ces connaissances sont ensuite complétées et actualisées par des prélèvements et des analyses spécifiques.

Le référentiel doit rendre compte, d'une part, du « bruit de fond » radiologique lié à la radioactivité naturelle et à la rémanence des retombées atmosphériques anciennes (essais d'armes nucléaires et accident de Tchernobyl) et, d'autre part, de l'influence des rejets actuels ou passés des installations nucléaires éventuellement présentes sur ce territoire. En cas de rejet accidentel, ce référentiel servirait de base de comparaison et contribuerait à l'orientation du déploiement d'une surveillance renforcée.

Ces constats doivent ainsi élargir la connaissance radiologique de l'environnement, spatialement, en particulier dans des zones moins régulièrement investiguées que les alentours proches des sites nucléaires, et aussi par la diversification des échantillons prélevés et des radionucléides recherchés. Pour établir cet état de référence, l'IRSN met en œuvre les méthodes de prélèvement, de traitement et de mesurage des échantillons les plus performantes. Selon la complexité et l'étendue du territoire, l'établissement d'un constat nécessite trois à quatre ans entre son démarrage et sa restitution finale.

Un constat est destiné à être actualisé selon une périodicité de l'ordre de huit à dix années environ. Chaque constat est évidemment basé sur une méthodologie adaptée aux caractéristiques du territoire (milieux terrestre, fluvial, marin, atmosphérique), à la présence contemporaine ou passée des installations à l'origine de rejets environnementaux, ainsi qu'aux types de radionucléides susceptibles d'être mesurés. Divers constats ont été entrepris ou sont programmés sur l'ensemble du territoire métropolitain (figure 1). Après le constat - prototype dans le Val de Loire, trois grandes régions ont été investiguées : « Sud-Ouest », « Vallée du Rhône » et « Nord-Est ». Le constat Nord-Normandie est donc la 4^{ème} étude de ce type à être entreprise sur le territoire métropolitain.

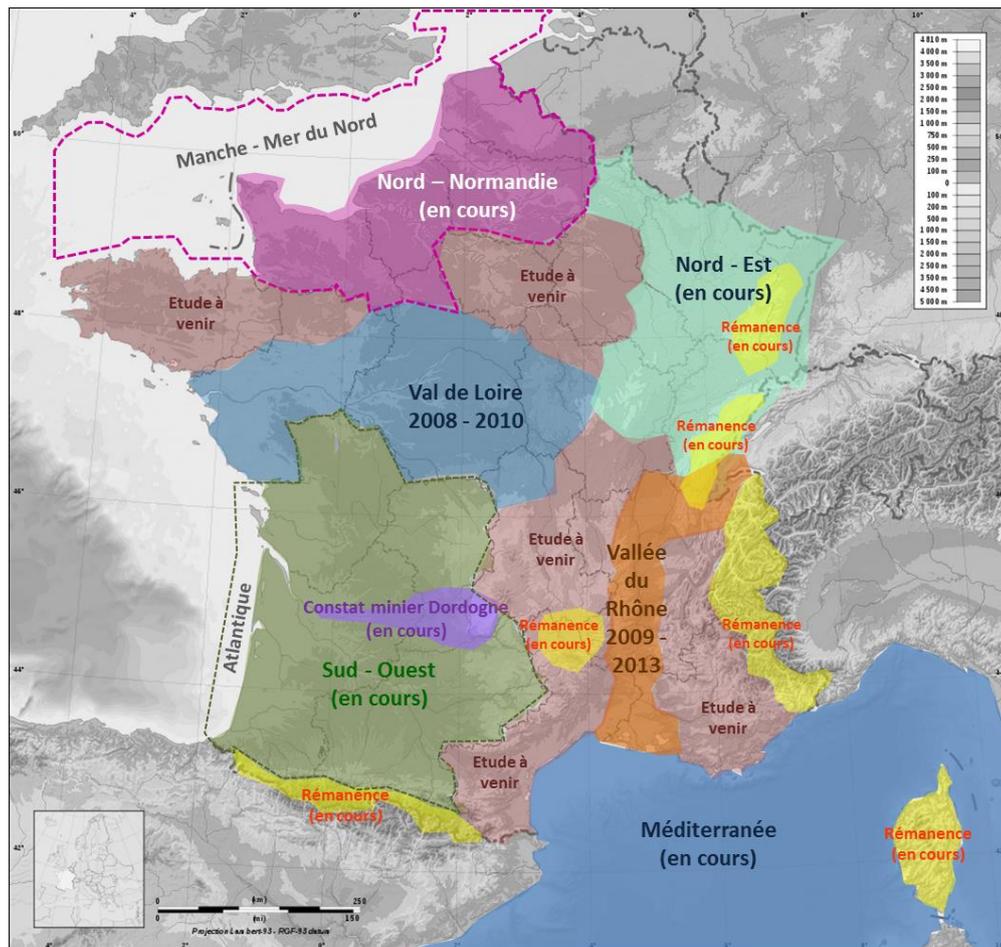


Figure 1 : Répartition géographique des constats radiologiques sur le territoire français métropolitain
(en rose : périmètre d'étude du volet aquatique Nord - Normandie incluant le milieu marin)

La façade maritime est également étudiée avec les constats « Nord - Normandie » (volet aquatique marin réalisé conjointement au volet aquatique continental) et « Méditerranée » (adaptation de la méthodologie au milieu marin). Par ailleurs, concernant les territoires d'outre-mer, un constat radiologique « Nouvelle-Calédonie » est en cours de finalisation. Des constats relevant d'une thématique particulière sont également en cours de réalisation : zones de rémanence (état radiologique actuel des territoires où les dépôts consécutifs aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl avaient été les plus élevés), anciens sites miniers de Dordogne (extension des zones de surveillance d'anciennes mines d'uranium à l'aval hydraulique lointain).

1.1.2 ACCROITRE LA TRANSPARENCE DES TRAVAUX DE L'IRSN ET PARTAGER LES CONNAISSANCES AVEC LES ACTEURS TERRITORIAUX

Depuis sa création, l'IRSN a engagé une politique volontariste d'ouverture à la société. Elle constitue l'un des axes stratégiques du développement inscrits dans les contrats d'objectifs signés avec les ministères de tutelle de l'IRSN. La vigilance qu'exerce la société est une composante essentielle de la maîtrise des risques. Il est donc du devoir de l'IRSN de faire connaître ses travaux et de partager son expertise avec la société. Ces interactions aident aussi l'Institut à mieux s'approprier les attentes et les préoccupations exprimées par la société.

La surveillance de l'environnement autour des installations industrielles est depuis longtemps une préoccupation de la population et des associations écologistes. C'est également l'une des missions de l'IRSN qui assure la surveillance radiologique de l'environnement du territoire français via ses stations de prélèvement, ses laboratoires de métrologie et ses réseaux de télémesure.

La réalisation d'un constat radiologique, échelonnée sur 3 à 4 ans, permet aux acteurs locaux et régionaux de s'y impliquer grâce à la mise en place des groupes de suivi. Ces groupes sont constitués d'acteurs régionaux volontaires invités à l'initiative de l'IRSN. Devant ces groupes, l'IRSN explique sa démarche, répond aux questionnements qui peuvent surgir à l'occasion de la réalisation du constat sur ses attendus puis sur la signification des résultats de mesures obtenus.

Dans le cadre du constat radiologique Nord - Normandie, un groupe de suivi a été mis en place au premier semestre 2015. Il est composé notamment de membres des différentes Commissions locales d'information présentes sur ce territoire (CLI de Gravelines, CLIN de Penly Paluel, CLI de Flamanville, CLI de l'Andra CSM, CLI Areva La Hague, CLI de Somanu) ; de S3PI (Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions et des risques Industriels), d'associations (ACRO, Stop EPR, GRAPPE, Air Normand, Atmo Picardie, Atmo Nord-Pas de Calais,...), d'autorités (DGCCRF), d'administrations locales (DREAL, Agence de l'eau, Conseil général) et de l'IRSN.

Conformément à sa mission, le groupe de suivi ainsi constitué permettra aux parties prenantes de partager leurs connaissances et leurs attentes vis-à-vis de cette étude. La première réunion du groupe de suivi, le 7 avril 2015, a permis à l'IRSN de présenter le périmètre de cette étude et d'échanger sur les stratégies d'échantillonnage pour les différents compartiments environnementaux (atmosphérique, terrestre et aquatique) auxquelles ils peuvent coopérer.

Les prochaines réunions programmées en 2015 auront pour objectifs de suivre la réalisation de l'étude relative au compartiment aquatique et, le cas échéant, d'accompagner le groupe dans l'acquisition des compétences nécessaires à leur implication dans les questions techniques et la compréhension des résultats obtenus. Les modalités de restitution finale feront l'objet d'échanges approfondis. In fine, ce dialogue a pour ambition d'aboutir à la publication de rapports répondant aux attentes des acteurs territoriaux.

1.2 STRATÉGIE GLOBALE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

Les constats prennent en compte la localisation des installations nucléaires, en distinguant les zones potentiellement influencées de celles qui peuvent être considérées comme étant, en fonctionnement normal, hors de leur influence (*figure 2*).

Lorsqu'existent des **rejets atmosphériques**, les zones non influencées sont celles situées à une distance suffisante (plusieurs dizaines de kilomètres) des points de rejets et hors des vents dominants. Comme ce sont des parties du territoire sur lesquelles des prélèvements sont habituellement rares ou inexistantes, une majorité d'échantillons y sont collectés.

Dans le cas où des installations rejettent des radionucléides **en milieu fluvial**, les zones potentiellement influencées sont celles situées en aval de chacune des installations, les zones non influencées étant théoriquement situées en amont. Toutefois, la succession d'installations le long des grands fleuves (Loire, Rhône) rend plus difficile la détermination de ces dernières, l'amont d'une installation correspondant à l'aval de la précédente.



Figure 2 : Schéma des zones potentiellement influencées (ZI) ou non (ZNI) par les rejets d'une installation ayant des rejets atmosphériques et des rejets liquides dans un fleuve (source IRSN)

Dans le cas des **zones de rémanence**, les lieux et types d'échantillons qui témoignaient des niveaux les plus élevés (césium 137) lors des travaux antérieurs sont étudiés à nouveau afin d'en connaître l'évolution spatio-temporelle. Dans le cas de l'étude particulière des **anciens sites miniers**, des bioindicateurs prélevés, jusqu'à des distances bien supérieures à celles habituellement prises en compte, dans les petits bassins versants qui sont les exutoires potentiels des radionucléides issus de ces sites (lessivage, érosion), font l'objet de mesures des actinides.

Lorsque le constat concerne le **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. Les compartiments étudiés sont alors focalisés sur les pêches professionnelles ou de loisir et les indicateurs marins (mollusques, algues ...).

Différentes analyses sont réalisées au moyen des meilleures techniques disponibles sur les échantillons les plus appropriés pour quantifier les niveaux des principaux radionucléides naturels et artificiels présents en quantité mesurable dans l'environnement : analyses de tritium libre et lié, de carbone 14, spectrométrie gamma, radiochimie et spectrométrie alpha et bêta notamment pour les isotopes du plutonium et pour le strontium 90, ICP-MS pour les isotopes de l'uranium, etc.

1.3 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE RÉALISATION DES CONSTATS RADIOLOGIQUES

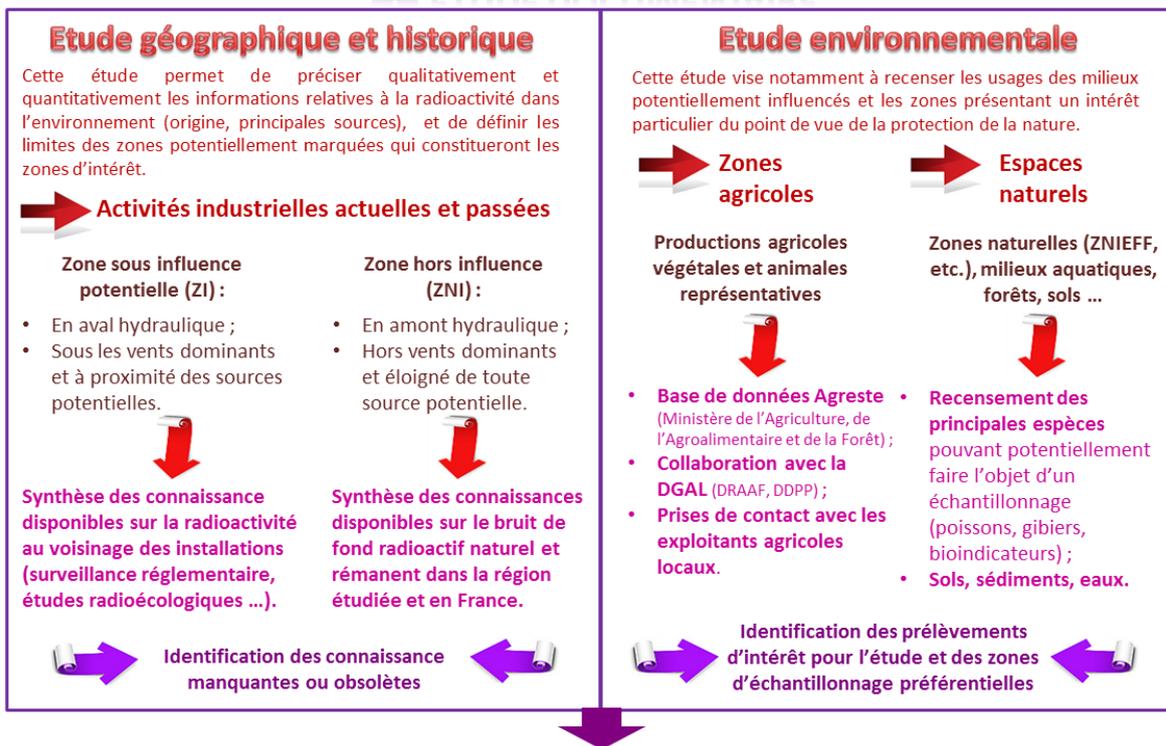
La méthodologie générale comporte trois étapes principales qui se déclinent de façon adaptée à chaque type de constat (*figure 3*) :

1. l'étude documentaire composée d'une étude géographique et historique ainsi que d'une synthèse environnementale ;
2. l'étude de terrain qui comporte une phase de prospection et une phase d'information et d'échanges avec les parties prenantes locales qui en font la demande ;
3. l'étape de réalisation des prélèvements, des mesures et d'exploitation des résultats, puis leur restitution.

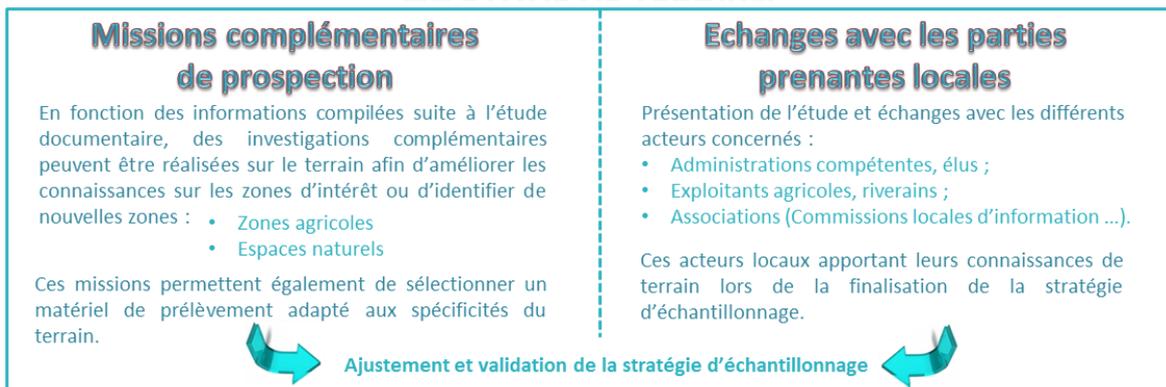
L'étape ① comporte une phase essentielle de collecte et d'analyse des informations les plus pertinentes sur le territoire étudié (installations actuelles ou passées effectuant des rejets radioactifs dans l'environnement, productions agricoles représentatives, espaces naturels...). Les données acquises par l'IRSN et les acteurs du RNM dans le cadre de la surveillance régulière du territoire ainsi que celles figurant dans les études régulièrement effectuées au voisinage des sites nucléaires par l'IRSN ou d'autres organismes sont synthétisées et exploitées.

Cette phase de collecte et de synthèse des données existantes bénéficie également des connaissances plus générales acquises par l'IRSN sur le bruit de fond naturel et rémanent en France, ainsi que sur le comportement des radionucléides dans l'environnement. Elle permet de juger, *a priori*, du niveau de contamination des secteurs étudiés et de prévoir les prélèvements et analyses les plus pertinents pour vérifier ou compléter ces données. En particulier, les points qui témoignaient d'un marquage significatif dans le passé seront échantillonnés à nouveau pour connaître leur évolution récente, en sélectionnant les matrices (types d'échantillons) dans lesquelles les isotopes recherchés seront potentiellement les plus abondants.

1 ETUDE DOCUMENTAIRE



2 ETUDE DE TERRAIN



3 ECHANTILLONNAGE, MÉTROLOGIE ET DIFFUSION DES RÉSULTATS

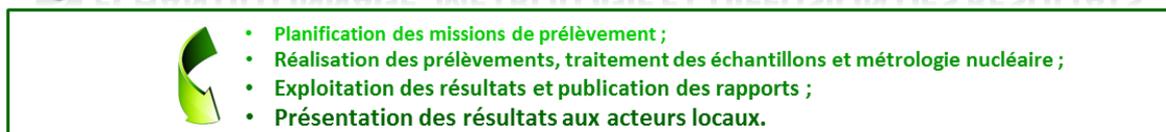


Figure 3 : Illustration de la méthodologie de réalisation des constats radiologiques. Cet exemple illustre la méthode déployée dans le cas des constats réalisés en milieu continental, tenant compte des installations nucléaires situées sur des grands fleuves et des territoires à dominante agricole (constat Val de Loire, constat Vallée du Rhône, constat Sud-Ouest ...)

À partir de ces informations, une stratégie d'échantillonnage (étape ②) est établie en concertation avec les acteurs locaux (notamment les Commissions locales d'information ou Commissions de suivi des sites - CSS - autour des mines). La stratégie est précisée par l'identification des types et des lieux de prélèvements, l'établissement pratique du planning de prélèvement, incluant les contacts locaux (exploitants agricoles, associations).

Les campagnes de prélèvement auxquelles participent éventuellement les acteurs locaux, le traitement des échantillons et leur mesure constituent l'étape ③. Différentes analyses sont réalisées au moyen des meilleures techniques disponibles sur les échantillons les plus appropriés pour quantifier les niveaux des principaux radionucléides naturels et artificiels présents en quantité mesurable dans l'environnement : analyses de tritium libre et lié, de carbone 14, spectrométrie gamma, radiochimie et spectrométrie alpha ou comptage bêta respectivement pour les isotopes du plutonium et pour le strontium 90, ICP-MS pour les isotopes de l'uranium... Cette étape s'achève avec la publication des rapports et la restitution de l'étude aux différentes parties prenantes.

2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU CONSTAT NORD-NORMANDIE

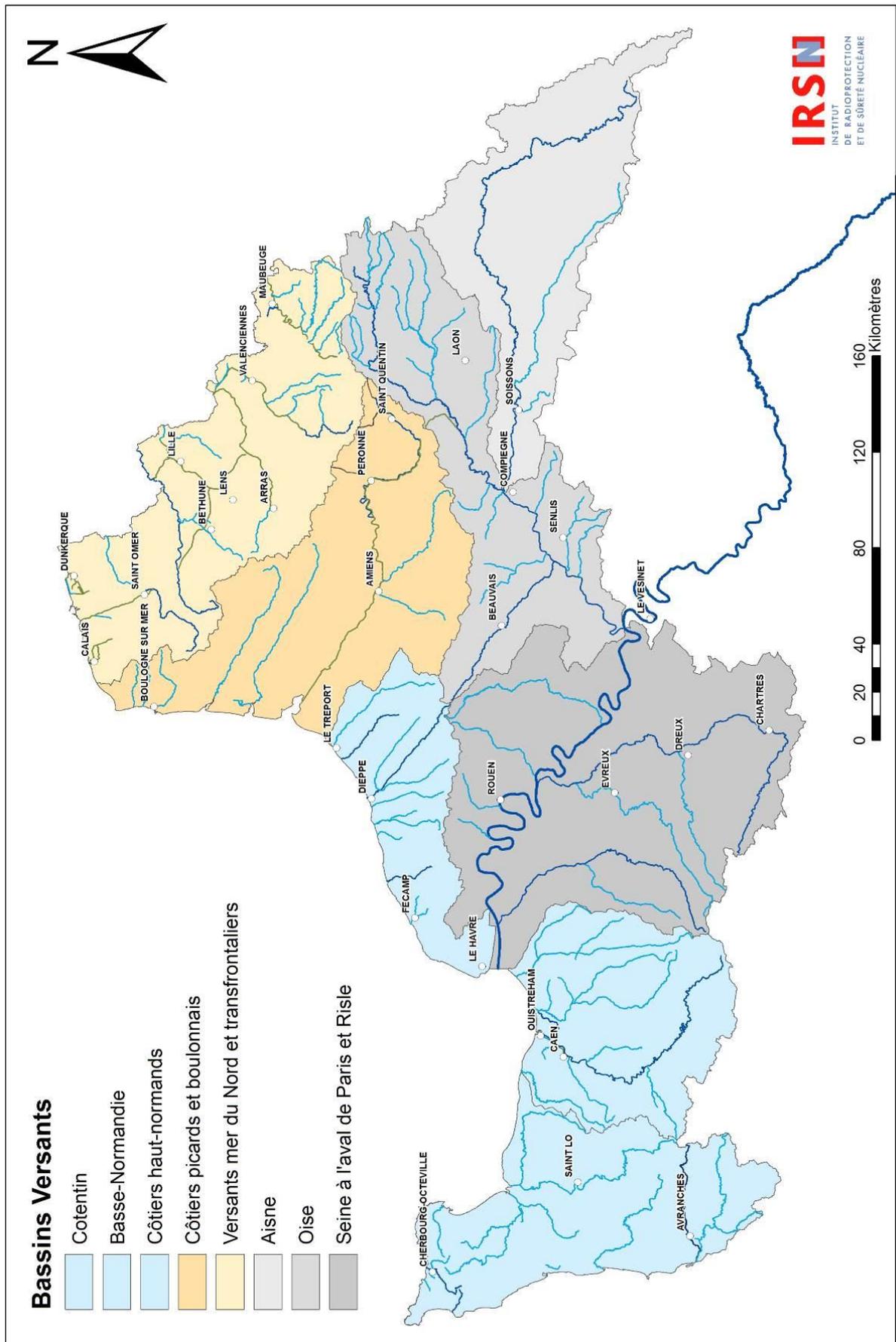
2.1 CADRAGE DE L'ÉTUDE

L'objectif de cette étude est d'établir un état du niveau actuel de concentration des radionucléides dans différentes matrices des milieux aquatiques terrestre et marin dans le nord de la France, qui rende compte de la rémanence des retombées anciennes et des hétérogénéités imputables aux rejets actuels ou historiques des installations nucléaires présentes sur ce territoire. Ce bilan doit ainsi permettre de disposer d'un état de référence récent, utile en cas d'incident ou d'accident radiologique impliquant des rejets liquides ou atmosphériques dans l'environnement. In fine, les résultats obtenus contribuent également à l'évaluation des expositions radiologiques. Par ailleurs, à l'issue de la première réunion d'échange avec les acteurs territoriaux, des propositions sur certaines problématiques (bassin de la Seine notamment) ont été retenues et feront l'objet d'une expertise particulière de la part de l'IRSN. Le cas des eaux destinées à la consommation humaine sera traité dans l'étude du volet terrestre du constat radiologique Nord-Normandie.

2.2 ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE DE L'ÉTUDE

Le volet aquatique continental Nord-Normandie prend en compte d'une part l'aval du bassin de la Seine à partir du Vésinet (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 de bassins versants de fleuves européens parmi lesquels figurent L'Escaut et la Sambre, elle-même affluente de la Meuse. Tous ces bassins versants ont leur exutoire dans la Manche ou la mer du Nord (*figure 4*).

Le volet aquatique marin intègre le chenal de la Manche et la partie sud de la mer du Nord. Ce volet s'étend géographiquement des côtes bretonnes (Roscoff) jusqu'à la délimitation de la côte d'Opale avec la frontière Belge.



Données carto : IGN, ESRI - IRSN Constat Nord - Normandie, Novembre 2014

Figure 4 : Etendue géographique du constat Nord-Normandie pour les volets aquatique terrestre et marin

Les compartiments aquatiques terrestre et marin sont intimement connectés par le biais des rejets des bassins versants continentaux, des courants marins, et des marées qui remontent les fleuves sur plusieurs kilomètres lorsque les coefficients sont importants.

Quatre centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) en activité sont localisés le long des côtes françaises de la Manche. A ces installations s'ajoutent l'usine Areva de traitement de combustibles usés de La Hague ainsi qu'un centre de stockage de l'Andra, également situé à La Hague, pour les déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Au vu des principales analyses récurrentes effectuées par l'IRSN et les différents exploitants dans le compartiment aquatique marin autour de ces sites nucléaires, les traces imputables à l'activité industrielle de l'usine Areva de La Hague masquent les rejets des autres installations et sont, pour certains radionucléides, perceptibles jusqu'au CNPE de Gravelines en mer du Nord. D'autres installations (industries, laboratoires de recherche, centres hospitaliers) sont également susceptibles de marquer les milieux aquatiques soit directement par leurs rejets liquides (autorisés par la réglementation et contrôlés), soit par infiltration.

Ces sites, détaillés dans les chapitres suivants, sont pris en compte pour établir la stratégie d'échantillonnage et le plan d'analyse associé à cette étude.

2.3 DÉMOGRAPHIE ET POLES D'ACTIVITÉS

Dans l'objectif de centrer ce constat radiologique sur les installations les plus susceptibles d'impacter le milieu aquatique, les industries et les centres de médecine nucléaire sont présentés par bassin versant hydrographique et non par région administrative.

Les bassins de *Basse-Normandie*, du *Cotentin* et des *côtiers haut-normands* concentrent une importante spécialisation nucléaire. Les villes de Caen (109 312 hab.) et de Cherbourg-Octeville (39 003 hab.) sont les plus peuplées et les plus dynamiques sur ces bassins pour les secteurs de la recherche et de l'industrie.

Sur le bassin *Seine à l'aval de Paris et Risle*, les villes du Havre (177 259 hab.), de Rouen (110 688 hab.) et d'Evreux (51 193 hab.) sont les plus importantes en termes de population et d'industries. Les activités industrielles se sont spécialisées dans la chimie et la parachimie (firmes multinationales sur la commune de Gonfreville l'Orcher), l'industrie pharmaceutique, les raffineries et les usines automobiles.

Les bassins de l'*Oise* et de l'*Aisne*, tous deux affluents de la Seine, ainsi que celui des *côtiers picards et boulonnais* présentent une démographie plus faible. Les villes dont l'étalement urbain est le plus important sont Amiens (133 998 hab.) puis Saint-Quentin (55 971 hab.), Beauvais (54 461 hab.) et Compiègne (40 860 hab.). L'activité industrielle sur ces trois bassins se développe essentiellement autour de la plasturgie, la mécanique et l'industrie agroalimentaire.

Le bassin versant *mer du Nord et transfrontalier* est de loin le plus peuplé (près de 4 millions d'habitants en 2012). Au cours des dernières décennies, les activités industrielles de ce bassin se sont diversifiées autour de six pôles de compétitivité (*source : DREAL*) : transport ferroviaire, aquaculture et transformation du poisson, industries du commerce, nutrition santé longévité, textiles, et éco-activités. Les agglomérations les plus importantes sont Lille-Roubaix-Tourcoing et Dunkerque-Calais.

Boulogne-sur-Mer est le premier port européen de transformation des produits de la mer et premier port de pêche français en tonnage et en valeur de pêche fraîche débarquée.

Dunkerque est le troisième port français, le premier port français de la mer du Nord et également le premier pôle énergétique d'Europe. Son parc industriel compte notamment un terminal méthanier sur le site du Clipon (Dunkerque LNG), opérationnel pour fin 2015. Ce site deviendra la plus grande unité de production de gaz industriels en Europe continentale. Un tunnel de 5 km reliant le terminal méthanier et les rejets des eaux tièdes du CNPE de Gravelines est actuellement en projet.

3 PRINCIPALES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES OU SITES METTANT EN ŒUVRE DES RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE OU ARTIFICIELLE

3.1 LES CENTRES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Le constat radiologique Nord-Normandie intègre quatre CNPE au sein de sa délimitation géographique. Tous sont situés sur le littoral Manche - Mer du Nord :

- Le **CNPE de Flamanville** regroupe deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 Mwe chacun, mis en service en 1985 et 1986 ainsi qu'une unité de type EPR d'une puissance de 1 650 Mwe dont la construction a débuté en 2006.
- Le **CNPE de Paluel** est situé entre Dieppe et Fécamp dans le département de la Seine-Maritime. Le CNPE comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 1 300 Mwe mis en service entre 1984 et 1986. En 2013, la centrale produit 8,6% de la production nucléaire nationale.
- Le **CNPE de Penly** est situé entre Dieppe et Le Tréport, dans le département de la Seine-Maritime. Il comprend deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 Mwe mis en service en 1990 et 1992. La centrale de Penly produit 4,75% de la production d'électricité d'origine nucléaire en France.
- A proximité de Dunkerque, le **CNPE de Gravelines** est le centre le plus important d'Europe de l'Ouest en termes de production d'énergie nucléaire civile. Il comprend six réacteurs à eau pressurisée de 900 Mwe mis en service entre 1980 et 1985. Cinq des six réacteurs fonctionnent avec un combustible MOX (mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium appauvri).

Les centres nucléaires de production d'électricité (CNPE), de par leurs activités, émettent des radionucléides qui sont en partie rejetés après traitement (filtration, dégazage, évaporation, passage sur résine, etc.) en milieu aquatique. Les quantités produites sont directement liées au temps de fonctionnement et à la puissance des réacteurs. Les rejets liquides des CNPE contiennent ainsi des produits de fission (césium, iode,...) ainsi que des produits d'activation (tritium, carbone 14, cobalt, manganèse, antimoine,...) (*tableau 1 et figure 5*).

Tableau 1 : Rejets liquides et gazeux des CNPE côtiers pour l'année 2012 (mesures et source : EDF)

CNPE	Modèle	Rejets liquides (GBq sauf ³ H en TBq)					Rejets gazeux (GBq sauf gaz rares, ¹⁴ C, ³ H en TBq)					
		¹⁴ C	Iodes	Autres PF/PA	¹³⁷ Cs	³ H	Gaz rares	³ H	¹⁴ C	Iodes	Autres PF/PA	¹³⁷ Cs
Flamanville	1300 MWe	30,6	0,02	0,5	0,021	58,7	1,16	1,25	0,41	0,04	0,005	8,99E-04
Paluel	1300 MWe	60,7	0,04	0,8	0,031	95,6	3,21	2,32	0,81	0,074	0,009	1,94E-03
Penly	1300 MWe	31,4	0,01	0,7	0,008	69,7	0,49	1,43	0,42	0,02	0,03	6,52E-04
Gravelines	900 MWe	57,2	0,03	2,7	0,065	57,4	4,86	3,2	0,76	0,116	0,021	2,41E-03

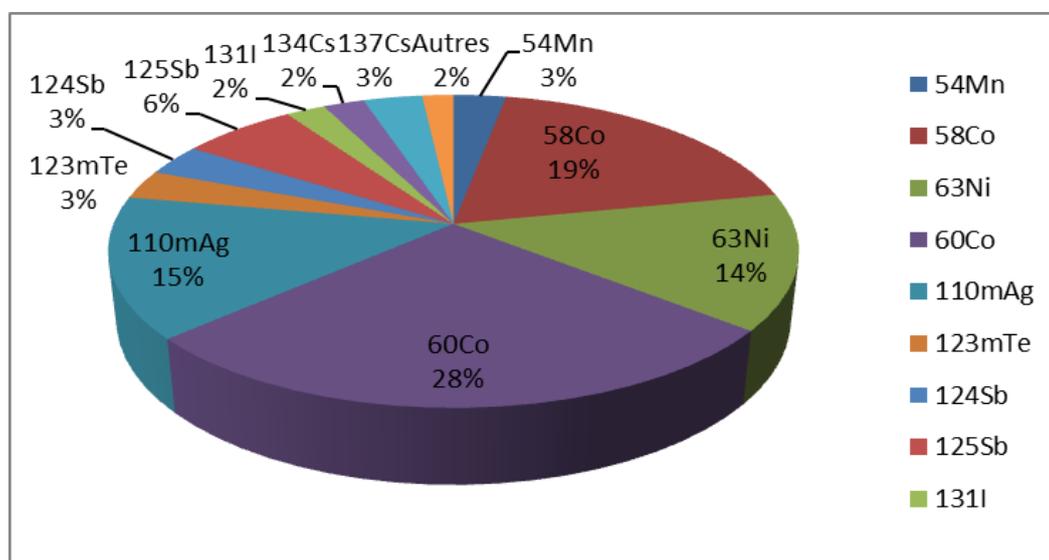


Figure 5 : Radionucléides rejetés sous forme liquide (hors ³H et ¹⁴C) par les CNPE en 2012 (pourcentages exprimés en GBq, mesures et source EDF)

Dans l'environnement marin proche de ces 4 CNPE, le marquage témoignant des rejets d'effluents liquides est difficile à discerner de celui lié au fonctionnement de l'usine de traitement du combustible usé de La Hague, notamment pour certains radionucléides émetteurs gamma (¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag...) ainsi que pour le tritium qui sont communs aux rejets liquides de ces deux types d'installations nucléaires.

Les niveaux d'activités en radionucléides artificiels au sein des rejets d'effluents liquides de l'usine de La Hague sont cependant de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs à ceux des CNPE côtiers (^{60}Co , ^3H libre...). L'argent 110 métastable et le cobalt 58 sont caractéristiques des rejets d'effluents radioactifs des CNPE mais ils sont plus rarement détectés. Ces radionucléides sont cependant mesurés sporadiquement dans les sédiments, les algues, les mollusques et les crustacés.

Les *tableaux 2 à 5* présentent les radionucléides émetteurs gamma présents dans les effluents liquides des CNPE côtiers, ainsi que l'activité totale rejetée en GBq entre 1991 et 2013.

Tableau 2 : Identification et abondance des radionucléides émetteurs gamma dans les effluents liquides du CNPE de Flamanville (GBq, source EDF)

	GBq	^{54}Mn	^{58}Co	^{60}Co	^{63}Ni	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{123\text{m}}\text{Te}$	^{124}Sb	^{125}Sb	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs
Flamanville	1991	0,7	16,8	4,8		6,6		5,7		0,4	1,3	1,6
	1992	0,1	2,1	2,1		2,7		0,4		0,1	1,3	1,7
	1993	0,2	1,8	1,5		1,1		0,3		0,2	0,7	0,9
	1994	0,1	2,6	1,1		1,3		0,42		0,09	0,95	1,2
	1995	0,03	0,95	0,58		0,22		0,12		0,03	0,46	0,8
	1996	0,028	0,73	0,33		0,19		0,1		0,028	0,12	0,35
	1997	0,03	0,51	1,10		0,39		0,04		0,02	0,15	0,42
	1998	0,034	0,57	0,85		0,23		0,093		0,01	0,16	0,57
	1999	0,02	0,2	0,58		0,21		0,027		0,01	0,1	0,81
	2000	0,032	0,67	0,82		0,28		0,091		0,003	0,057	0,23
	2001	0,022	0,37	0,39		0,120	0,011	0,100	0,056	0,020	0,015	0,026
	2002	0,042	0,381	1,310	1,910	0,137	0,012	0,067	0,252	0,017	0,030	0,181
	2003	0,036	0,281	0,498	0,160	0,044	0,008	0,055	0,071	0,015	0,016	0,020
	2004	0,015	0,101	0,162	0,236	0,077	0,011	0,028	0,074	0,017	0,015	0,023
	2005	0,025	0,254	0,297	0,147	0,052	0,013	0,029	0,074	0,015	0,016	0,022
	2006	0,020	0,115	0,078	0,112	0,030	0,014	0,021	0,058	0,018	0,018	0,022
	2007	0,018	0,23	0,084	0,12193	0,023	0,012	0,026	0,068	0,0154	0,017	0,019
	2008	0,0154	0,153	0,0893	0,0733	0,0175	0,0103	0,0208	0,0976	0,0137	0,0156	0,0168
	2009	0,014	0,072	0,090	0,081	0,012	0,008	0,012	0,032	0,011	0,011	0,013
	2010	0,014	0,114	0,116	0,118	0,018	0,011	0,017	0,049	0,012	0,013	0,015
2011	0,015	0,109	0,064	0,112	0,015	0,012	0,025	0,043	0,014	0,014	0,018	
2012	0,019	0,111	0,093	0,125	0,018	0,015	0,024	0,073	0,018	0,018	0,021	
2013	0,016	0,257	0,120	0,157	0,014	0,014	0,020	0,032	0,010	0,01	0,011	

Tableau 3 : Identification et abondance des radionucléides émetteurs gamma dans les effluents liquides du CNPE de Paluel (GBq, source EDF)

	GBq	^{54}Mn	^{58}Co	^{60}Co	^{63}Ni	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{123\text{m}}\text{Te}$	^{124}Sb	^{125}Sb	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs
Paluel	1991	1,1	20,0	15,0		8,5		5,3		0,4	3,6	5,8
	1992	0,4	6,1	5,7		4,0		2,1		0,1	1,8	2,6
	1993	0,3	2,8	3,1		1,5		0,7		0,02	0,3	0,7
	1994	0,18	3,5	2,1		1,1		0,35		0,03	0,14	0,45
	1995	0,16	3,2	2,1		1,2		0,78		0,05	0,08	0,35
	1996	0,11	2,1	1,2		0,51		0,18		0,029	0,043	0,17
	1997	0,19	2,4	1,7		0,57		0,51		0,01	0,02	0,13
	1998	0,15	2,9	1,1		0,73		0,55		0,017	0,068	0,31
	1999	0,13	1,9	1,8		0,62		0,29		0,011	0,1	0,5
	2000	0,071	1,5	0,78		0,31		0,32		0,019	0,068	0,4
	2001	0,168	2,67	1,76		0,634	0,051	0,224	0,845	0,080	0,080	0,340
	2002	0,119	1,170	0,944	0,713	0,171	0,049	0,174	0,465	0,112	0,173	0,270
	2003	0,098	0,813	1,020	0,448	0,152	0,034	0,173	0,192	0,027	0,061	0,075
	2004	0,118	0,999	1,050	0,509	0,432	0,054	0,163	0,188	0,041	0,081	0,116
	2005	0,074	0,309	0,639	0,303	0,179	0,033	0,071	0,116	0,032	0,045	0,059
	2006	0,063	0,349	0,335	0,194	0,099	0,031	0,071	0,107	0,035	0,040	0,051
	2007	0,071	0,421	0,362	0,276	0,048	0,06	0,116	0,088	0,0285	0,037	0,054
	2008	0,0534	0,594	0,309	0,324	0,0771	0,175	0,0825	0,121	0,0337	0,0455	0,0636
	2009	0,044	0,391	0,280	0,272	0,046	0,062	0,039	0,107	0,033	0,039	0,051
	2010	0,041	0,263	0,249	0,378	0,046	0,082	0,039	0,106	0,033	0,041	0,052
2011	0,030	0,295	0,189	0,267	0,033	0,102	0,029	0,075	0,025	0,029	0,035	
2012	0,019	0,234	0,246	0,158	0,043	0,04	0,015	0,042	0,044	0,017	0,031	
2013	0,023	0,441	0,336	0,489	0,025	0,050	0,019	0,170	0,013	0,013	0,037	

Tableau 4 : Identification et abondance des radionucléides émetteurs gamma dans les effluents liquides du CNPE de Penly (GBq, source EDF)

	GBq	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	^{110m} Ag	^{123m} Te	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
Penly	1991	0,1	1,4	0,1		0,2		0,1		0,0	0,0	0,0
	1992	0,0	2,5	0,2		0,7		0,5		0,0	0,0	0,0
	1993	0,1	2,0	0,2		1,0		0,4		0,1	0,1	0,1
	1994	0,08	1,2	0,51		1,2		0,06		0,03	0,09	0,1
	1995	0,05	0,5	0,38		0,5		0,08		0,01	0,11	0,14
	1996	0,028	0,2	0,33		0,22		0,015		0,006	0,21	0,48
	1997	0,06	0,22	0,40		0,54		0,06		0,006	0,11	0,24
	1998	0,048	0,15	0,39		0,29		0,03		0,0055	0,17	0,43
	1999	0,032	0,34	0,21		0,08		0,039		0,005	0,15	0,42
	2000	0,027	0,49	0,32		0,032		0,067		0,004	0,041	0,16
	2001	0,017	0,40	0,27		0,018	0,070	0,021	0,031	0,006	0,086	0,180
	2002	0,027	0,201	0,412	0,342	0,068	0,040	0,035	0,143	0,014	0,087	0,339
	2003	0,029	0,058	0,764	0,329	0,037	0,042	0,021	0,083	0,016	0,191	0,455
	2004	0,038	0,198	0,089	0,605	0,087	0,047	0,083	0,056	0,016	0,060	0,123
	2005	0,028	0,163	0,455	0,103	0,032	0,024	0,053	0,059	0,014	0,037	0,079
	2006	0,025	0,408	0,249	0,152	0,023	0,016	0,093	0,084	0,016	0,035	0,069
	2007	0,018	0,228	0,106	0,171	0,017	0,057	0,051	0,054	0,0111	0,018	0,028
	2008	0,0159	0,168	0,209	0,335	0,00801	0,0395	0,0208	0,0328	0,00365	0,00577	0,0152
	2009	0,013	0,084	0,143	0,205	0,037	0,032	0,015	0,031	0,007	0,009	0,013
	2010	0,006	0,014	0,062	0,187	0,007	0,007	0,017	0,016	0,005	0,006	0,017
2011	0,007	0,049	0,058	0,188	0,033	0,007	0,009	0,014	0,005	0,006	0,011	
2012	0,017	0,185	0,22	0,164	0,011	0,011	0,031	0,019	0,005	0,007	0,008	
2013	0,015	0,147	0,396	0,333	0,026	0,013	0,035	0,111	0,007	0,008	0,030	

Tableau 5 : Identification et abondance des radionucléides émetteurs gamma dans les effluents liquides du CNPE de Gravelines (GBq, source EDF)

	GBq	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁶³ Ni	^{110m} Ag	^{123m} Te	¹²⁴ Sb	¹²⁵ Sb	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
Gravelines	1991	0,7	12,5	12,0		20,8		14,2		0,3	2,2	3,6
	1992	0,3	3,9	4,2		7,3		2,5		0,3	0,6	1,5
	1993	0,3	3,2	2,5		3,7		0,8		0,2	0,3	0,9
	1994	0,23	3,6	2,0		1,9		0,74		0,05	0,27	0,6
	1995	0,2	4,0	1,4		2,1		1,1		0,07	3,7	5,0
	1996	0,27	3,8	1,7		2,1		0,78		0,075	1,4	2,7
	1997	0,14	2,0	1,1		1,4		0,20		0,02	0,2	0,3
	1998	0,15	2,1	1,4		1,2		0,23		0,02	0,1	0,3
	1999	0,093	1,0	1,1		1,5		0,079		0,014	0,038	0,17
	2000	0,092	1,62	0,66		0,58		0,068		0,01	0,014	0,097
	2001	0,085	2,80	0,89		1,000		0,330	-	0,023	0,016	0,091
	2002	0,131	2,912	0,910	0,749	0,747	0,056	0,276	0,251	0,056	0,063	0,112
	2003	0,096	0,521	0,756	0,275	0,595	0,067	0,100	0,209	0,086	0,087	0,094
	2004	0,087	0,253	0,349	0,727	0,226	0,062	0,147	0,190	0,097	0,087	0,109
	2005	0,080	0,298	0,915	0,458	0,242	0,052	0,113	0,180	0,054	0,063	0,095
	2006	0,082	0,341	0,955	0,380	0,494	0,022	0,066	0,099	0,045	0,046	0,094
	2007	0,041	0,202	0,63	0,221	0,455	0,022	0,061	0,157	0,024	0,032	0,076
	2008	0,0266	0,163	0,484	0,201	0,161	0,0143	0,0319	0,0834	0,0175	0,0202	0,0657
	2009	0,023	0,072	0,302	0,171	0,184	0,019	0,027	0,070	0,023	0,027	0,107
	2010	0,051	0,191	0,987	0,298	0,350	0,024	0,127	0,066	0,020	0,045	0,103
2011	0,043	0,120	0,812	0,198	0,273	0,050	0,083	0,092	0,026	0,050	0,085	
2012	0,056	0,306	1,09	0,298	0,607	0,038	0,06	0,087	0,028	0,037	0,065	
2013	0,091	0,708	2,110	0,416	0,889	0,061	0,214	0,200	0,033	0,051	0,090	

3.2 LES USINES DE TRAITEMENT DE COMBUSTIBLES USÉS

3.2.1 L'USINE DE TRAITEMENT DU COMBUSTIBLE USE AREVA-NC DE LA HAGUE

L'usine de traitement du combustible usé AREVA-NC de La Hague (figure 6), mise en service en 1966, assure la première étape du recyclage des combustibles nucléaires usés (capacité maximale de traitement : 1 700 tonnes par an) en provenance de 80 à 100 réacteurs nucléaires français et étrangers. Le combustible usé contient 96% de matières recyclables (uranium et plutonium) et 4% de déchets (produits de fission et actinides mineurs).

Les produits de fission sont pour la plupart stabilisés par vitrification puis conditionnés dans des conteneurs. Au cours de ce processus, des effluents gazeux et liquides sont générés puis rejetés après traitement et contrôle dans le milieu naturel.

Figure 6 : Usine de traitement du combustible usé AREVA-NC de La Hague (au premier plan : centre de stockage de la Manche de l'Andra (voir chapitre 3.3))



Les effluents liquides, rejetés en mer (*tableau 6*), sont dominés par le tritium (13 400 TBq en 2013) et le carbone 14 (8,58 TBq en 2013). Dans ces rejets liquides, les iodes et les autres produits de fission (césium 134, césium 137, ruthénium 106) et d'activation représentent environ 6 TBq pour l'année 2013.

Parmi les émetteurs bêta et gamma, l'iode 129, l'antimoine 125 et le cérium 144 sont également des radionucléides caractéristiques des effluents liquides de l'usine de traitement de La Hague. On les retrouve notamment dans les algues brunes, les mollusques et les poissons. Les radionucléides émetteurs alpha (^{241}Am , ^{244}Cm , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) sont également caractéristiques des rejets de cette usine. L'utilisation des rapports isotopiques ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$), permet notamment de confirmer l'origine industrielle de ces radionucléides dans les différents compartiments environnementaux marins et côtiers.

Tableau 6 : Rejets liquides et gazeux de l'usine AREVA NC de La Hague pour l'année 2013 (mesures et source : AREVA NC)

<u>Rejets liquides</u>			<u>Rejets gazeux</u>		
Éléments	Année 2013 (TBq)	Limite annuelle (TBq)	Élément	Année 2013 (TBq)	Limite annuelle (TBq)
Tritium	13400	18500	Tritium	61,9	150
Iodes radioactifs	1,58	2,6	Iodes radioactifs	0,0065	0,018
Carbone 14	8,58	14	Gaz rares	289000	470000
Strontium 90	0,294	11	Carbone 14	20,5	28
Césium 137	0,582	8	Autres émetteurs β et γ	0,0000902	0,001
Césium 134	0,0257	0.5	Émetteurs α	0,00000176	0,00001
Ruthénium 106	1,22	15			
Cobalt 60	0,0762	1.4			
Autres émetteurs β et γ	2,68	60			
Émetteurs α	0,0208	0.14			

3.2.2 LE SITE INDUSTRIEL DE SELLAFIELD

Situé sur la côte de la mer d'Irlande au nord-ouest de l'Angleterre, le site de Sellafield (*figure 7*) est l'équivalent anglais de l'usine de traitement de La Hague. Ouvert en 1947 pour produire de l'électricité à partir d'un réacteur UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz), le site abrite aujourd'hui plusieurs unités dont une usine (unité B570 Thorp) de traitement des combustibles et d'entreposage des déchets hautement radioactifs, mis en service depuis 1997. Sa capacité de traitement maximale est de 1 200 tonnes par an (*Source : IRSN*). Son activité devrait être arrêtée à partir de 2018 - 2020 suite à décision de la NDA (Nuclear Decommissioning Authority), agence publique britannique chargée du démantèlement des sites nucléaires.



Figure 7 : Site de Sellafield en Angleterre

Tableau 7 : Rejets liquides du site de Sellafield en mer d'Irlande via la conduite de rejet entre 2008 et 2012 (TBq sauf pour l'uranium (kg), mesures et source : Sellafield Ltd)

Radionucléides	Rejets annuels liquides (TBq)					Limite autorisée (TBq)
	2008	2009	2010	2011	2012	
Tritium	780	1 500	1 400	2 100	1 100	20 000
Carbone 14	7,2	8,2	4,4	6,4	4,1	21
Cobalt 60	0,07	0,08	0,10	0,06	0,05	3,6
Strontium 90	1,7	2,9	1,0	1,9	1,2	48
Technétium 99	2,4	3,1	1,4	1,6	0,93	10
Ruthénium 106	1,4	3,2	1,2	2,0	0,65	51
Antimoine 125	3,1	3,8	4,5	3,2	1,0	-
Iode 129	0,20	0,25	0,27	0,40	0,21	2,0
Césium 134	0,12	0,14	0,11	0,09	0,06	1,6
Césium 137	5,1	4,3	4,8	5,9	3,6	32
Cérium 144	0,40	0,50	0,57	0,47	0,25	4,0
Plutonium (isotopes émetteurs alpha)	0,11	0,12	0,13	0,11	0,14	0,7
Plutonium 241	2,4	2,9	3,2	2,4	3,0	25
Américium 241	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,30
Uranium (kg)	280	41	250	270	340	2 000

Les effluents liquides du site sont rejetés en mer d'Irlande à 2,5 km de la côte (*tableau 7*). Les radionucléides sont dispersés sous l'effet des courants et des houles, en Manche et en mer d'Irlande. Des flux de plutonium depuis les sédiments vers l'eau libre ont notamment été mis en évidence (source différée et source diffuse qu'il convient de prendre en compte).

3.3 LES SITES DE STOCKAGE ET LES DECHETS IMMERGES

3.3.1 LE CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE

Le centre de stockage de la Manche (CSM), construit à Digulleville par l'Andra en 1969 est le premier centre français de stockage en surface de déchets faiblement et moyennement radioactifs à vie courte. Le centre dispose d'une superficie de 15 hectares où sont entreposés 527 225 m³ de colis de déchets. Le dernier colis est arrivé en 1994. Le site, recouvert d'une couverture multicouche, est à présent en phase de surveillance (*figure 8*).



Figure 8 : Centre de stockage de la Manche de l'Andra
(à gauche : en exploitation, à droite : aujourd'hui en phase de surveillance)

Au Nord du CSM, le bâtiment des bassins regroupe l'ensemble des exutoires des réseaux de récupération des eaux, bacs ou cuves de rétention avant contrôle. Les eaux pluviales sont rejetées via un bassin d'orage puis acheminées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène. Les effluents à risque (eau infiltrée à travers les ouvrages de stockage ou potentiellement susceptible d'être contaminée) sont collectés avant d'être orientés vers le centre Areva NC voisin pour être rejetés en mer.

Le tritium est le radionucléide prépondérant rejeté par ce site de stockage (5,56 GBq de ³H rejeté en 2012 soit 4,4% de l'autorisation annuelle). Un incident en 1976 a par ailleurs durablement pollué en tritium les eaux souterraines de la nappe phréatique au droit du site (activités maximales mesurées de l'ordre de 150 000 Bq/L).

3.3.2 LA FOSSE DES CASQUETS

A partir de 1946, de nombreux pays ont choisi la solution simple de l'immersion des déchets après conditionnement (conteneurs métalliques, colis en béton) pour les actifs. Des déchets radioactifs ont ainsi été déposés sur les fonds marins. De 1950 à 1963, le Royaume-Uni et la Belgique ont immergé dans la fosse des Casquets, en Manche occidentale, plus de 17 000 tonnes de déchets faiblement et moyennement radioactifs, d'une activité totale de 60 Tbq (*source : Andra, inventaire des déchets immergés, 2012*). La fosse des Casquets est un ravin d'une profondeur de 65 à 160 mètres de profondeur sous le niveau moyen de la mer (correspondant au lit du paléo-fleuve de La Manche), situé à environ 15 km au nord-ouest du Cap de La Hague (*figure 9*). Aucune immersion française n'a été pratiquée en Manche.

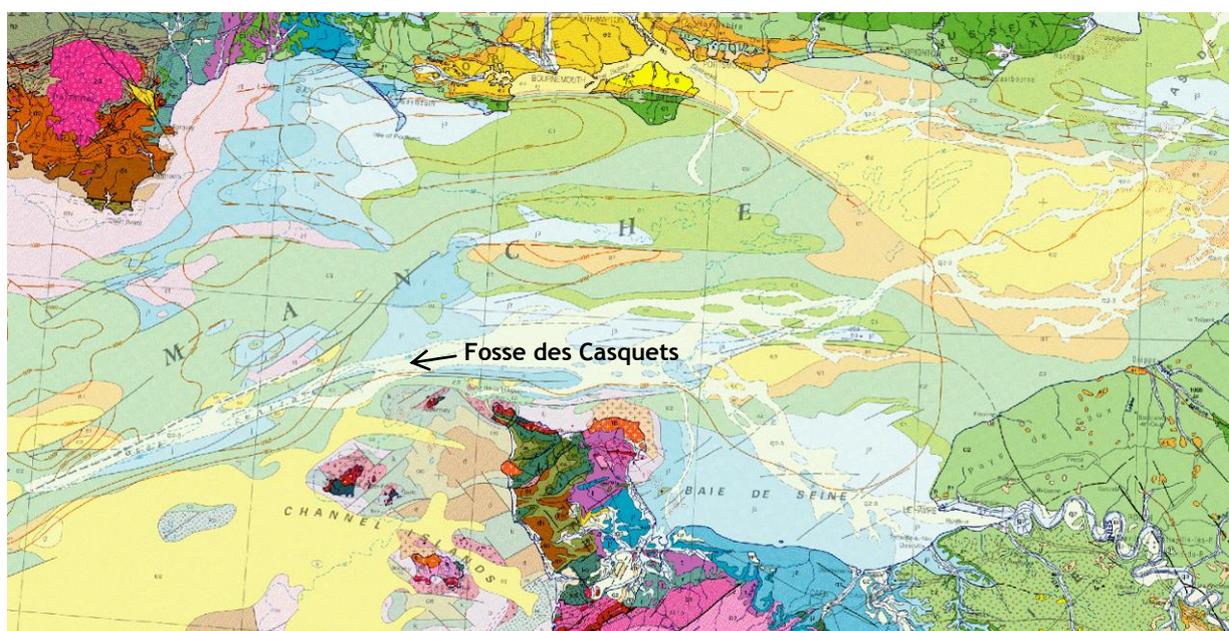


Figure 9 : Emplacement de la Fosse des Casquets dans la Manche (carte : source BRGM, InfoTerre)

Au début des années 2000, une mission d'exploration réalisée par l'association Greenpeace a permis de localiser les fûts à une centaine de mètres de profondeur et de constater la dégradation (corrosion) de nombreux fûts (*figure 10*). Ce site constitue donc une source potentielle de rejets diffus de radionucléides artificiels en Manche. Toutefois, le peu d'information disponible ne permet pas de définir précisément le spectre des radionucléides présents. Les résultats issus de cette étude ne pourront donc être reliés où ont été immergés des fûts.



Figure 10 : Fût de déchets radioactifs dans la fosse des Casquets. © Greenpeace / Newman, Gavin

3.4 LA BASE NAVALE DE CHERBOURG

La Marine nationale est le deuxième exploitant du nucléaire en France. Elle utilise l'énergie nucléaire à deux titres : d'une part, dans le cadre de la dissuasion nucléaire et, d'autre part, pour la production d'énergie de certains de ses navires (tous les sous-marins et le porte-avions "Charles de Gaulle").

Cherbourg (*figure 11*) est la troisième base navale de France métropolitaine après Brest et Toulon. La flottille de la Manche (Flomanche) est dédiée à la surveillance de la Manche et de la Mer du Nord. La DGA (Direction générale de l'armement) et la DCNS, installés au cœur du port militaire, sont spécialisés dans la construction et le démantèlement de sous-marins à propulsion nucléaire (sous-marins nucléaires d'attaque et sous-marins nucléaires lanceurs d'engins).



Figure 11 : Base navale de Cherbourg © Marine nationale

Ces installations présentent la spécificité d'être intégrées au sein d'une agglomération importante. Outre les activités industrielles de ce site, les résultats des mesures effectuées dans la rade de Cherbourg (notamment en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{244}Ce) dans les différents compartiments environnementaux marins et côtiers confirment par ailleurs la sensibilité de cette zone au regard des rejets de l'usine de traitement de combustibles usés Areva NC de La Hague située à proximité.

3.5 LA SOCIETE DE MAINTENANCE NUCLEAIRE (SOMANU)

La Société de Maintenance Nucléaire (SOMANU) est implantée dans la zone industrielle de Grévaux-les-Guides, sur le territoire de la ville de Maubeuge, dans le département du Nord. Cet atelier constitue l'Installation Nucléaire de Base (INB) n° 143. Il abrite des activités de réparation, d'entretien et d'expertise de matériels ou activités provenant principalement des réacteurs nucléaires, à l'exclusion des éléments combustibles :

- l'exploitation et la mise à disposition d'un atelier de maintenance nucléaire,
- la décontamination de matériels présentant une contamination radioactive,
- la réalisation d'opérations de maintenance préventives ou curatives,
- l'entreposage de matériels ou de composants,
- l'organisation des transports radioactifs entre SOMANU et les installations nucléaires,
- le démantèlement de composants nucléaires.

Hormis les rejets des eaux pluviales et des eaux usées, 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 issus des décontaminations, les plus actifs, ne sont pas rejetés mais transférés vers des installations de traitement (CEA/SACLAY ou CENTRACO). Les déchets technologiques et ferrailles sont envoyés vers CENTRACO ou l'ANDRA pour y être stockés.

La SOMANU fait l'objet d'un suivi environnemental des eaux souterraines par des prélèvements réguliers effectués sur 4 piézomètres répartis sur le site et de prélèvements. Les eaux de surface sont également surveillées par des prélèvements effectués à « mi-rejet » (zone de bon mélange) dans la rivière Flamenne.

Compte tenu des résultats obtenus à l'occasion de ces suivis réguliers, la stratégie de l'IRSN dans le cadre de ce constat aux alentours de SOMANU se concentrera sur la Flamenne, unique exutoire des effluents liquides industriels de ce site.

3.6 LES INDUSTRIES GÉNÉRANT DES DÉCHETS A RADIOACTIVITÉ NATURELLE RENFORCÉE

Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR) sont des déchets générés par la transformation de matières premières contenant naturellement des radionucléides mais qui ne sont pas utilisés pour leurs propriétés radioactives. Dans le périmètre du constat Nord - Normandie, 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 RNR, ont été répertoriées et classées.

Les principaux sites retenus sont détaillés ci-après. Ils feront l'objet de prélèvements et de mesures spécifiques directement liées à leurs activités industrielles (radium 226, uranium, thorium, plomb 210,...). Les autres industries éloignées du réseau hydrographique ne seront pas retenues dans le cadre de cette étude sur le volet aquatique (*annexe 12.1*).

3.6.1 LES INDUSTRIES DE TRAITEMENT ET DE TRANSFORMATION DES MINERAIS DE TITANE

L'usine Millenium Inorganic Chemicals, située au Havre (*figure 14*) à proximité de l'estuaire de la Seine, a cessé son activité fin 2007. Cette usine produisait de l'oxyde de titane à partir d'un sable naturel (ilménite FeTiO_3) comportant des traces d'éléments radioactifs naturels (^{232}Th , ^{238}U). Ces radionucléides se retrouvent dans les résidus ainsi que dans les déchets de fabrication (déchets TFA), conditionnés en fûts de 100 litres et en « *big-bags* » et entreposés dans un bâtiment situé sur le site industriel.

La société TIOXIDE EUROPE SAS produit sur le site de Calais (*figure 14*) des pigments de dioxyde de titane réalisés à partir de l'attaque d'un minerai titanifère par acide sulfurique. Au cours de ce procédé industriel, des déchets à radioactivité naturelle renforcée sont produits. Il s'agit de déchets TFA entreposés sur place dans des bennes bâchées (estimation de 5 tonnes en décembre 2010). L'entreprise se situe en bordure d'un ouvrage de drainage hydraulique déversant dans la mer du Nord.

3.6.2 L'INDUSTRIE DE PRODUCTION OU D'UTILISATION DE COMPOSES URANIFERES ET THORIFERES

L'usine Arkema à Serquigny (Eure) est spécialisée dans la fabrication de polymères, polyamides et copolymères PEBA. Elle occupe une superficie de 34 ha en bordure de la Risle (*figure 14*) dans laquelle est pompée l'eau et où sont rejetés les effluents aqueux. Les installations de l'usine sont implantées sur un ancien site industriel ayant accueilli la Société des produits chimiques des Terres Rares entre 1920 et 1949. A l'époque, cette société utilisait un minerai, la monazite, naturellement faiblement radioactif pour la fabrication de nitrate de thorium. Le site entrepose des déchets de faible activité à vie longue (1 604 m³) en attente d'exutoire définitif (*source : Andra*).

3.6.3 L'INDUSTRIE DES PHOSPHATES POUR LA FABRICATION D'ACIDE PHOSPHORIQUE ET LA PRODUCTION D'ENGRAIS AGRICOLE

La production d'une tonne d'acide phosphorique qui entre dans la composition des engrais phosphatés et de matières alimentaires génère 5 tonnes de déchets sous forme de sulfate de calcium hydraté appelé phosphogypse et concentre des micropolluants chimiques et radioactifs du minerai d'origine : les phosphates. Sur le bassin *Seine Aval*, la société Grande Paroisse possède plusieurs sites (Rogerville près du Havre, Rouen et ses trois autres sites proches de Grand-Quevilly, Anneville-Ambourville et Saint-Etienne-du-Rouvray) sur lesquels des phosphogypses sont entreposés en attente de transfert vers un stockage définitif (*figure 14*).

3.7 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 thérapies, qualifiées dans ce cas de « produits radiopharmaceutiques ».

Dans les services de médecine nucléaire, deux grandes pratiques mettent en œuvre des produits radiopharmaceutiques :

- le diagnostic fonctionnel : l'objectif est l'exploration fonctionnelle de certains organes par imagerie (le radionucléide majoritairement mis en œuvre est le technétium 99 métastable, l'iode 131 n'est plus utilisé) ;
- la radiothérapie métabolique : l'objectif est la destruction ciblée, par irradiation, de tissus pathologiques (l'iode 131 est le radionucléide le plus largement utilisé).

Ces deux radionucléides à courtes demi-vies (six heures pour le technétium 99 métastable et huit jours pour l'iode 131), représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire. Les produits radiopharmaceutiques sont considérés comme des médicaments et sont soumis, de ce fait, aux mêmes contraintes administratives que tout autre médicament. Leur caractère radioactif les soumet, de plus, aux différentes réglementations relatives à la radioprotection des patients, des travailleurs exposés et du public. De la réception à l'élimination des produits radioactifs au sein des services de médecine nucléaire, en passant par la préparation ou encore l'administration des produits, des déchets et des effluents sont produits. Les déchets sous forme solide sont placés dans des conditionnements adaptés, conformes à la réglementation, puis sont traités dans des installations extérieures autorisées à cet effet.

Les effluents liquides (*figure 12*) sont quant à eux rejetés dans l'environnement de l'établissement hospitalier en respectant des règles de gestion imposées par la réglementation (arrêté du 23 juillet 2008). Ces effluents sont de deux natures :

- les rejets « maîtrisés » en provenance des laboratoires de préparation et de manipulation ainsi que ceux des unités et des chambres réservées à l'hospitalisation des patients faisant l'objet d'une thérapie cancéreuse : ces effluents doivent satisfaire aux règles particulières de gestion par décroissance radioactive et d'élimination dans le respect des limites portées à 100 Bq/L pour les effluents issus des chambres de patients traités à l'iode 131;
- les rejets « non maîtrisés » provenant des services autres que ceux de médecine nucléaire, comme les sanitaires pouvant être utilisés par des patients traités ou lorsque le patient rentre chez lui. Les selles, non stockées à l'hôpital en raison de leur potentiel d'induction de maladies nosocomiales, rejoignent le réseau d'assainissement plus rapidement.

Les radionucléides ainsi introduits dans l'environnement peuvent être détectés dans les stations d'épuration et les cours d'eau.

Les stations d'épuration ne disposent pas de procédés spécifiques pour le traitement des produits radioactifs. Cependant, les procédés de traitement classiques utilisés dans ces installations conduisent à fixer préférentiellement l'iode 131 dans les boues d'épuration. Malgré cela, une proportion d'iode 131 est susceptible de se retrouver dans la rivière, en aval de la station d'épuration.

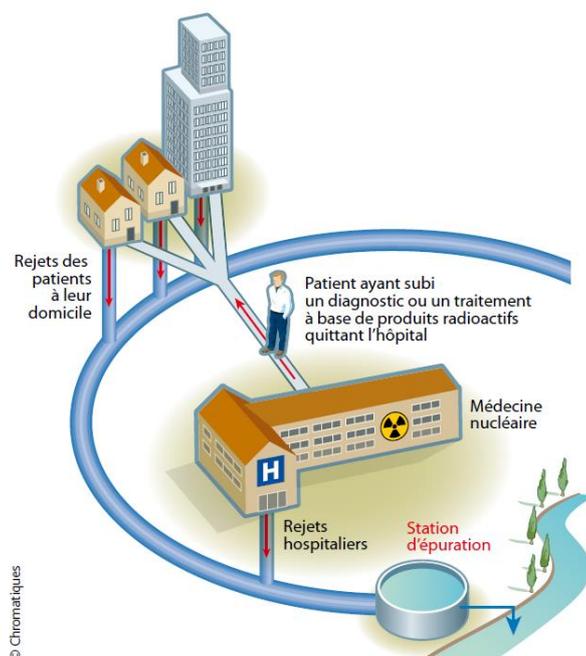


Figure 12 : Trajet des rejets d'effluents radioactifs dans les eaux usées urbaines

Par la dilution induite par le cours d'eau en aval de ce type d'installation, il est très difficile de détecter ce radionucléide dans l'eau. Par contre, il est parfois mesuré dans les matières en suspension et le plus souvent dans les végétaux aquatiques, à des concentrations comprises entre quelques Bq et quelques centaines de Bq par kilogramme de produit frais.

Dans le cadre d'expertises ou de prestations, l'IRSN réalise des mesures radiologiques dans les eaux usées collectées par les stations de traitement et d'épuration (STEP) des grandes villes françaises. Des sondes de spectrométrie gamma peuvent ainsi être disposées dans les bassins de collecte des eaux usées et permettent de mesurer la radioactivité d'origine artificielle de ces eaux, en particulier l'iode 131 et le technétium 99 (*figure 13*). Ces mesures sont alors réalisées en continu par chaque station, pendant une certaine période, et peuvent être récupérées et exploitées à distance par l'IRSN.

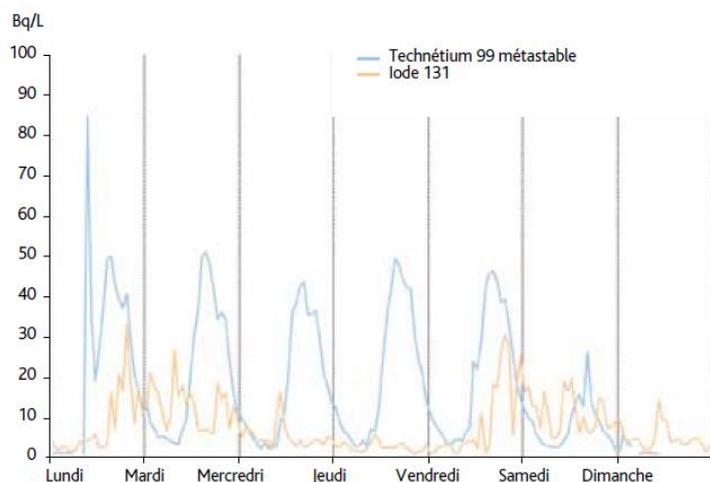


Figure 13 : Moyennes horaires, mesurées sur une semaine, des activités d' ^{131}I et de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ au sein de la station d'épuration de Rouen (source IRSN)

L'information acquise à partir de ce dispositif permet de caractériser les rejets de radioactivité artificielle dans les eaux usées (radionucléides, origine, fréquences d'occurrence, activités volumiques).

Le *tableau 8* répertorie les principales installations de médecine nucléaire sur le périmètre du constat Nord-Normandie. La proximité de chaque site avec le milieu aquatique le plus proche est également indiquée. La cartographie des STEP situées en aval de ces centres est détaillée dans l'*annexe 12.2*.

Tableau 8 : Liste des installations de médecine nucléaire prises en compte dans le cadre du constat radiologique Nord - Normandie.

BASSINS VERSANTS	RIVIERES	MEDECINE NUCLEAIRE
Cotentin	La Sée	Centre de scintigraphie d'Avranches
	Le ruisseau du Fay	Polyclinique du Cotentin à Equeurdreville
Basse-Normandie	L'Orne	Polyclinique du Parc à Caen Centre de recherche Cyceron à Caen
	Canal de Caen à la mer	Centre de recherche et de lutte contre le cancer François Baclesse à Caen Centre hospitalo-universitaire Côte de Nacre à Caen
Côtiers picards et bouonnais	Le canal de Saint-Quentin	Polyclinique Saint-Claude à Saint-Quentin
	La Selle	Centre TEP 2 à Salouel
	La Somme	Clinique de l'Europe à Amiens Centre hospitalo-universitaire Sud à Amiens
	La Manche	Institut Calot à Berck-sur-Mer Centre hospitalier Duchenne à Boulogne-sur-Mer
Versants Mer du Nord et transfrontaliers	La Scarpe	Espace Artois Santé à Arras
	La Marque	Hopital privé de Villeneuve d'Ascq à Villeneuve d'Ascq
	Le canal de Roubaix	Centre hospitalier Victor Provo à Roubaix Groupement d'intérêt économique TEP de l'Union à Roubaix
	Le canal d'Aire	Centre hospitalier Germon Gauthier à Béthune
	La Deûle	Hopital privé de Bois Bernard Centre de recherche et de lutte contre le cancer Oscar Lambret à Lille Polyclinique du Bois à Lille Polyclinique de la Louvière à Lille Groupement d'intérêt économique Nord TEP à Lille Centre hospitalo-universitaire Salengro à Lille Centre hospitalo-universitaire Hurriez à Lille
	L'Escaut	Centre hospitalier de Valenciennes
	La Sambre	CIN Sambre Avesnois à Maubeuge
	La Manche	Centre d'Imagerie nucléaire à Dunkerque
Aisne	L'Aisne	Centre de Médecine Nucléaire à Soissons
Oise	Le Thérain	Centre hospitalier de Beauvais
	L'Oise	CIMA à Compiègne CIRIOS à Creil
Seine à l'aval de Paris et Risle	L'Eure	Centre d'Imagerie Scintigraphique d'Eure et Loir Clinique Bergouignan à Evreux Groupement Eurois d'Imagerie Médicale à Evreux
	La Seine	Centre Henri Becquerel à Rouen Clinique de l'Europe à Rouen
	La Manche	Hopital Jacques Monod à Montivilliers
		Clinique des Ormeaux au Havre

3.8 SYNTHÈSE

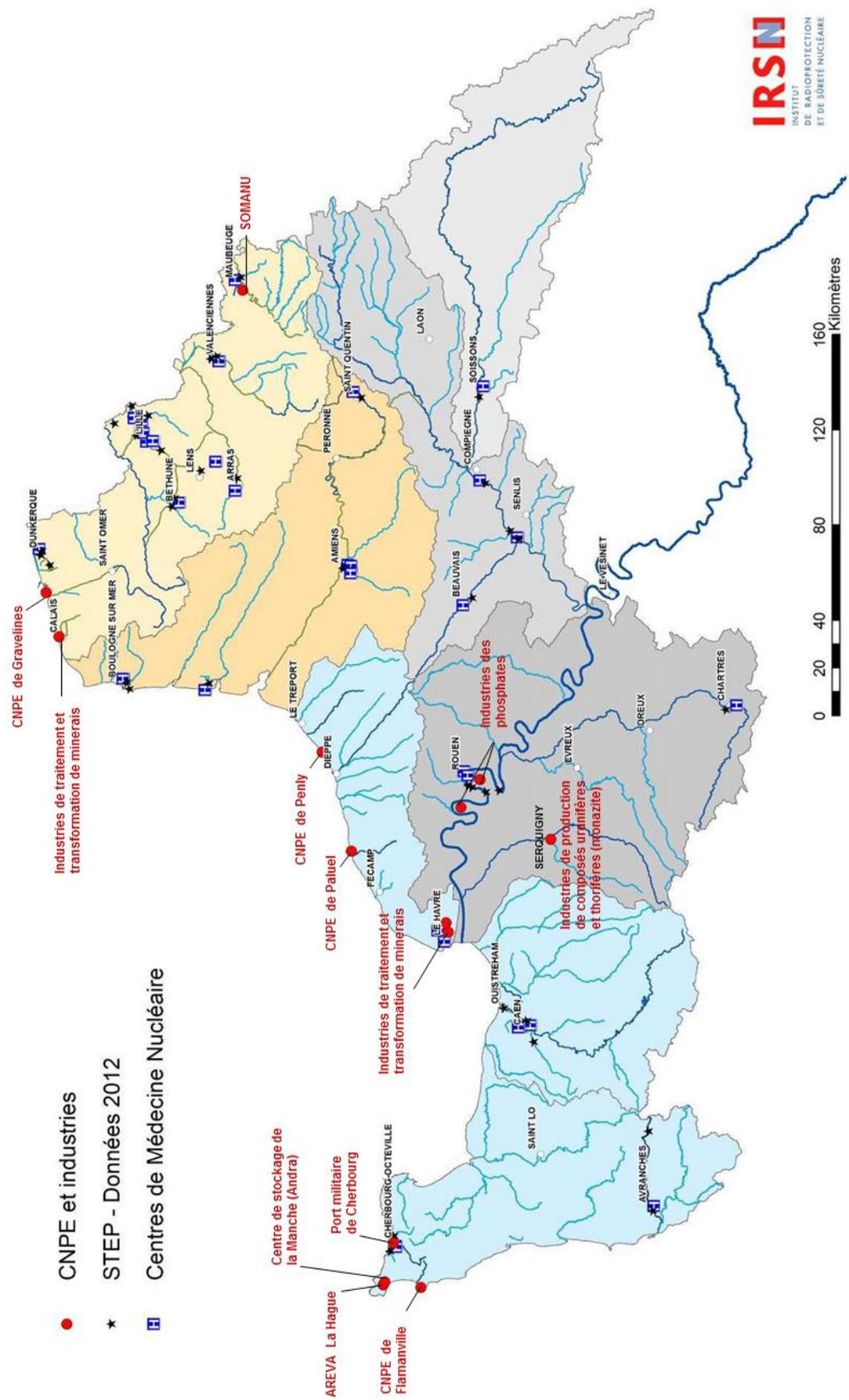
L'ensemble des installations industrielles mentionnées précédemment et pris en compte dans la stratégie de ce constat radiologique est regroupé dans le *tableau 9*, incluant la proximité de chaque site avec le milieu aquatique (fleuve, rivière, mer) le plus proche.

Tableau 9 : Liste des installations industrielles prises en compte dans le cadre du constat radiologique Nord - Normandie.

BASSIN VERSANTS	RIVIERES	INSTALLATIONS
Cotentin	à 1,5 km de la Côte	Usine de traitement de La Hague - AREVA Centre de stockage de surface de Digulleville - ANDRA
	Littoral	2 réacteurs nucléaires de 1300 Mwe en service à Flamanville - EDF Site militaire de Cherbourg - DGA
Côtiers haut-normands	Canal de Tancarville	Production d'oxyde de titane à partir d'un sable naturel comportant des traces de U et Th à Le Havre - Millenium inorganic chemicals
	Grand Canal du Havre	Stockage de phosphogypses à Rogerville, Grand Port Maritime du Havre - Hydro Agri France/Étarès
	Littoral	4 réacteurs nucléaires REP de 1300 Mwe en service à Paluel - EDF 2 réacteurs nucléaires REP de 1300 Mwe en service à Penly - EDF
Versants Mer du Nord	Ruisseau de la Flamenne	Entreprise de maintenance de matériels nucléaires à Maubeuge - SOMANU
	Canal Watergang du Sud	Société Tioxide Europe SAS à Calais (production de pigments de dioxyde de titane) - Tioxide Europe
	Littoral	6 réacteurs nucléaires REP de 910MWe en service à Gravelines - EDF
Seine à l'aval de Paris	La Risle	Usine ARKEMA à Serquigny (nitrate de thorium à partir de monazite) - ARKEMA
	à 700m de la Seine	Anciens ateliers de production d'acide phosphorique à Rouen/Petit-Quevilly - Grande Paroisse SA
	La Seine	Ancienne usine de production d'acide sulfurique et phosphorique, produisait des déchets RNR à Le-Grand-Quevilly - BOREALIS
	à 2km de la Seine	Stockage de phosphogypses à Anneville Ambourville - Grande Paroisse SA
	à 4km de la Seine	Stockage de phosphogypses à Saint-Etienne du Rouvray - Grande Paroisse SA
	Canal de Tancarville	Production d'engrais, minerais contenant naturellement des radioéléments et concentrés par le process industriel à Rogerville - Hydro Agri France

La *figure 14* ci-après présente les principales installations nucléaires, industries et centres de médecine nucléaire mettant en œuvre des radionucléides d'origine naturelle ou artificielle sur le territoire du constat Nord-Normandie.

Les principales stations d'épuration des eaux usées (STEP), situées près des rivières en aval des grandes agglomérations, sont également référencées sur cette figure. Le détail de ces STEP est présenté en *annexe 12.2*.



Données carto : IGN, ESRI - IRSN Constat Nord - Normandie, Novembre 2014

Figure 14 : Distribution géographique des industries et des centres de médecine nucléaire dans le périmètre d'étude du constat radiologique Nord-Normandie

Les installations industrielles nucléaires et les principaux sites industriels mettant en œuvre des radionucléides naturels et artificiels sont essentiellement répartis sur le littoral Manche - Mer du Nord (excepté l'entreprise de maintenance SOMANU). Les centres de médecine nucléaire sont majoritairement situés au cœur des grandes agglomérations.

Les campagnes d'échantillonnage dans les milieux aquatiques continentaux viseront essentiellement à établir un référentiel des niveaux de radioactivité sur des rivières rarement voire jamais étudiées auparavant (à l'exception de la Seine). Elles viseront également à quantifier l'activité des radionucléides artificiels issus des centres de médecine nucléaire par des prélèvements réalisés en aval des STEP.

Pour le milieu aquatique continental, les variations des concentrations en radionucléides sont fonction de la distance à l'ouvrage de rejet et des conditions hydrauliques caractérisées par le débit, les arrivées d'affluents, les échanges avec la nappe phréatique, ou encore la présence de sinuosités dans l'écoulement.

Les campagnes de prélèvement en milieu aquatique marin auront pour objectif principal de mettre à jour et compléter les connaissances relatives aux radionucléides rejetés par les CNPE, les usines de traitement de combustibles usés (La Hague et Sellafield), ainsi que les autres sites industriels situés en zone côtière ou en aval des bassins hydrographiques.

Pour le milieu aquatique marin, le choix des secteurs et des stations tiendra compte des paramètres tels que l'influence des côtes, les courants de marée, les conditions météorologiques, l'abondance des espèces vivantes et la quantité de sédiments fins pouvant être récoltés.

4 CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS AQUATIQUES TERRESTRES

4.1 SEINE AVAL ET COTIERS NORMANDS

Les rivières du bassin versant Seine Aval - Normandie s'étendent principalement sur des formations crayeuses du Crétacé supérieur. La craie, roche perméable et fissurée, favorise l'infiltration par rapport au ruissellement. Ainsi, le réseau hydrographique est peu ramifié entre l'amont et l'aval des fleuves côtiers normands.

Les fleuves et rivières présentés ci-après ont été sélectionnés d'une part pour leur proximité avec des installations autorisées à rejeter des effluents radioactifs, mais également pour l'importance de la densité démographique présente sur leurs bassins versants.

4.1.1 SEINE AVAL

Le bassin versant de la Seine présente une surface de 79 000 km² fortement urbanisé et industrialisée. La Seine, fleuve de 777 km de long, prend sa source en Côte d'Or sur le plateau de Langres. Son débit augmente de 328 m³/s à l'entrée de Paris jusqu'à 563 m³/s à son exutoire dans la Manche au Havre.

Dans sa partie aval, la Seine peut être découpée en deux entités hydrographiques (*figure 15*) :

- La basse Seine : de Paris à Rouen le fleuve absorbe les eaux de l'Oise, affluent en rive droite, qui rejoint la Seine à Conflans-Sainte-Honorine après un parcours de 341 km et présente un débit moyen de 110 m³/s ;
- La Seine maritime ou l'estuaire de la Seine : de Rouen à son exutoire dans la Manche, les rivières de l'Eure (228 km) et de la Risle (145 km) sont ses principaux affluents avec des débits respectifs de 26,3 m³/s et 14 m³/s. Sur cette portion, la mer transmet à la Seine tous ses mouvements, inversant ainsi le courant deux fois par jour. L'estuaire, zone de transition entre eau douce et eau salée, est colonisé par des espèces de poissons qui peuvent être marines, résidentes estuariennes, migratrices ou dulçaquicoles.

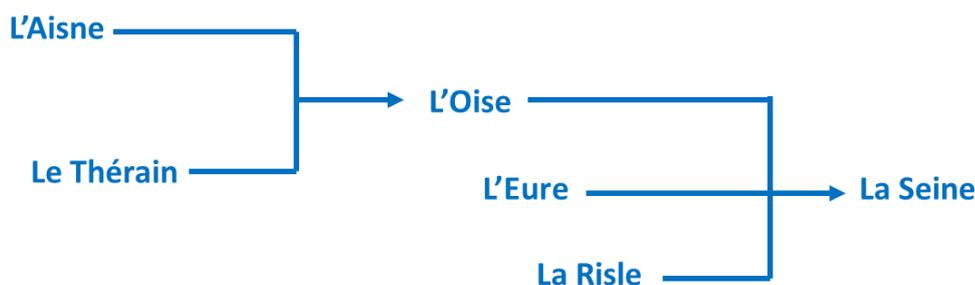


Figure 15 : Schéma des principaux affluents de la Seine aval

4.1.2 COTIERS NORMANDS

L'Orne est un fleuve côtier prenant sa source près de Sées, dans le département de l'Orne. Il draine un important bassin de 2 932 km². C'est le deuxième cours d'eau normand après la Seine par sa longueur et son débit (27,5 m³/s à son embouchure à Ouistreham). L'Orne traverse la ville de Caen, puis canalisé, débouche dans la Manche par un estuaire d'une grande richesse écologique. Les parties les plus rapides sont colonisées par les truites, les chevesnes, les goujons, les vandoises, les aloses, les saumons et les truites de mer. Les parties les plus lentes abritent brochets, sandres, perches, carpes, gardons et autres cyprinidés.

La Sée est un fleuve côtier du département de la Manche qui prend sa source à Sourdeval dans une formation de schistes positionnée entre deux massifs granitiques. Son bassin versant est donc relativement étroit (477 km²). La Sée participe avec le Couesnon et la Sélune au système hydrologique complexe de la baie du Mont Saint-Michel. La Sée fait partie des fleuves les plus saumonés de France. Son débit est de 6,3 m³/s à Tirepiéd, commune située dans l'arrondissement d'Avranches.

La **Divette** est un fleuve côtier de 27 km dont la source est située sur la commune de Bricquebosq près de Cherbourg. Elle fournit une grande partie de l'eau potable de la communauté urbaine de Cherbourg.

La **Durdent**, l'**Arques** et l'**Yères** sont trois petits fleuves côtiers qui encadrent les centres nucléaires de production d'électricité de Penly et de Paluel :

- La Durdent prend sa source dans le pays de Caux près de Héricourt-en-Caux. Après un linéaire de 24 km, son débit est de 3,8 m³/s à Vittefleury.
- L'Arques est l'exutoire de trois rivières drainant la partie orientale du pays de Caux. Le fleuve recense des poissons migrateurs tels que la truite de mer et le saumon. Son parcours est de 6 km pour un débit de 10,2 m³/s à Dieppe.
- L'Yères prend sa source à Aubermesnil-aux-Érables au sud de Foucamont. Ce fleuve de 40 km présente un débit de 2,71 m³/s près de son embouchure à Touffreville-sur-Eu.

4.2 BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE L'ARTOIS PICARDIE

Le bassin hydrographique Artois-Picardie s'étend sur trois départements (Nord, Pas de Calais, Picardie) et intègre également une partie de l'Aisne (région de Saint-Quentin et l'ouest de la Thiérache) et de l'Oise. Le bassin est caractérisé par l'absence de très grands fleuves et de reliefs importants, ce qui a permis de canaliser les cours d'eau et de tisser un réseau maillé de canaux de liaison entre les différents sous-bassins hydrographiques.

L'écoulement des eaux suit un axe topographique principal allant de l'Avesnois au Boulonnais. Cet axe est formé par les collines de l'Artois, d'une altitude moyenne de 150 mètres, qui séparent les cours d'eau qui versent, directement ou indirectement, dans la Mer du Nord (l'Aa, la Lys, l'Escaut et la Sambre via la Meuse - *figure 16*), de ceux qui versent dans la Manche (cours d'eau du Boulonnais, la Canche, l'Authie et la Somme).

Le réseau hydrographique s'étend sur un sous-sol crayeux pour une grande partie du bassin. La craie favorise l'infiltration ce qui explique les faibles débits par rapport à la superficie des bassins versants. Les crues et inondations sont en revanche importantes en saison hivernale lorsque la charge des nappes alluviales est maximale.

4.2.1 LES COURS D'EAU DE LA MER DU NORD

L'**Aa** est un petit fleuve côtier de 89 km de long qui prend sa source dans les collines crayeuses de l'Artois. Après une cinquantaine de kilomètres, il atteint la plaine flamande argileuse où il s'épand dans le marais audomarois. A l'époque mérovingienne, un ensemble de fossés et de canaux de drainage ont été créés afin de dessécher le marais pour l'agriculture. Ce réseau de drainage, présent jusqu'à l'embouchure de l'Aa dans la mer du Nord à Gravelines est aujourd'hui appelé « watergangs ».

L'anguille est présente sur son cours ainsi que dans le marais audomarois. Le débit du fleuve est de 10 m³/s à son embouchure (Source : Plan de gestion anguille de la France).

L'Escaut est un fleuve européen dont la source est située près de Gouy au nord de Saint-Quentin, dans le département de l'Aisne. Canalisé à partir de Cambrai, il traverse la Belgique (où il est nommé « Schelde ») puis les Pays-Bas et rejoint la mer du Nord après un parcours de 355 km. Son débit est de 104 m³/s à son estuaire. Ses principaux affluents sur le territoire français sont la Scarpe et la Lys.

La Scarpe prend sa source dans les collines de l'Artois. Elle devient canalisée à Arras et rejoint l'Escaut à Mortagne-du-Nord. Les palplanches métalliques, présentes sur tout le linéaire, conduisent à une déconnexion des annexes hydrauliques.

La Lys prend sa source à Lisbourg dans les collines de l'Artois. Elle parcourt près de 85 kilomètres en France, matérialise la frontière franco-belge sur 25 kilomètres et se jette dans l'Escaut à Gand. La Lys devient canalisée à Aire-sur-la-Lys. Des cultures de cresson sont implantées sur le bassin de la Lys, alimentées en eaux vives par un puits artésien. Parmi ses affluents, la Deûle, canalisée de Douai à Deûlémont traverse l'agglomération de Lille.

La Sambre est une rivière franco-belge. Elle prend sa source sur le plateau de Saint-Quentin, traverse l'agglomération de Maubeuge et après un parcours de 190 km se jette dans la Meuse. Son débit est de 36 m³/s à Namur.

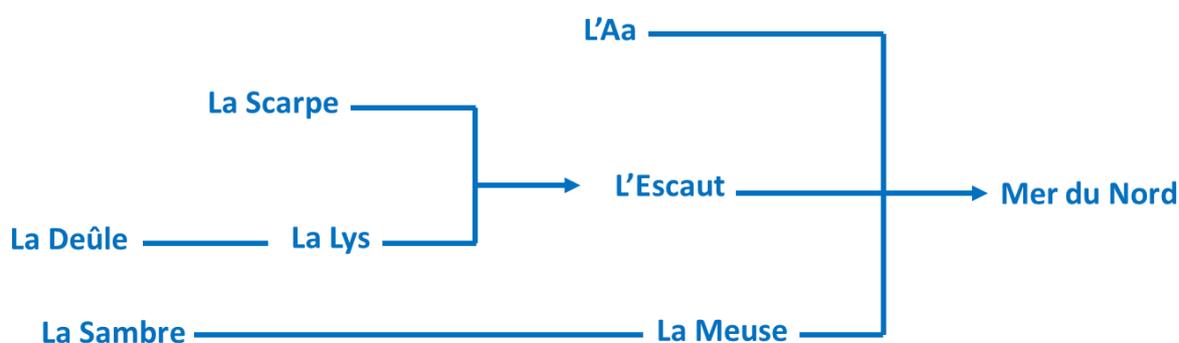


Figure 16 : Schéma des principaux fleuves de la Mer du Nord ayant leur tête de bassin sur le territoire français

4.2.2 LES COURS D'EAU DE LA MANCHE

La Somme prend sa source dans le département de l'Aisne sur la commune de Fonsomme. Elle présente des fluctuations saisonnières de débit très peu marquées. Elle se jette dans la Manche par la baie de Somme entre Le Crotoy et Saint-Valéry-sur-Somme. Après un parcours de 245 km, son débit est de 35 m³/s à Abbeville.

L'Authie

L'Authie prend sa source à Coignieux. D'une longueur de 103 km, son débit est de 10,8 m³/s à l'exutoire à Quend. La baie de l'Authie est constituée de prairies humides drainées par un réseau de fossés et de ruisseaux. Certaines parties sont cultivées.

La Canche est un fleuve côtier de 100 km de long prenant sa source en Artois. Elle est au centre d'un bassin hydrographique drainant lors de sa course une multitude de rivières et ruisseaux. Son débit est de 15,1 m³/s à son embouchure à Étaples.

4.3 FOND GEOCHIMIQUE

La radioactivité est un phénomène physique naturel qui existe dans l'Univers depuis son origine. Elle est présente partout sur Terre, au sein même de la matière, minérale et organique, et de tous les êtres vivants. La principale source d'exposition à la radioactivité naturelle d'origine tellurique est un gaz, le radon (Rn), issu de la chaîne de désintégrations de l'uranium. L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population française, la première cause d'exposition parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants. C'est l'augmentation du risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon dans les habitations et les mines souterraines.

Essentiellement présent dans les formations magmatiques plutoniques et volcaniques, le radon (Rn) est un gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Le radon 222 sous forme gazeuse, descendant du radium (²²⁶Ra) qui est lui-même un descendant de l'uranium 238, est l'isotope le plus abondant dans l'atmosphère à cause de sa période radioactive (3,82 jours) suffisamment longue pour lui permettre de migrer dans les sols, depuis la roche qui lui a donné naissance, jusqu'à l'atmosphère. En se désintégrant, le radon émet des particules alpha et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium, bismuth, plomb...). Par différents processus physiques, il migre du sol jusqu'à l'air libre et peut s'accumuler dans l'atmosphère plus confinée des bâtiments.

A partir des données géologiques disponibles sur le territoire français métropolitain, l'IRSN a établi la carte du potentiel radon (*figure 17 - source : IRSN*).

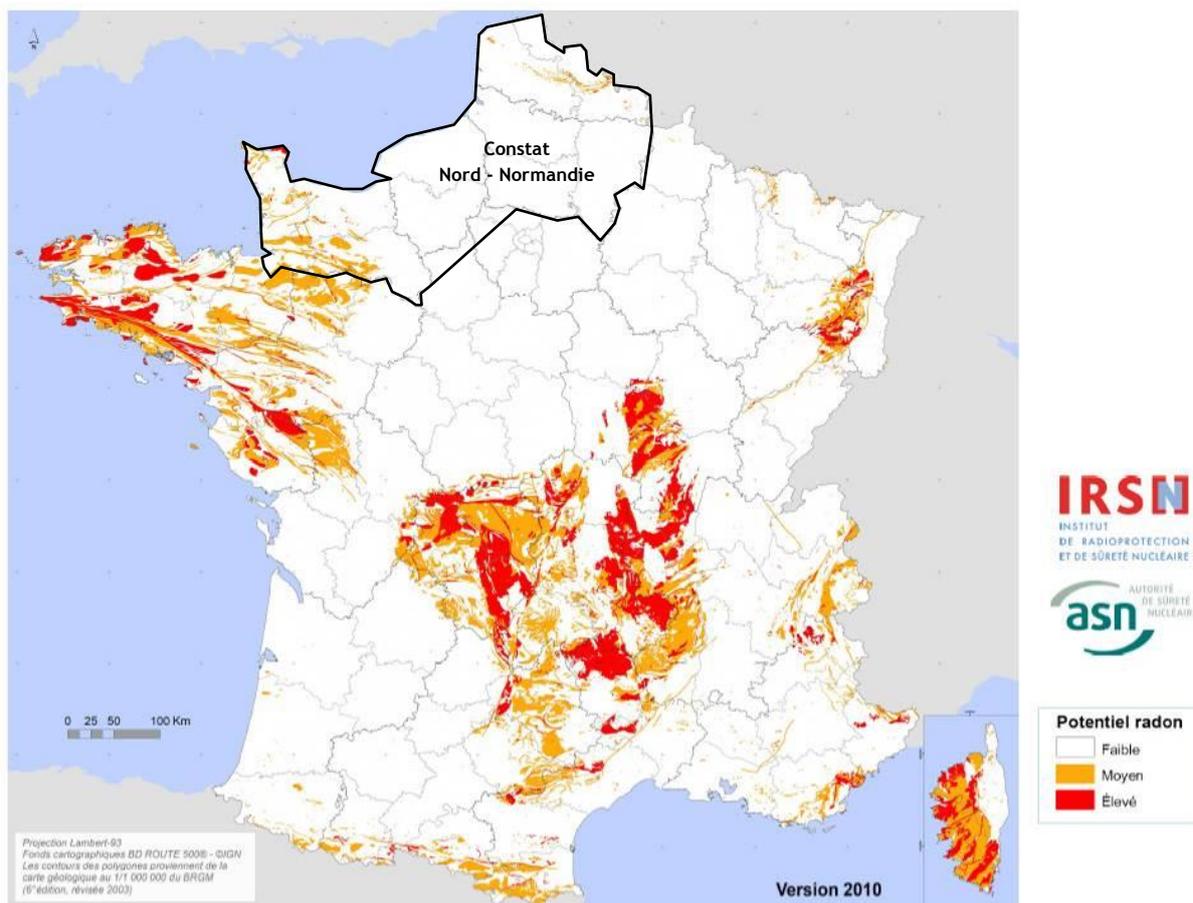


Figure 17 : Carte du potentiel radon des formations géologiques à l'échelle 1:1 000 000 (IRSN, 2010)

L'analyse de la carte du potentiel radon pour le territoire concerné par le constat radiologique régional Nord - Normandie montre que le département de la Manche est celui dont les formations géologiques sont le plus susceptibles de présenter une activité moyenne à élevée en ^{222}Rn . Ces zones, relativement réduites à l'échelle du territoire du constat Nord - Normandie, ne feront pas l'objet d'une expertise particulière dans le cadre du volet aquatique de cette étude.

4.4 RESERVES NATURELLES

L'accumulation des radionucléides par les organismes aquatiques peut s'effectuer selon deux voies principales, soit directement à partir de l'eau, soit à partir de la nourriture au travers des réseaux trophiques. L'analyse des radionucléides dans les différents maillons des espèces représentatives d'un milieu est d'une importance majeure pour la connaissance de l'état radiologique des estuaires de la Seine, de la Somme et de l'Aa et pour répondre aux questions légitimes posées par les riverains sur la qualité des produits de la pêche.

Des prélèvements spécifiques seront donc effectués dans le milieu marin et côtier à proximité de ces sites d'intérêt.

La réserve naturelle nationale de l'estuaire de la Seine (figure 18) est une zone humide de 10 000 ha comportant des milieux diversifiés, d'une grande richesse floristique (500 espèces répertoriées) et faunistique. Des activités économiques et de loisirs sont présentes au sein de la réserve. Les pêcheurs professionnels du Havre et de Honfleur pratiquent la pêche à la crevette grise et la crevette blanche. La chasse (gibier d'eau) est autorisée sur 30 % de sa surface (source : Réserves Naturelles de France).

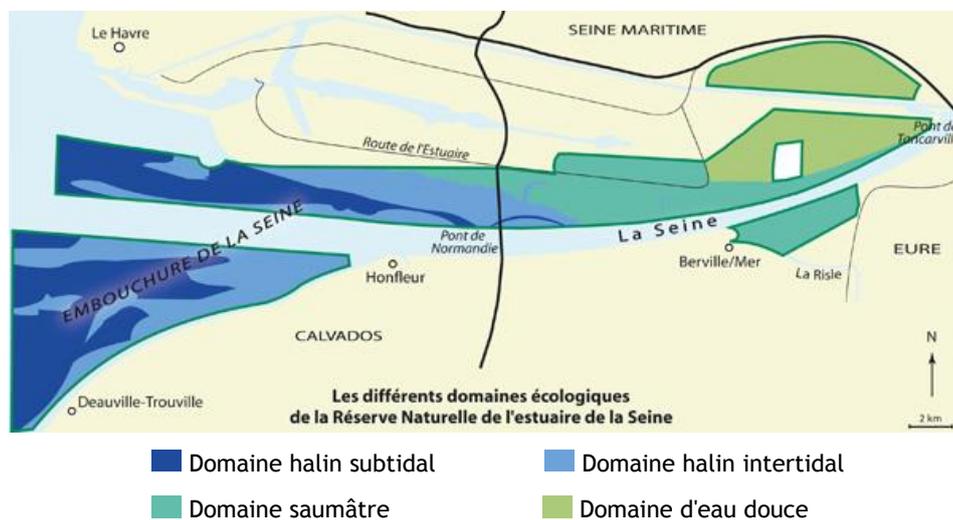


Figure 18 : Carte de la réserve naturelle nationale de l'estuaire de la Seine (source : Maison de l'Estuaire)

La Réserve naturelle nationale de la baie de Somme est située dans la plaine maritime Picarde et s'étend le long du littoral depuis la vallée de la Bresle au Sud, jusqu'à la vallée de l'Authie au Nord. L'intérêt écologique et économique de la baie tient à la productivité de la partie de l'estran (slikke) que recouvre la marée deux fois par jour. Dans les vastes étendues de sable et de vase vivent de nombreux mollusques, dont la Coque (*Cerastoderma edule*), pêchés par la population locale, en particulier celle du Crotoy (au nord de la baie). La flore est également exploitée à des fins alimentaires via la cueillette des salicornes (*Salicornia fragilis*) et de l'aster (*Aster tripolium*). L'exploitation de la salicorne, qui se développe dans les zones basses du schorre, a donné lieu à la création d'une zone de concession.

Le Marais audomarois est situé entre Calais, Saint-Omer et Dunkerque et s'étend sur une superficie de 3 726 ha. Il est alimenté par le bassin de l'Aa et traversé par le canal de navigation de Neuffossé. Il reste le seul marais encore cultivé de France, exploité sur 436 ha par une quarantaine de maraîchers. Certains habitats comme les phragmitaies constituent un bon habitat pour la bouvière (*Rhodeus sericeus*), la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*), l'anguille et le brochet (source : INPN, fiche descriptive sur les zones humides Ramsar).

5 CARACTERISTIQUES DE LA MANCHE ET DE LA MER DU NORD

5.1 HYDROGRAPHIE ET GEOMORPHOLOGIE

Il y a 20 000 ans, lors de la dernière période de glaciation (*glaciation de Würm*, Pléistocène), les océans étaient environ 100 mètres plus bas que le niveau actuel. Le bassin versant de la Manche était alors émergé. Au cours de cette période de bas niveau marin, la vallée fluviale de la Manche, peu profonde, était drainée par une rivière conséquente, bien plus large que les rivières que nous connaissons en Europe aujourd'hui. Ses affluents étaient la Seine, le Solent, la Somme, la Tamise, l'Escaut, la Meuse et le Rhin.

Le socle peu profond du lit de la Manche (en moyenne 54 mètres à l'époque actuelle) est incliné en douceur sur plus de 500 km, du détroit de Douvres à l'Est jusqu'à la marge océanique qui s'étire entre la Bretagne et la Cornouaille à l'ouest. La morphologie sédimentaire du plancher de la Manche prouve l'évidence de deux inondations catastrophiques survenues suite au drainage d'énormes lacs glaciaires dans la zone Sud de la mer du Nord (*Gibbard P., 2007*).

Les réseaux hydrographiques des vallées de la Seine et de la Somme, pour exemple, sont encore perceptibles sous la surface de l'eau jusqu'à leur confluence avec l'ancien lit de la Manche (*Gupta et al., 2007*).

Aujourd'hui, la Manche est soumise au déplacement des masses d'eaux marines influencées par l'onde de marée venant du courant du Gulf Stream à l'Ouest (*figure 19*). Cette onde de marée est torrentueuse quand des obstacles, pointes, îles, surgissent sur son parcours comme c'est le cas le long des côtes Normandes. En revanche, elle est plus paisible le long de la côte anglaise ou dans le milieu du canal, et s'arrête en des remous à la rencontre de l'onde qui vient apporter la haute mer dans la mer du Nord, sur les côtes d'Angleterre et dans les sables de Flandres et de la Hollande (*Houette, 1894*).

L'onde de marée met environ huit heures pour se propager de la Bretagne jusqu'à la frontière Belge. Le marnage est particulièrement important dans les baies et les portions concaves des côtes (9 m en baie de Somme ; 8 m à Boulogne-sur-Mer ; 5 m à Dunkerque).

Un modèle hydrodynamique (TRANSMER) développé par l'Ifremer et le Laboratoire Radioécologique de Cherbourg-Octeville de l'IRSN a été mis en place en 2001 afin d'étudier les trajectoires des courants résiduels en Manche en fonction de diverses conditions de marée et de météorologie. Ce modèle est destiné à la reconstitution ou la prévision réaliste de la dispersion de rejets chroniques ou accidentels de polluants solubles à partir de rejets de sources multiples, ponctuelles ou diffuses.

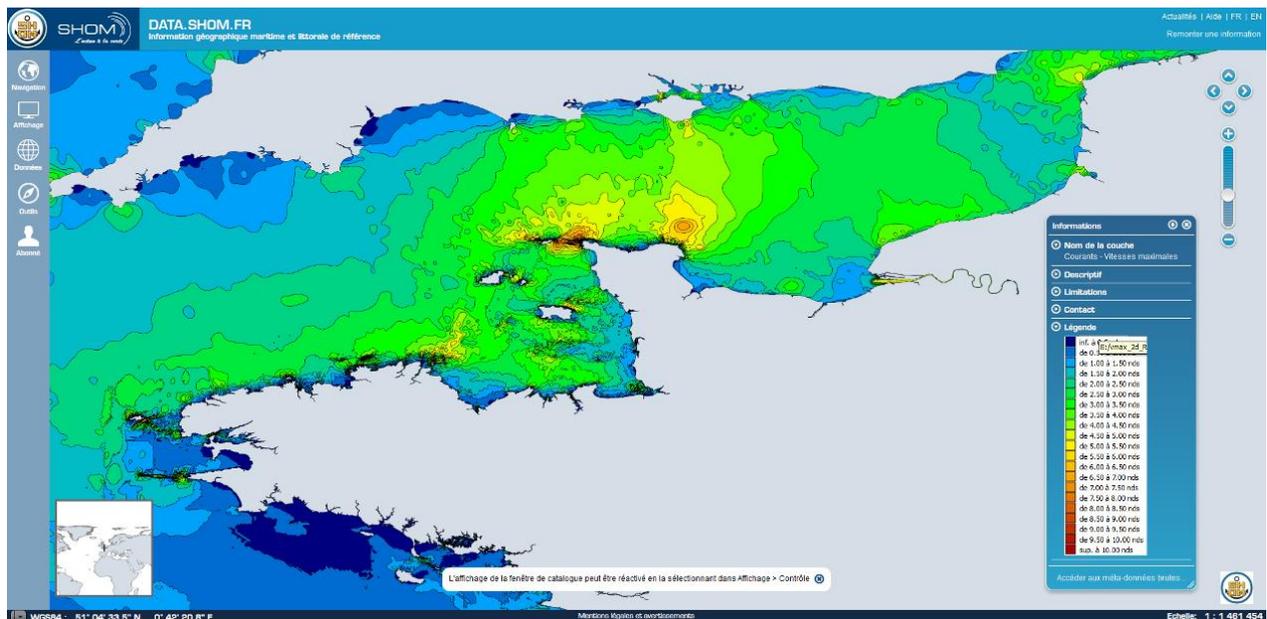


Figure 19 : Modélisation du courant de marée de surface dans la Manche pour deux coefficients de marée caractéristiques (45 et 95). Le port de référence est Brest (source : Base de données Data SHOM)

En Mer du Nord, les masses d’eaux proviennent de la contribution des eaux de la mer d’Irlande, de l’Atlantique, de la Manche et de la Baltique. En proportion, la moitié des eaux de la mer du Nord proviennent de l’Atlantique et pénètrent par les Iles Shetlands. Les côtes sud-est de la mer du Nord reçoivent les eaux de la Manche.

Au vu des suivis réalisés à l’aide de traceurs radiochimiques, le rejet d’un polluant dissous au centre de la Manche ne se dilue pratiquement pas entre le Pas de Calais et les côtes allemandes du golfe de Hambourg (Bailly du Bois P., 1988).

5.2 AIRES MARINES PROTEGEES

Les aires marines protégées (figure 20), sous la tutelle du ministère chargé de l’environnement, doivent permettre d’atteindre un bon état écologique du milieu marin et protéger des espèces et habitats sensibles. Elles doivent également permettre de pérenniser les activités dépendantes du milieu marin. Le comité des pêches et l’agence des aires marines protégées ont pour objectif d’accompagner les professionnels de la pêche, de la pisciculture marine et de la conchyliculture dans la valorisation et le développement des bonnes pratiques.

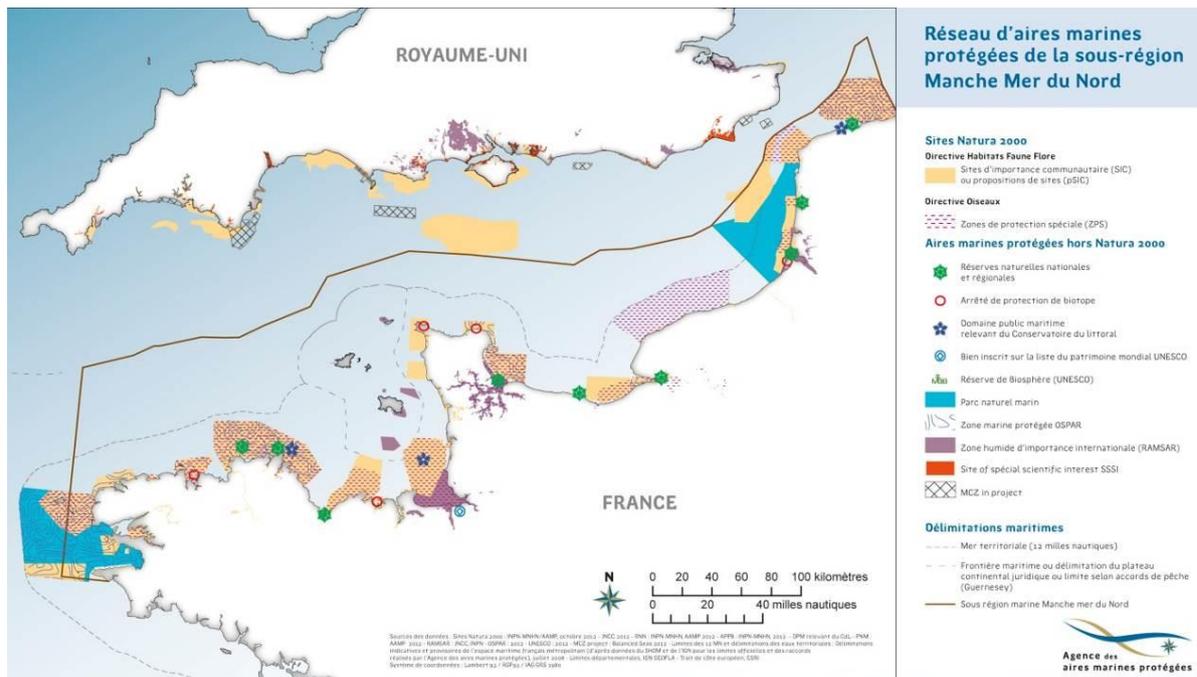


Figure 20 : Réseau d'aires marines protégées de la sous-région Manche - Mer du Nord

Dans le cadre de ce constat, une collaboration a été mise en place avec le comité des pêches et l'agence des aires marines protégées afin d'identifier les espèces d'intérêt patrimoniales et les lieux d'échantillonnages. Ces organismes participent au recensement des pratiques de pêche pour le milieu marin et disposent d'une parfaite connaissance du territoire local et de ses enjeux.

5.2.1 PARC NATUREL MARIN DES ESTUAIRES PICARDS ET DE LA MER D'OPALE

Le parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'opale est situé au large des départements de la Seine maritime, de la Somme et du Pas-de-Calais. Il englobe 118 km de côtes et couvre une surface de 2 300 km². Sa position géographique correspond à la section de la Manche où la marée est la plus haute et où les courants sont les plus accélérés. Ces paramètres physiques induisent une diversité importante des habitats sous-marins et des communautés d'espèces (cf. étude CHARM : *Channel Habitat Atlas for marine Resource Management*). C'est aussi une zone identifiée à enjeux forts sur le plan de la vulnérabilité (densité du trafic et risque maritime, risques de pollutions) et des pressions sur les ressources naturelles (dont granulats).

5.2.2 LE GOLFE NORMAND-BRETON

Le golfe normand-breton s'étend du cap de la Hague à la pointe de l'Arcoüest (nord de l'Anse de Paimpol). Le plateau qui le constitue est peu profond, les courants sont forts au niveau des pointes et autour des îles avec d'importantes zones d'interface terre-mer du fait d'un marnage important. Ainsi, il constitue une zone de production primaire majeure à l'échelle de la Manche Ouest où se pratiquent notamment la pêche professionnelle et la pêche de loisir.

5.3 ZONES SOUS INFLUENCE DES APPORTS DE LA SEINE

La Seine, dans sa partie aval, reçoit des sédiments provenant à la fois de son bassin versant et de la Manche par pompage tidal. Ce fleuve est marqué par les retombées atmosphériques anciennes mais également par les rejets liquides issus des différents centres industriels (CNPE de Nogent, industries des phosphates) et des centres de médecine nucléaire. L'apport de radionucléides du milieu marin au fleuve, dont la contribution est toujours minoritaire, est essentiellement marqué par les rejets de l'usine de traitement des combustibles usés de La Hague.

Une fois déversées dans la Manche, les eaux du fleuve sont essentiellement transportées le long de la côte Est puis se diluent peu à peu dans la masse d'eau marine comme en témoigne le gradient de salinité (figure 21). En fonction des marées et des vents, une partie des eaux du fleuve s'épand en baie de Seine. Cette étude se focalisera donc également sur le devenir des radionucléides présents dans les eaux côtières de part et d'autre de l'estuaire de la Seine.

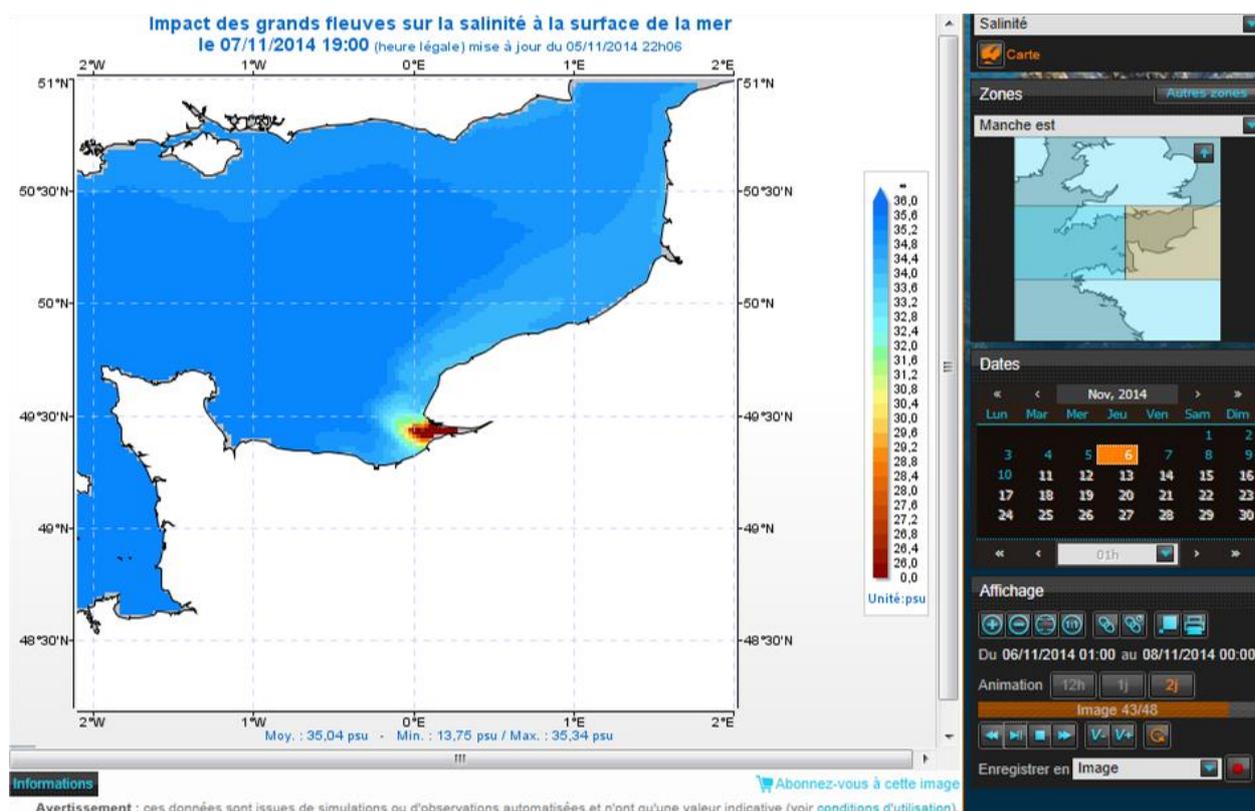


Figure 21 : Devenir des eaux de la Seine en Manche - Mer du Nord. Visualisation à partir de l'étude de la variation du gradient de salinité (site internet Prévimer - observations et prévisions côtières)

6 DONNEES ACQUISES DANS LE CADRE DES PROGRAMMES DE SURVEILLANCE ET DES ETUDES RADIOECOLOGIQUES

6.1 SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DU TERRITOIRE REALISEE PAR L'INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

La mission de surveillance radiologique de l'environnement est une mission permanente de l'IRSN, inscrite dans son décret de création n° 2002-254 du 22 février 2002, modifié le 7 avril 2007. Dans ce cadre, l'IRSN réalise une surveillance régulière autour des sites nucléaires, complémentaire de celle mise en place par les exploitants nucléaires, mais aussi une surveillance plus générale du territoire. En complément de cette mission fondamentale, l'IRSN contribue à l'évaluation de l'état radiologique de l'environnement :

- en réalisant des expertises au titre de l'appui technique fourni aux autorités compétentes ;
- en effectuant des études et des recherches sur la radioactivité de l'environnement.

L'IRSN acquiert régulièrement des données sur la radioactivité de l'environnement grâce aux études radioécologiques qu'il réalise soit à la demande d'exploitants nucléaires, des pouvoirs publics ou de représentants de la société civile (Commissions locales d'information – Cli, collectivités, associations...), soit dans le cadre de ses propres programmes de recherche. Ces données permettent à l'IRSN de consolider sa connaissance de l'état radiologique de l'environnement.

Le déploiement géographique de la surveillance radiologique par l'IRSN est réalisé selon une stratégie à trois échelles :

- À l'échelle locale, l'IRSN déploie des moyens de surveillance à proximité immédiate de chaque installation nucléaire. Ces réseaux permanents de stations de prélèvements et de mesures ont un rôle de sentinelle. Le déploiement géographique et le choix des équipements de l'IRSN vise une complémentarité avec les dispositifs de surveillance des exploitants nucléaires tout en permettant d'acquérir des données de manière autonome. Les mesures effectuées ont également pour objectif de disposer d'un nombre suffisant de données exploitables en expertise de crise.
- À l'échelle régionale, l'Institut mène des études depuis 2009 qui ont pour objectif d'établir, sur un territoire étendu, un référentiel actualisé des niveaux de radioactivité dans certains compartiments de l'environnement, en particulier dans les productions agricoles et d'élevages caractéristiques du territoire concerné. Ces constats radiologiques prennent en compte la localisation des installations nucléaires, en distinguant les zones potentiellement influencées des zones éloignées pouvant être considérées comme non influencées par les installations en fonctionnement normal.
- À l'échelle nationale, le dispositif de surveillance est complété afin d'assurer une couverture homogène du territoire. C'est notamment le cas avec les sondes du réseau Téléray implantées a minima dans chaque département. La surveillance par prélèvement effectuée à cette échelle (denrées alimentaires notamment), grâce à la contribution des correspondants locaux, permet d'entretenir en permanence des réseaux de veille mobilisables en cas de crise radiologique.

Pour assurer sa mission de surveillance, l'IRSN déploie un réseau matériel de moyens de mesure et de prélèvement. Pour accueillir ses stations de mesure de prélèvement automatisé (hydrocollecteur) ou réaliser des prélèvements, l'Institut s'appuie sur un réseau relationnel dense, professionnalisé et implanté sur l'ensemble du territoire national. Parmi les acteurs impliqués dans la surveillance de l'environnement réalisée par l'IRSN figurent notamment les principaux exploitants des sites nucléaires français, des organismes institutionnels ou étatiques ainsi que des forces armées. Ce réseau permet de garantir l'efficacité d'une surveillance réactive et adaptable en cas de crise radiologique.

Les résultats sont publiés dans les bilans radiologiques de l'environnement français et disponibles sur le portail environnement Internet de l'IRSN (accessible via <http://www.irsn.fr>) ou encore sur le portail du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) (<http://www.mesure-radioactivite.fr>) dont l'IRSN assure la gestion et l'exploitation des données.

6.2 SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS EFFECTUEE PAR LES EXPLOITANTS NUCLEAIRES

Les exploitants d'installations nucléaires ont la responsabilité d'assurer le contrôle des effluents rejetés par leurs installations ainsi que de l'environnement à la périphérie des sites nucléaires et à l'intérieur des sites. D'une manière générale, cette surveillance est encadrée par des prescriptions réglementaires fixées dans les autorisations de rejets, qui imposent la réalisation, par les exploitants, d'un programme de surveillance régulière de l'environnement de leurs sites (surveillance dite « réglementaire »). Les mesures de radioactivité des échantillons prélevés dans ce cadre doivent être réalisées par des laboratoires agréés.

L'ensemble de ce dispositif de surveillance placé sous la responsabilité de l'exploitant nucléaire constitue la source principale de production de résultats de mesures permettant de connaître régulièrement l'état radiologique à l'intérieur des sites nucléaires et dans les quelques kilomètres autour de ces sites. Les exploitants d'installations nucléaires disposent de laboratoires spécialisés dans la surveillance radiologique, qui prélèvent et analysent des échantillons d'origines atmosphérique, terrestre et aquatique.

Aux mesures et contrôles pratiqués au quotidien dans le cadre de cette surveillance, s'ajoutent des mesures saisonnières dont la finalité est de suivre certains paramètres pertinents (indicateurs) afin d'évaluer dans la durée l'impact du fonctionnement de l'installation nucléaire sur l'environnement. Ce suivi porte sur la radioactivité des écosystèmes terrestre et aquatique (radioécologie) et sur la biologie du milieu aquatique (hydroécologie). Ces campagnes de mesures prescrites par la réglementation sont mises en œuvre, sous la responsabilité de l'exploitant, par des organismes ou laboratoires externes.

Certains sites nucléaires font par ailleurs l'objet d'études radioécologiques complémentaires confiées par les exploitants à des laboratoires extérieurs reconnus pour leurs compétences dans ce domaine. A titre d'exemple, depuis 1992, un suivi radioécologique annuel est réalisé sur chaque CNPE. Ces études sont en outre complétées par un bilan décennal de l'état radioécologique des écosystèmes (*source* : rapport IRSN PRP-ENV/SESURE/2013-05).

Dans le périmètre d'étude du constat radiologique Nord - Normandie, les données radiologiques environnementales disponibles (notamment dans la base de données du RNM) concernent les programmes de surveillance et les études relatives aux installations suivantes :

- CNPE EDF de Flamanville, Penly, Paluel et Gravelines ;
- installations industrielles d'AREVA NC et de l'Andra situées à La Hague ;
- base navale de la Marine Nationale à Cherbourg ;
- site industriel de la SOMANU à Maubeuge.

6.3 OBSERVATOIRE CITOYEN DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT DE L'ACRO

L'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest (ACRO) est une association de protection de l'environnement, agréée loi 1901, dotée d'un laboratoire d'analyses de la radioactivité. Elle fut créée en 1986 en réponse à une demande d'informations et de mesures fiables et indépendantes.

Dotée d'un laboratoire de mesure de la radioactivité dans l'environnement, des travaux d'études et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement sont menés à sa propre initiative ou bien pour répondre à la demande de collectivités territoriales, commissions locales d'informations (CLI) et d'associations. Dans ce contexte, l'ACRO anime au quotidien l'Observatoire Citoyen de la Radioactivité dans l'Environnement, lequel implique les riverains des installations nucléaires aux côtés du laboratoire dans une surveillance active des niveaux de la radioactivité autour de chez eux. Les résultats sont publiés sur le site internet de l'ACRO. Certains sont également transmis au Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement.

6.4 LE RESEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT

Le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM), créé en 2002 dans le cadre de la retranscription en droit français de la directive 96/29, a pour mission de contribuer à l'estimation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée et à l'information du public. Pour atteindre cet objectif, le RNM rassemble et met à la disposition du public des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement et des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée.

Conformément à l'article 1333-11 du code de la santé publique, les résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement regroupés au sein du RNM sont ceux obtenus :

- dans le cadre de la mise en œuvre de dispositions législatives ou réglementaires contribuant à l'évaluation des doses auxquelles la population est exposée, en particulier les résultats de la surveillance de l'impact des activités nucléaires sur l'environnement : les exploitants nucléaires qui effectuent des mesures de radioactivité de l'environnement en vertu de dispositions législatives ou réglementaires sont donc tenus de faire réaliser ces mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN et d'en transmettre les résultats pour diffusion sur le site Internet du RNM ;
- par l'ASN, les collectivités territoriales, les services de l'État ou les établissements publics qui font effectuer des mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN ;
- par toute association ou tout autre organisme privé qui fait effectuer des mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN dès lors que la transmission des résultats au RNM est demandée par l'organisme détenteur de ces résultats.

Ces résultats alimentent depuis 2009 la base centrale du RNM qui a déjà réceptionné près de 1 500 000 résultats de mesures (chiffre au 15 novembre 2014) depuis sa mise en service en janvier 2009, avec une fréquence d'actualisation importante (en moyenne 18 000 mesures sont ajoutées chaque mois). Cette base de données est exploitable par un système d'information qui permet de restituer l'ensemble des informations au public et aux experts, notamment grâce à un portail Internet cartographique (figure 22) : www.mesure-radioactivite.fr.

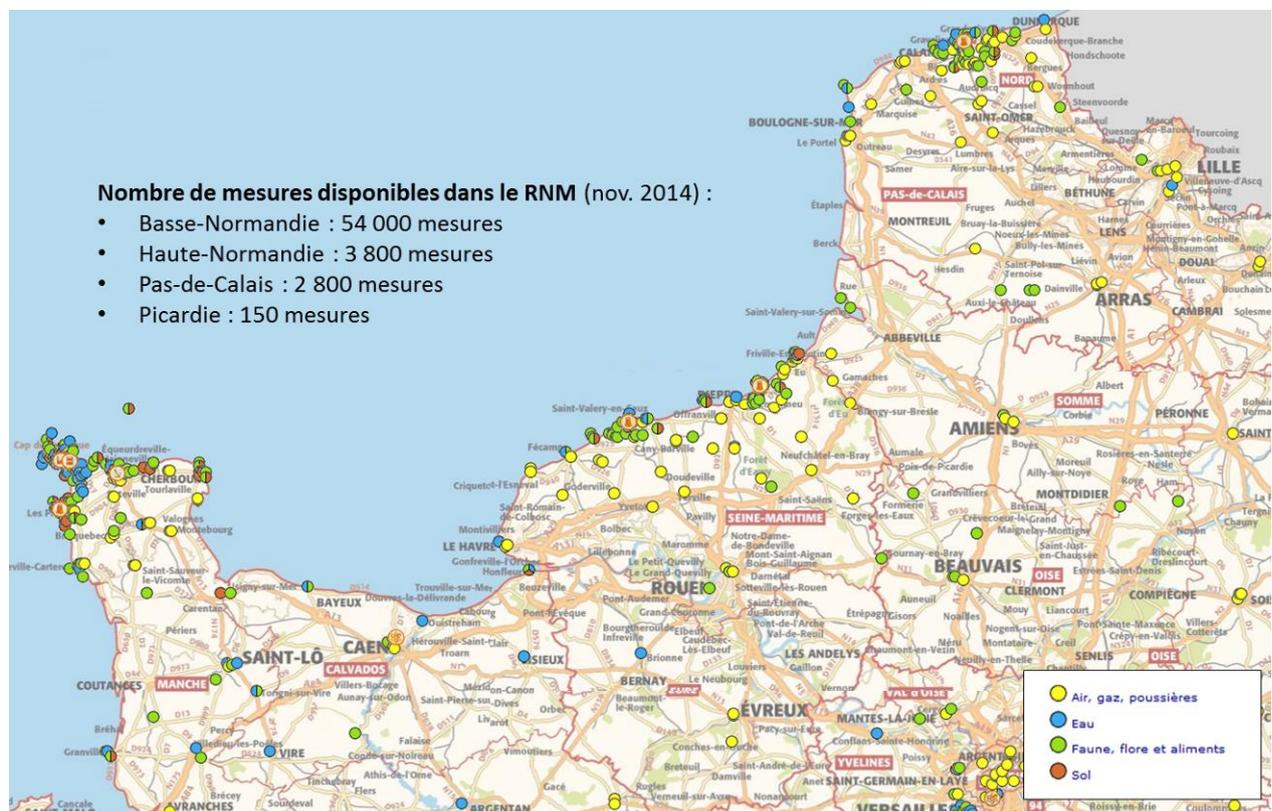


Figure 22 : Mesures disponibles dans la base RNM pour cette étude (carte du site internet RNM)

7 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LE MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

7.1 STRATEGIE D'ACQUISITION DES DONNEES

L'acquisition de nouvelles données dans le compartiment aquatique continental a pour but d'actualiser la connaissance des niveaux d'activité dans les différentes matrices et également de combler des lacunes pour certaines rivières françaises rarement voire jamais étudiées auparavant. La stratégie d'échantillonnage et de mesure est ciblée sur les matrices susceptibles d'être les plus marquées par les radionucléides recherchés en fonction des installations et des sites d'échantillonnage.

L'iode 131 est utilisé par les centres de médecine nucléaire pour l'exploration fonctionnelle de la thyroïde et le traitement de certains cancers thyroïdiens. Ce radionucléide sera analysé dans les échantillons d'eau et des végétaux aquatiques prélevés en aval des stations d'épuration des grandes agglomérations comportant ce type d'installation médicale. La période radioactive de l'¹³¹I étant de 8 jours, ces échantillons seront préparés sur le terrain le jour même du prélèvement et transmis rapidement pour être analysés par spectrométrie gamma au laboratoire.

En dehors de cet enjeu, la quantification des radionucléides artificiels de longues périodes radioactives subsistant dans l'environnement est essentielle dans le cadre des constats. Parmi ces éléments, le tritium, d'origine naturelle et artificielle (essais nucléaires, centres liés à la Défense, CNPE, traitement de combustibles usés), suit le cycle de l'eau et s'incorpore donc à l'eau et à la matière organique de tous les organismes vivants. Ce radionucléide sera systématiquement analysé sous sa forme libre (HTO) dans les échantillons d'eaux de chaque station de prélèvement. Le tritium organiquement lié (TOL) sera recherché dans les échantillons biologiques prélevés en aval des confluences des principaux cours d'eau de la zone d'étude. L'avantage des analyses du TOL par rapport au tritium libre (HTO) tient au fait qu'il fournit une information sur le niveau moyen de tritium ambiant sur toute la période de formation de la matière organique.

Le carbone 14 a une origine naturelle mais provient aussi des retombées anciennes et des rejets des installations nucléaires (CNPE, Areva La Hague). Hors de l'influence directe d'une installation, les niveaux sont fortement influencés par la teneur en carbonates du milieu (les rivières du constat Nord Normandie s'écoulent sur des roches crayeuses riches en CaCO₃). Les mesures de ¹⁴C auront donc pour objectif d'établir les niveaux de référence dans ces rivières et de mettre en évidence d'éventuels apports anthropiques en aval des sites industriels.

Ponctuellement, des mesures des isotopes du plutonium et d'américium 241 par spectrométrie alpha, ainsi que des mesures de strontium 90 seront réalisées dans les sédiments de surface en aval des grands fleuves (La Somme, l'Oise, la Seine, l'Aa ainsi que dans la rivière de la Divette située dans le Cotentin). La présence de ces radionucléides est presque exclusivement liée aux dépôts des particules dus aux essais atmosphériques nucléaires effectués entre 1950 et 1980.

Sur l'ensemble des bassins versants, des mesures par spectrométrie gamma seront systématiquement effectuées sur les échantillons biologiques prélevés (végétaux) et les sédiments.

7.2 MESURES DE TERRAIN

L'acquisition des paramètres physico-chimiques de terrain (pH, température, conductivité) sera effectuée pour chaque station de prélèvement. L'interprétation de ces paramètres fournira des indications pertinentes sur la répartition des éléments chimiques en phase dissoute et en phase particulaire.

Pour chaque station, les caractéristiques physiques des fleuves et des rivières (largeur du lit, nature des berges, nature du substrat du lit (si cela est visible), sinuosités, obstacles à l'écoulement) seront enregistrées. Ces critères géomorphologiques, associés au débit, sont importants pour l'interprétation des résultats et les comparaisons entre rivières (flux de sédiments, rétention des radionucléides).

En fonction des résultats des analyses réalisées sur les prélèvements, des campagnes de mesures in situ à l'aide des nouvelles sondes de spectrométrie de l'IRSN (*figure 23*) seront éventuellement mises en œuvre en amont et en aval des principales agglomérations du périmètre d'étude du constat radiologique Nord - Normandie. Ce dispositif peut permettre de mesurer des radionucléides à vie courte (iode 131 et technétium 99m) difficilement voire impossible à mesurer (cas du ^{99m}Tc) via des prélèvements et des mesures différées en laboratoire.



Figure 23 : Exemple de sonde de spectrométrie gamma (nouvelle génération) de l'IRSN pouvant être utilisées dans l'environnement atmosphérique, terrestre et aquatique

7.3 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

7.3.1 EAU ET MATIÈRES EN SUSPENSION

Les eaux peuvent transporter des radionucléides sur de longues distances à partir des rejets liquides des installations et des apports éventuels liés aux eaux de ruissellement. Des prélèvements de 250 ml seront effectués sur chaque station afin d'acquérir des mesures de tritium sur l'ensemble de la zone d'étude. Des prélèvements seront également effectués en aval des STEP des grandes agglomérations afin de quantifier l'apport d'Iode 131 au milieu aquatique. Les mesures réalisées sur les MES issues des hydrocollecteurs et des bacs de décantation, acquises dans le cadre de la surveillance régulière, seront exploitées pour cette étude.

7.3.2 SEDIMENTS

Les sédiments sont de bons intégrateurs de la radioactivité présente dans l'eau. Ils constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption. Ils participent à la contamination des berges et des terres cultivées au cours des épisodes de crues. Des prélèvements de sédiments seront effectués sur chacune des stations des cours d'eau du constat. Des analyses de radium 226, thorium 232 et uranium 238 seront effectuées sur des sédiments prélevés en aval des industries et stockage de phosphogypses afin de caractériser leur éventuel impact dans l'environnement aquatique. Des mesures d'uranium seront également effectuées sur les sédiments des principaux cours d'eau du territoire Nord - Normandie.

7.3.3 BIOINDICATEURS

Les bioindicateurs sont des espèces animales ou végétales dont les préférences ou exigences écologiques en font des témoins précoces des variations des facteurs abiotiques ou biotiques intervenant dans leur environnement.

7.3.3.1 Végétaux aquatiques

Les végétaux sont répartis en deux types : les cryptogames dont les organes reproducteurs sont peu apparents (algues, bryophytes) et les phanérogames. Dans les phanérogames aquatiques, on distingue les hydrophytes (callitriches, potamots, renoncules aquatiques) et les héliophytes (iris, roseaux, massettes) (*figure 24*).

Les bryophytes sont fréquentes dans les lieux ombragés, sur les supports lisses et sur les galets des radiers qu'ils peuvent tapisser. Dans les cours d'eau de la Seine aval et de l'Artois-Picardie, les principaux représentants appartiennent aux genres *Fontinalis*, *Amblystegium*, *Brachyctectum* et *Cinclidotus*. Ce sont de bons indicateurs de contamination. Les phanérogames constituent les herbiers, favorisés en période estivale. Pendant l'étiage, le débit diminue ainsi que la hauteur d'eau. Les héliophytes et hydrophytes colonisent les banquettes limoneuses. Les tiges et les feuilles immergées ralentissent le courant, provoquant le dépôt de sédiments fins supplémentaires.

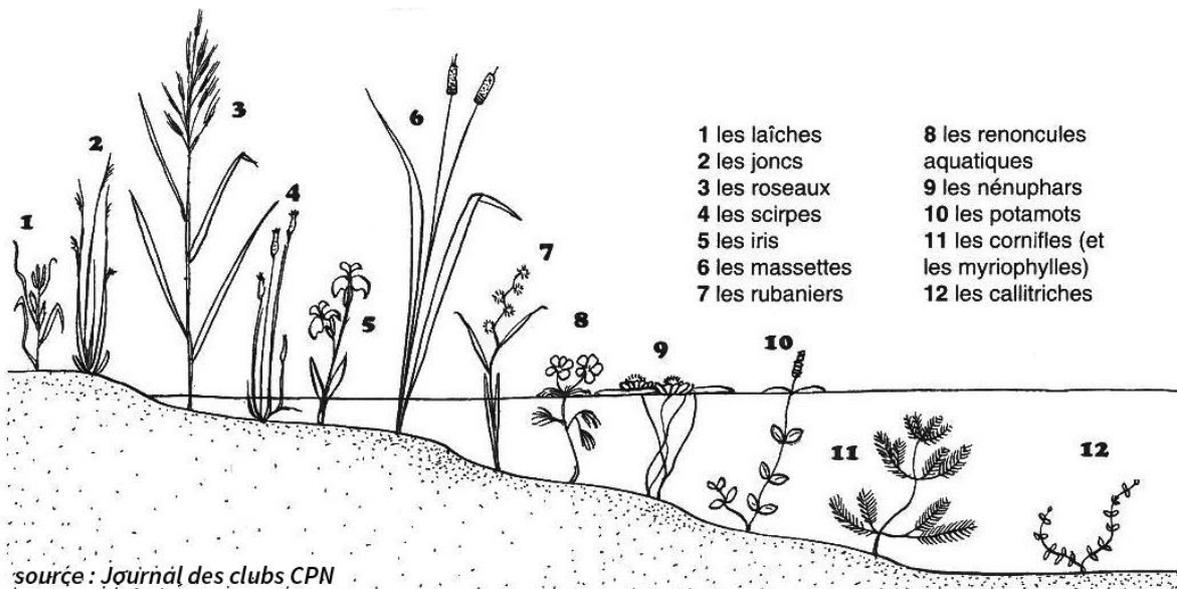


Figure 24 : Profil des communautés d'espèces végétales aquatiques susceptibles d'être échantillonnées lors des campagnes de prélèvement en rivière

Les espèces peuvent différer d'un site à l'autre. Cependant l'objectif consiste à prélever des végétaux qui poussent dans des habitats similaires pour permettre une meilleure comparaison des résultats obtenus en amont et en aval. Des plantes invasives telles que la Jussie (*Ludwigia*) et l'Elodée crépue (*Lagrosiphon major*) peuvent également se substituer aux prélèvements d'hydrophytes classiques.

7.3.3.2 Poissons

Leur position en fin de chaîne alimentaire en fait de bons intégrateurs des radionucléides qui peuvent être transférés directement par l'eau ou indirectement par la nourriture. L'analyse des poissons fournit directement une indication de l'état de contamination d'une denrée alimentaire et donc de l'exposition potentielle d'une population humaine.

Toutefois, outre la difficulté de la capture, les inconvénients des poissons sont d'une part leur mobilité, et d'autre part la zonation écologique selon les espèces. Il est préférable de choisir des espèces peu mobiles, indicateurs d'une contamination chronique d'un site.

Une collaboration avec la délégation inter-régionale Nord-Ouest de l'ONEMA a été mise en place. L'ONEMA effectue chaque année des suivis scientifiques afin d'estimer l'évolution de la structure des communautés et des populations piscicoles. Une partie des cours d'eau étant suivie bi-annuellement en fonction des années paires et impaires, certaines rivières ne feront pas l'objet d'une campagne d'échantillonnage en 2015. L'objectif visé par l'IRSN est d'obtenir un lot de poissons sur les principaux cours d'eau de la zone d'étude. Des analyses par spectrométrie gamma, de tritium et de carbone 14 seront réalisées sur ces échantillons si les quantités prélevées le permettent.

7.3.4 SYNTHÈSE DE LA STRATÉGIE POUR LE MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

Trente-deux stations de prélèvements (*figure 25*) ont été présélectionnées sur l'ensemble des bassins versants hydrographiques inclus dans cette étude.

Afin d'identifier un marquage éventuel lié aux activités de chacune des installations (INB, industries, STEP en aval des grandes agglomérations, etc.), des stations situées à l'amont des rejets (dites « zones non influencées ») et des stations en aval (dites « zones influencées ») ont été choisies.

La distribution spatiale des prélèvements d'échantillons prend en considération :

- les points de rejet des installations (industries, stations d'épurations), qu'ils soient directs ou par l'intermédiaire d'un affluent ;
- l'augmentation de débit après une confluence provoquant une dilution des radionucléides ;
- l'accessibilité au site pour la réalisation des prélèvements.

Ce plan d'analyse intègre prioritairement des prélèvements d'eau, de sédiments et de végétaux aquatiques (*figure 25* et *tableau 11*). Des prélèvements de poissons seront également réalisés dans les principaux fleuves et rivières du territoire Nord - Normandie (*figure 25* et *tableau 10*).

Tableau 10 : Plan prévisionnel de prélèvements et de mesures sur les poissons du volet aquatique continental (stations de l'ONEMA)

Bassins versants	Nom attribué	Commune	Influence potentielle (ZNI, CMN, INB)*	Spectrométrie gamma	Tritium TOL	Carbone 14
Basse-Normandie	Orne	Clinchamps-sur-Orne	CMN	x		
Cotentin	Saire	Brillevast	INB	x	x	x
	Douve	Picauville	ZNI	x		
Côtiers haut-normands	Durdent	Paluel	INB	x	x	x
	Scie	Heugleville-sur-Scie	INB	x	x	x
Côtiers picards et boulonnais	Somme	Bray-sur-Somme	CMN	x		
Versants mer du Nord et transfrontaliers	Deûle canal	Don	CMN	x	x	x
	Aa	Verchocq	ZNI	x		
Oise	Oise	Beaumont-sur-Oise	CMN	x		
Seine à l'aval de Paris et Risle	Seine	Poses	CMN	x	x	x
	Risle	Ambenay	ZNI	x		
	Eure	Lèves	CMN	x		
Nombre d'analyses				12	5	5

* CMN : station de prélèvement sous influence potentielle des rejets issus des centres de médecine nucléaire

INB : station de prélèvement sous influence potentielle des rejets issus d'installations nucléaires

ZNI : station de prélèvement potentiellement non influencée par des rejets anthropiques

Tableau 11 : Plan prévisionnel de prélèvements et de mesures sur le volet aquatique continental
(E : eau, S : sédiment, V : végétaux aquatiques)

Bassins versants	Nom attribué	Code station	Influence potentielle (ZNI, CMN, INB)	Spectrométrie gamma	Iode 131 (mesures rapides)	Tritium libre	Tritium TOL	Carbone 14	Strontium 90	Radium 226	Thorium 232	Pu / Am	U isotopique
Basse-Normandie	Orne	R-BN-1	ZNI	SV		E							
	Caen	R-BN-2	CMN	SV	EV	E			SV				
	Avranches	R-CT-1	CMN	SV	EV	E	V						
Cotentin	Cherbourg	R-CT-2	INB	SV		E	V	V	SV			S	S
	Flamanville	R-CT-3	INB	SV		E	V	V					
	Paluel	R-CN-1	INB	SV		E	V	V					
Côtiers haut-normands	Arques	R-CN-2	INB	SV		E		V					
	Yères	R-CN-3	INB	SV		E	V	V					
	St-Quentin	R-CP-1	CMN	SV	EV	E							
Côtiers picards et bouloonnais	Amiens	R-CP-2	CMN	SV	EV	E	V		SV			S	S
	Béthune	R-VN-1	CMN	SV	EV	E							
	Lille 1	R-VN-2	ZNI	SV		E							
Versants mer du Nord et transfrontaliers	Lille 2	R-VN-3	CMN	SV	EV	E			SV				
	Lys	R-VN-4	CMN	SV	EV	E	V						
	Valenciennes	R-VN-5	CMN	SV	EV	E	V						
	Sambre	R-VN-6	ZNI	SV		E							
	Flamenne	R-VN-7	ZI	S		E				S	S		S
	Maubeuge	R-VN-8	CMN + INB	SV	EV	E	V		SV				
	Audomarais	R-VN-9	ZNI	SV		E	V		SV			S	S
	Calais	R-VN-10	ZI	S		E				ES	ES		ES
	Arras	R-VN-11	CMN	SV	EV	E							
	Soissons	R-AN-1	CMN	SV	EV	E							
Oise	Oise amont	R-OS-1	ZNI	SV		E							
	Compiègne	R-OS-2	CMN	SV	EV	E							
	Beauvais	R-OS-3	CMN	SV	EV	E							
	Oise aval	R-OS-4	CMN	SV	EV	E	V		SV			S	S
	Eure	R-SA-1	ZNI	SV		E							
	Chartres	R-SA-2	CMN	SV	EV	E							
Seine à l'Aval de Paris et Risle	Rouen 1	R-SA-3	ZNI	SV		E							
	Rouen 2	R-SA-4	CMN et ZI	SV	EV	E	V		SV	S	S	S	S
	Risle	R-SA-5	ZI	SV		E				S	S		S
	Le Havre	R-SA-6	ZI	S						S	S		S
Nombre d'analyses				61	32	31	13	5	16	6	6	5	10

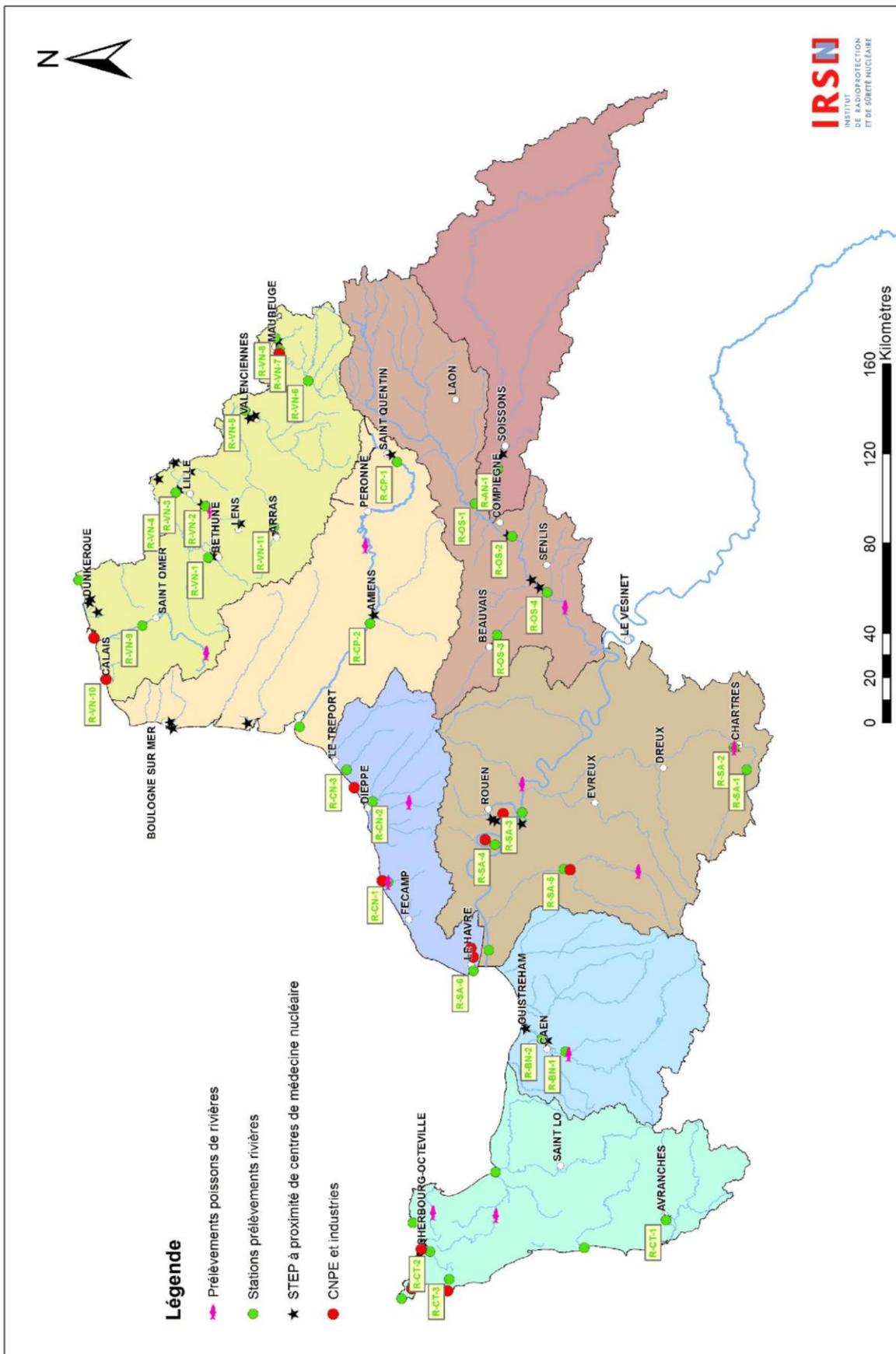


Figure 25 : Stations de prélèvement présélectionnées pour le volet aquatique continental

8 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE DU MILIEU MARIN CÔTIER ET OFFSHORE

8.1 STRATEGIE D'ACQUISITION DES DONNEES

Dans le cadre de ses missions, l'IRSN réalise une surveillance régulière du milieu marin et du littoral à partir de différentes stations côtières. Ces stations encadrent les quatre CNPE français implantés sur le littoral Manche - Mer du Nord (Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines) ainsi que l'usine de traitement du combustible usé de La Hague.

Les deux tiers des stations de prélèvements de l'IRSN encadrent la pointe du Cotentin car la majorité des radionucléides artificiels observés dans le milieu aquatique marin de la Manche provient des rejets liquides de l'usine de La Hague. Les mesures et les modélisations de dispersion des radionucléides rejetés dans le milieu marin montrent que ces rejets sont perceptibles jusqu'en mer du Nord. Une partie de ces rejets se propage également à l'ouest sans pour autant dépasser la station de Roscoff en Bretagne. Dans cette étude, la station de Roscoff sera donc considérée comme une zone « amont » non influencée.

La capacité de dilution du milieu marin étant plus importante que celle du milieu aquatique continental, la surveillance du littoral est orientée davantage vers des bioindicateurs (algues, mollusques, crustacés, poissons) qui concentrent les polluants et permettent ainsi de mieux rendre compte de l'état du milieu que certaines mesures directes dans l'eau de mer.

A travers cette étude, notre objectif consiste à compléter les résultats obtenus dans le cadre de la surveillance régulière par quelques points stratégiques sur le littoral, en se focalisant sur tous les radionucléides présents et quantifiables dans l'environnement, et notamment les radionucléides artificiels. Par ailleurs, un suivi plus approfondi sur les ressources halieutiques (zone offshore) sera développé afin d'améliorer la connaissance des radionucléides dans l'environnement marin en Manche et en Mer du Nord.

Les rejets liquides de l'usine de La Hague (*cf. tableau 6*) et des installations nucléaires sont dominés par le tritium et le carbone 14. Pour l'année 2012, 11 721 TBq de tritium et 7,64 TBq de carbone 14 ont été rejetés dans la Manche¹.

⁽¹⁾ Ces valeurs prennent en compte les données de l'usine AREVA La Hague, des CNPE de Flamanville, Penly et Paluel ainsi que de la contribution du site de Sellafield à hauteur de 11% (apport de la mer d'Irlande par l'ouest de la Manche ; modèle TRANSMER IFREMER / IRSN).

Les analyses de tritium libre (HTO) seront effectuées dans les échantillons d'eau de mer tandis que les analyses de tritium organiquement lié (TOL) seront réalisées dans les échantillons d'algues et de poissons. Pour le carbone 14, les analyses sont effectuées dans l'ensemble des bioindicateurs.

Le polonium 210 représente la source majeure d'irradiation interne d'origine naturelle des organismes marins. Il est responsable pour une part importante des doses reçues par les êtres humains du fait de la consommation de produits de la mer.

Son origine est d'abord naturelle (par décroissance du plomb 210) où, fixé sur les aérosols, il retombe à la surface de la terre puis est lessivé jusqu'au compartiment marin ; mais aussi anthropique (présence de descendants du radium 226 dans les déchets de phosphogypse) voire même artificielle (produit dans les réacteurs nucléaires par bombardement neutronique du bismuth 209). Ce radionucléide sera donc recherché dans quelques échantillons biologiques.

En milieu marin, les isotopes du plutonium et de l'américium rejetés par l'usine Areva - La Hague se retrouvent dans les sédiments (fraction fine) et les algues. Les activités mesurées dans les animaux diminuent en remontant la chaîne trophique (activités les plus faibles chez les poissons). Les mollusques filtreurs sont davantage exposés en raison de la remobilisation de ces radionucléides à partir des sédiments dans l'eau de mer. L'ensemble de ces matrices feront donc l'objet de mesures des isotopes du plutonium et de l'américium dans le cadre de cette étude.

L'uranium provient initialement des roches du sous-sol. Son analyse dans le milieu marin a pour objectif d'acquies des données en Manche - Mer du Nord, et sur certains points de vérifier si le bruit de fond naturel n'est pas perturbé par certaines activités industrielles telles que la production et l'utilisation des engrais phosphatés. Des analyses seront effectuées sur les sédiments marins.

Le strontium est un analogue du calcium et rentre dans la constitution des organismes vivants. La présence de strontium 90 dans l'environnement est liée aux retombées des essais atmosphériques ainsi qu'aux rejets de l'usine de traitement des combustibles usés de La Hague. Ce radionucléide sera mesuré dans les sédiments (mélange de sédiments fins et de débris coquilliers) et les matrices biologiques tels que mollusques et poissons.

Parmi les radionucléides émetteurs gamma, les mesures s'intéresseront essentiellement à ceux rejetés par les CNPE (cobalt 58, cobalt 60, argent 110 métastable, antimoine 124) et plus spécifiques liés au fonctionnement de l'usine Areva de La Hague (ruthénium 106, antimoine 125, iode 129, césium 137, cérium 144).

8.2 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU MARIN CÔTIER

8.2.1 EAU DE MER

Dans le cadre du plan de surveillance régulier de l'IRSN, des prélèvements de 120 litres d'eau de mer sont périodiquement effectués à Roscoff (pointe nord de la Bretagne), au Port de Goury (pointe du Cotentin) et à Wimereux (proximité du Cap Gris-Nez) pour le littoral Manche - Mer du Nord. Ces prélèvements, effectués par pompage, permettent de mesurer de façon significative dans le compartiment aquatique marin le tritium libre HTO, les césiums 134 et 137, voire d'autres radionucléides émetteurs gamma (méthode de concentration des radionucléides par coprécipitation).

Les résultats obtenus à Roscoff et Wimereux sont habituellement légèrement inférieurs à ceux de la station de Goury située sous influence directe des rejets de l'usine de traitement de combustible usé de La Hague. A ces trois stations de prélèvements et suite au lancement de cette étude, une quatrième sera intégrée en 2015 au plan de surveillance régulier de l'IRSN. Cette station est située au Tréport.

8.2.2 SEDIMENTS

Les sédiments, ramenés par les courants sur le cordon littoral, témoignent d'origines diverses (apports des fleuves et remobilisation des sédiments du plateau continental). Des prélèvements de sédiments marins côtiers (sable et vase) sont réalisés dans le cadre du plan de surveillance régulier (*figure 26* - Points jaunes). En complément, des prélèvements seront effectués sur la côte ouest du Cotentin, dans la baie des Veys, au niveau du Havre (zone portuaire et plage) ainsi qu'au niveau des estuaires de la côte Picarde (*figure 30* - *tableau 11*).

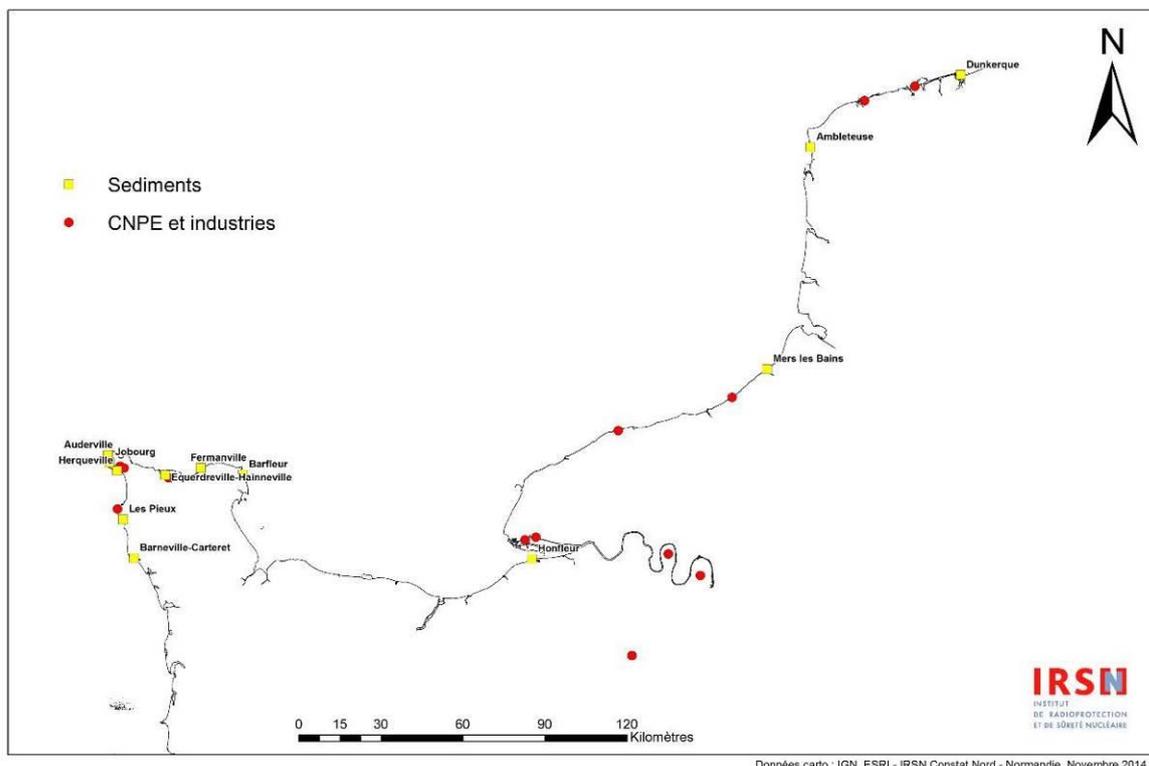
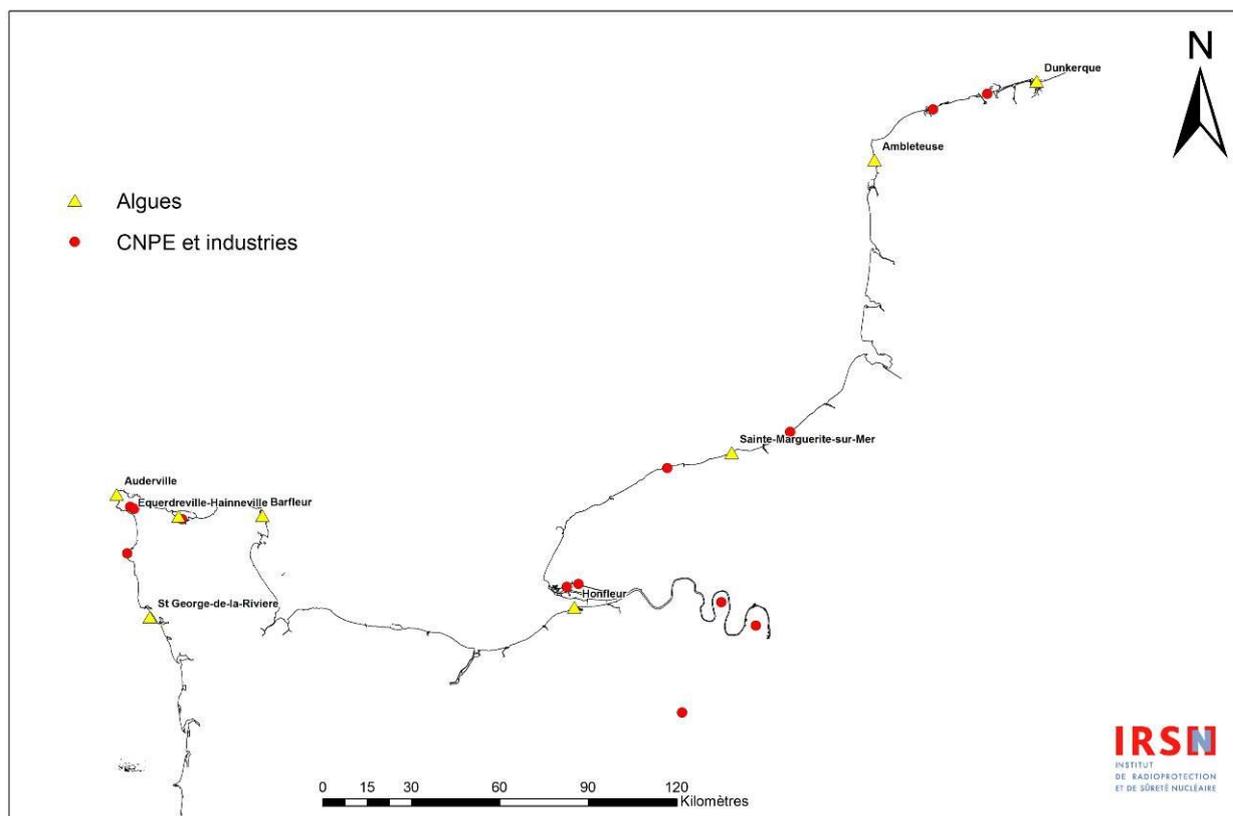


Figure 26 : Stations de prélèvements de sédiments dans le cadre du plan de surveillance régulière de l'IRSN

8.2.3 BIOINDICATEURS

8.2.3.1 Les algues

Les algues réagissent rapidement à des variations de la teneur en radionucléide de l'eau. L'algue brune *Fucus serratus* est une espèce abondante, ubiquiste, facile à prélever sur le littoral Manche - Mer du Nord. Des prélèvements complémentaires à ceux réalisés dans le cadre de la surveillance régulière (*figure 27*) seront ajoutés dans le cadre de cette étude afin d'établir un transect complet entre le Cotentin et la Mer du Nord (*figure 30 - tableau 11*).



Données carto : IGN, ESRI - IRSN Constat Nord - Normandie, Novembre 2014

Figure 27 : Stations de prélèvements d'algues dans le cadre du plan de surveillance régulière de l'IRSN

8.2.3.2 Les mollusques

Les mollusques filtreurs ont la propriété de concentrer certaines molécules présentes dans l'environnement aquatique. La moule ayant un habitat très diversifié et un mode de vie sédentaire (elle se retrouve dans des milieux très à faiblement salés et/ou fortement anthropisés), elle est de fait un organisme bioindicateur parfait pour la surveillance du littoral. Cependant, il existe des points du littoral français où elle n'est pas suffisamment abondante et où d'autres espèces lui sont préférées (bulots, palourdes, praires, coquilles St-Jacques, etc.).

Des prélèvements de mollusques (moules et patelles) sont régulièrement effectués (*figure 28*) sur le pourtour du Cotentin (St-George-de-la-Rivière, Auderville, Cherbourg, Montfarville) ainsi qu'en baie de Somme (Le Crotoy) et sur la côte d'Opale (Ambleteuse, Dunkerque). Dans le cadre de cette étude, ces stations seront complétées par des prélèvements issus de la pêche à pied (*cf. chapitre 8.2.3.3*).

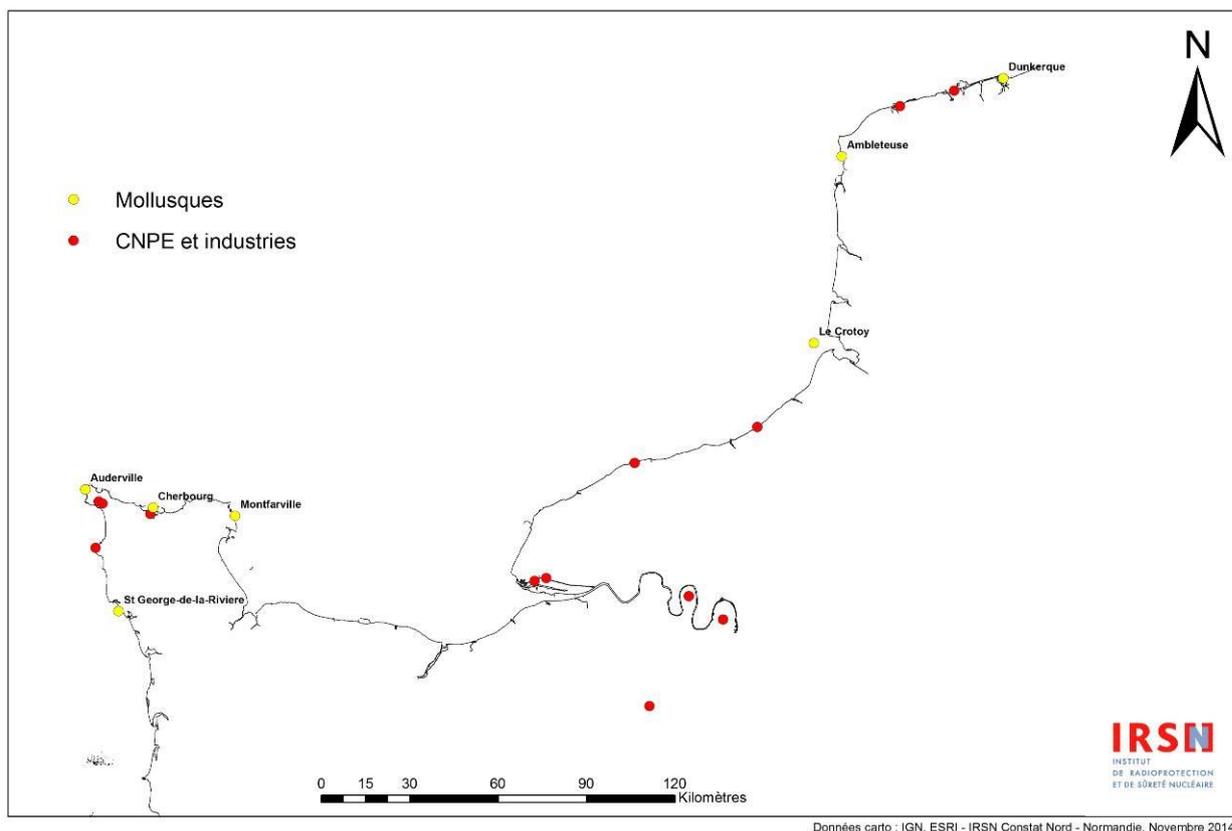


Figure 28 : Stations de prélèvements de mollusques dans le cadre du plan de surveillance régulière de l'IRSN

Aquaculture

L'activité d'aquaculture concerne la Basse-Normandie dans les bassins de l'ouest Cotentin, de Cherbourg, de l'est Cotentin et de la baie des Veys. On y produit des huîtres et des moules. Le long de la côte Picarde, l'aquaculture est représentée par la production de moules sur bouchots sur les sites de Saint-Quentin-en-Tourmont et de Quend ; et pour la côte d'Opale sur les sites de Berck, Tardinghen, Audinghen, Marck et d'Oye-Plage.

Des prélèvements de mollusques seront éventuellement effectués en collaboration avec les aquaculteurs si les quantités disponibles au niveau des zones de pêche à pied ne sont pas suffisantes pour les analyses programmées.

8.2.3.3 Prise en compte des zones de pêche à pied professionnelles et récréatives

La pêche à pied récréative est l'une des activités les plus pratiquées sur le littoral français. L'Ifremer et l'institut de sondage français BVA ont évalué en 2008 le nombre d'adeptes à plus de 1,7 millions de personnes. D'un point de vue réglementaire, la pêche à pied récréative est définie en France comme la récolte d'une ressource naturelle vivante sur les estrans sans recours à tout engin flottant ou d'aide à la respiration et sans que la personne cesse d'avoir un appui au sol.

La pêche à pied professionnelle diffère de la pêche récréative dans le sens où elle est destinée à la revente et qu'elle est pratiquée par des personnes ayant un permis de pêche.

Dans le cadre de cette étude, une collaboration a été initiée entre l'IRSN et les antennes de l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) et du Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins de Basse-Normandie (CRPBN) afin d'identifier les principaux sites de pêche à pied ainsi que les techniques et les espèces privilégiées par site.

Quelques stations de prélèvement de mollusques, en complément de celles incluses dans le plan de surveillance régulier de l'IRSN, ont été identifiées sur le littoral Manche - Mer du Nord (*figure 30 - tableau 12*).

Salicorne

En baie des Veys et en baie de Somme, la salicorne (*Salicornia fragilis*), plante halophile (*figure 29*), est exploitée à des fins alimentaires. L'exploitation de la salicorne en baie de Somme produit environ 450 tonnes par an. Des prélèvements de Salicorne seront réalisés sur les zones de production les plus importantes du littoral Manche - Mer du nord (*figure 30 - tableau 12*).



Figure 29 : La salicorne (Salicornia fragilis)

La côte d'Albâtre (Haute-Normandie), de par sa configuration morphologique (falaises de craie), ne permet pas l'activité de pêche à pied ni le développement de l'aquaculture. Le suivi du compartiment aquatique marin sur cette côte sera effectué uniquement via des prélèvements en zone offshore en collaboration avec l'Ifremer.

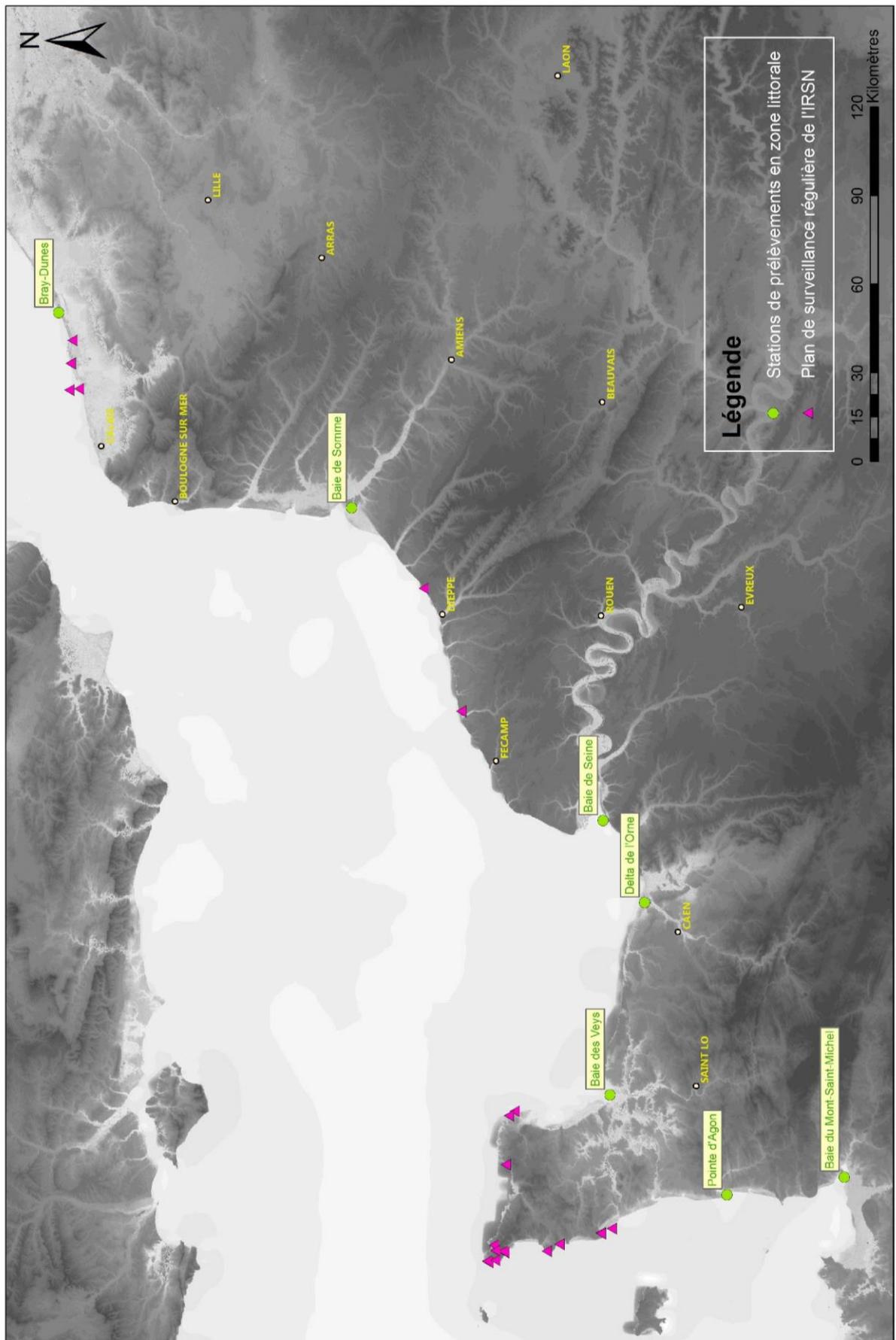


Figure 30 : Stations de prélèvement côtières (en orange : surveillance régulière ; en vert : stations complémentaires pour le constat radiologique Nord - Normandie)

Tableau 12 : Plan prévisionnel de prélèvements et de mesures sur le volet aquatique marin côtier

(S : sédiments, A : algues, Sal : salicornes, C : crustacés, M : mollusques)

Pêche à pied	Localisation	Matrices	Spectro- métrie gamma	Tritium TOL	Carbone 14	Strontium 90	Pu / Am	Iode 129	Polonium 210	U isotopique
Baie du Mont-St-Michel	Baie du Mont-St-Michel	crustacés	C	C	C	C	C		C	
Côte des Havres	Pointe d'Agon	sédiments, algues, salicornes, mollusques	S A Sal M	A Sal M	Sal M	S	Sal M	Sal	M	S
Cotentin	Baie des Veys	sédiments, algues, salicornes, mollusques	S A Sal M	A Sal M	Sal M	S	Sal M	Sal	M	S
Côte fleurie	Delta de l'Orne	crustacés	C	C	C	C	C		C	
Baie de Seine	Baie de Seine	crustacés	C	C	C		C		C	
Côte Picarde	Baie de Somme	sédiments, algues, salicornes, mollusques	S A Sal M	A Sal M	Sal M	S	Sal M	Sal	M	S
Côte des dunes de Flandres	Bray-Dunes	sédiments	S			S	S			S
Nombre d'analyses			16	12	9	6	10	3	6	4

8.3 PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE EN MILIEU MARIN OFFSHORE

L'Ifremer réalise régulièrement des campagnes halieutiques au large des estuaires de la Seine et de la Somme, ainsi que dans la Manche et la Mer du Nord. Ces campagnes concernent les ressources démersales (chalut de fond à grande ouverture verticale), les ressources benthiques (dragues à coquille et chalut perche) ainsi que les ressources pélagiques (acoustique et chalutage pélagique). Elles constituent une base de connaissance primordiale pour caractériser et suivre l'état des communautés exploitées.

Les campagnes d'observation halieutique sont conduites selon des protocoles d'observation standardisées. Chaque campagne dure de quelques jours à plus d'un mois, selon les objectifs et les conditions d'observation (*tableau 13*). L'IRSN a engagé en 2014 un partenariat avec les antennes locales de Port-en-Bessin et de Boulogne-sur-Mer afin de s'associer à ces campagnes de surveillance halieutique pour les besoins du constat radiologique Nord - Normandie.

Tableau 13 : Campagnes de surveillance halieutiques menées par l'Ifremer en Manche - Mer du Nord

Catégorie	Code de série	Libellé	Zone
Démersal	IBTS	International bottom trawl survey	Sud mer du Nord
Démersal	CGFS	Channel ground fish surveys	Manche orientale
Épipélagique, démersal et benthique	CAMANOC	Campagne écosytémique en Manche occidentale	Manche occidentale
Poissons plats	NourSom	Nourriceries Baie de Somme	Baie de Somme et Authie
Poissons plats	NourSei	Nourriceries estuaire de Seine	Estuaire de Seine
Coquille	Comor	Coquille Manche orientale	Baie de Seine
Crustacés	CrustaFlam	Crustacés Flamanville	Ouest-Cotentin

La campagne **CAMANOC** est mise en place pour la première fois cette année 2014. Elle couvre l'ensemble de la Manche occidentale et a pour objectifs principaux d'inventorier et de cartographier la distribution spatiale de la faune épipélagique, démersale et benthique mais aussi d'étudier l'impact des changements climatiques sur le benthos. La campagne a été planifiée par l'Ifremer du 15 septembre au 14 octobre 2014 à bord du navire de recherche océanographique hauturier *Le Thalassa*.

Les zones de pêches sélectionnées par l'IRSN correspondent aux enjeux liés à la courantologie, à l'apport des fleuves et à l'importance des sites de pêches en corrélation avec les espèces échantillonnées (*figure 31*).

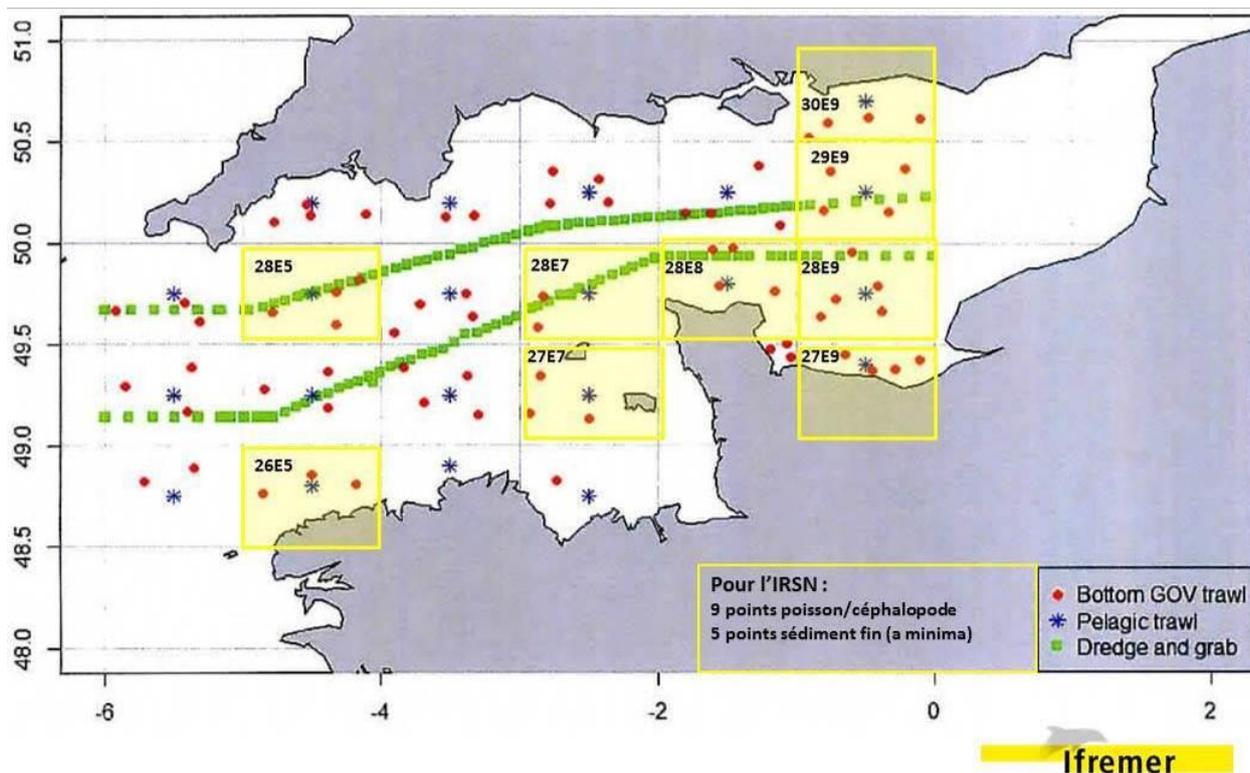


Figure 31 : Carte des zones de prélèvements pour la partie occidentale du volet aquatique marin (rectangles jaunes : zones de prélèvement sélectionnées par l'IRSN)

La campagne IBTS (figure 33) est réalisée chaque année depuis 1980, en janvier et février, à bord du navire de recherche océanographique hauturier *Le Thalassa* (figure 32). Il s'agit d'une campagne internationale réunissant 7 pays riverains de la mer du Nord. Pour la partie française, elle couvre les divisions CIEM 4C et 4B du sud de la mer du Nord. Ce suivi a pour objectif de recueillir les données qui permettent le calcul des indices d'abondance des principales espèces de poissons commerciaux exploitées en mer du Nord.



Figure 32 : Le Thalassa, navire de recherche océanographique hauturier de l'Ifremer

Les espèces commerciales exploitées en mer du Nord sont : le merlan, la morue, l'églefin, le tacaud norvégien, le hareng, le sprat, le maquereau et la plie. L'échantillonnage s'effectue au chalut de fond à grande ouverture verticale (GOV).

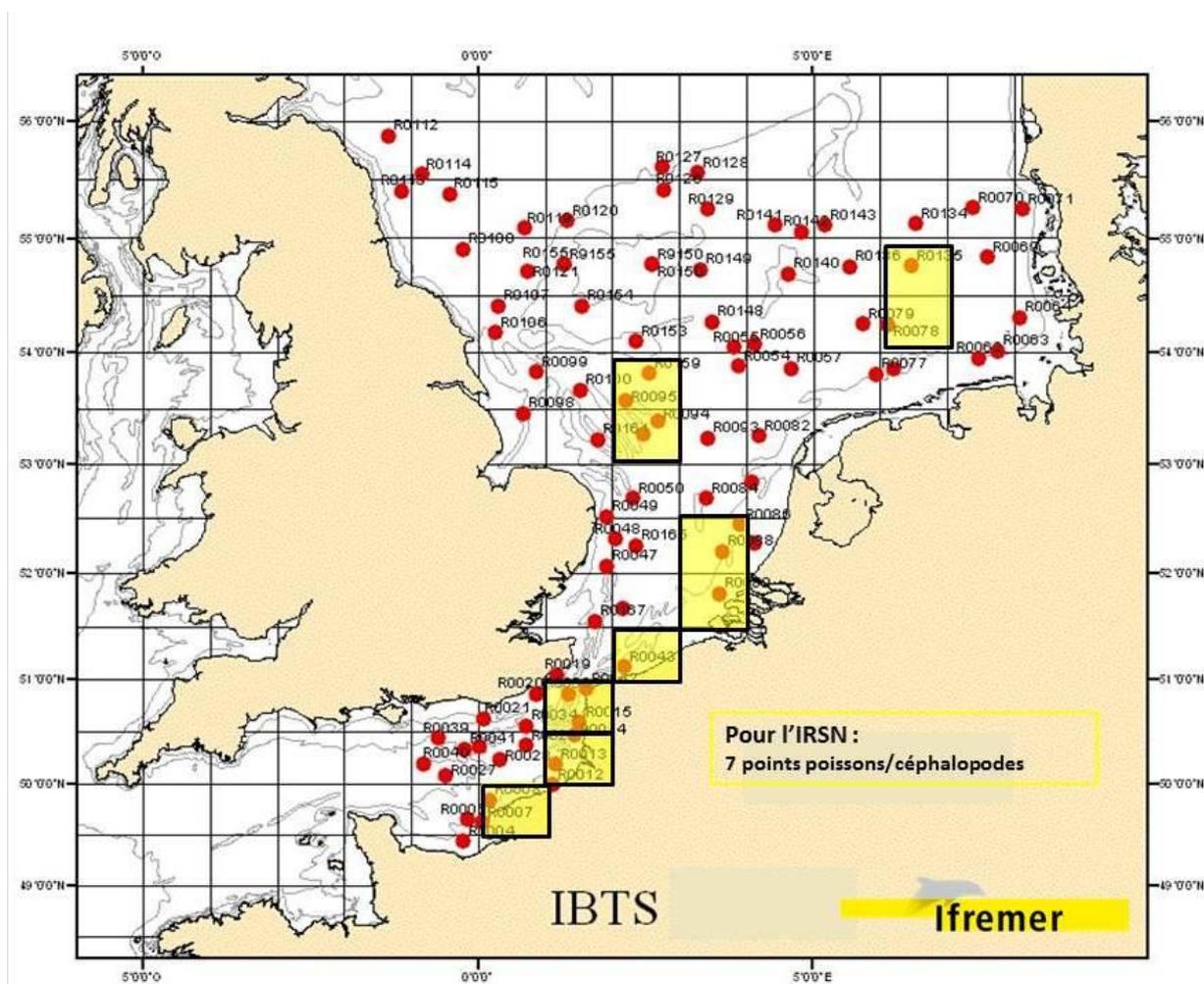


Figure 33 : Carte des points de prélèvements pour la partie orientale du volet aquatique marin
(rectangles jaunes : zones de prélèvement sélectionnées par l'IRSN)

La campagne COMOR est réalisée chaque année depuis 1970, en période estivale, à bord du navire de recherche océanographique côtier *Le Thalia*. L'objectif de cette campagne de l'Ifremer est l'évaluation de l'abondance du stock de coquilles Saint-Jacques de la baie de Somme, espèce emblématique de la région.

D'autres programmes, plus localisés géographiquement, ont également été mis en place par l'Ifremer suite à la demande des agences de l'eau (pour la Somme et la Seine) et d'EDF (surveillance des centrales nucléaires côtières).

8.3.1 SEDIMENTS

Des prélèvements de sédiments par dragage seront effectués par l'Ifremer à l'occasion de la campagne océanographique en Manche occidentale (CAMANOC). Les zones de prélèvements offshore sélectionnées par l'IRSN ont été choisies en fonction de la sédimentologie propre à chaque site (figure 31 et figure 34).

Les zones où les sédiments sont les plus fins (eaux territoriales anglaises, centre du chenal et baie de Seine) ont été privilégiées. Le golfe normand - breton et le pourtour du Cotentin sont constitués de roches et de sédiments à granulométrie grossière.

Les prélèvements seront effectués à l'aide d'une drague Rallier du Baty, l'objectif prioritaire de l'Ifremer étant la recherche sur la faune benthique associée aux sédiments marins.

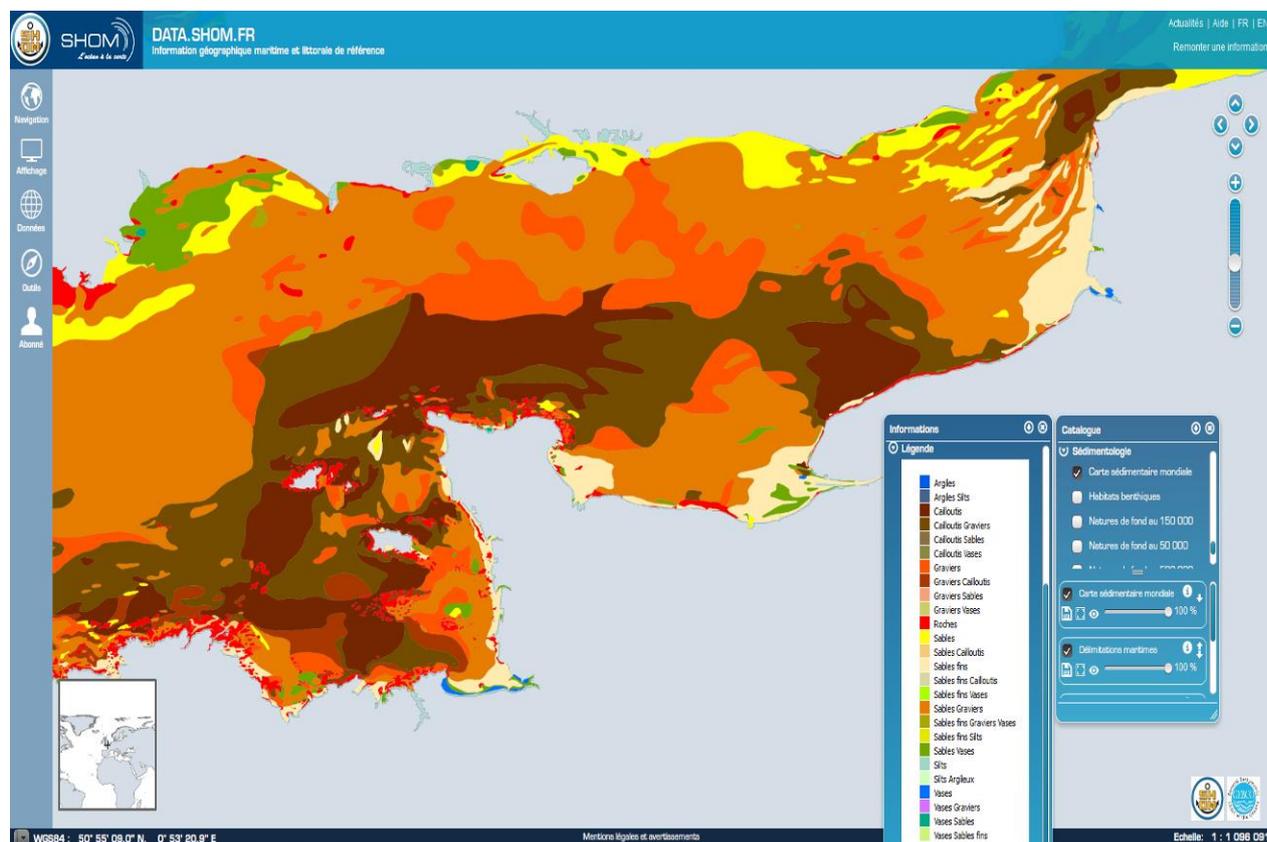


Figure 34 : Carte sédimentaire de la Manche (Site internet du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM))

8.3.2 BIOINDICATEURS

Le tableau 14 présente la liste des espèces benthiques, démersales et pélagiques ciblées au travers des campagnes océanographiques de prélèvement. Cette sélection a été effectuée à partir de l'Atlas des habitats des ressources marines de la Manche Orientale (Programme INTERREG 3a) réalisé sous la direction de l'Ifremer en 2009. Les poissons gras (forte teneur en oméga 3) sont moins bien adaptés aux techniques de préparation pour les mesures radiologiques car ces matrices sont difficiles à réduire en masse sèche ou en cendres. Dans cette catégorie figurent par exemple les sardines, maquereaux et harengs.

Tableau 14 : Liste des espèces ciblées via les prélèvements de l'Ifremer pour les analyses de l'IRSN

Classification	Espèces ciblées	Nom commun
Osteichthyens	<i>Gadus morhua</i>	Morue commune
	<i>Limanda limanda</i>	Limande commune
	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan
	<i>Microstomus kitt</i>	Limande sole commune
	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet de roche
	<i>Platichthys flesus</i>	Flet commun
	<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie commune
	<i>Solea solea</i>	Sole commune
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise
	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun
	<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun
<i>Trisopterus minutus</i>	Petit tacaud	
Céphalopodes	<i>Loligo forbesi</i>	Encornet veiné
	<i>Loligo vulgaris</i>	Encornet, Calmar
	<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune

Afin de compléter les analyses sur les mollusques, des échantillons de coquilles Saint-Jacques prélevés en offshore via la campagne côtière COMOR de l'Ifremer (prévue pour Juin 2015) seront ajoutés au plan d'échantillonnage ciblé par l'IRSN. Ces échantillons présentent un intérêt certain de par leur positionnement en baie de Seine (figure 35).

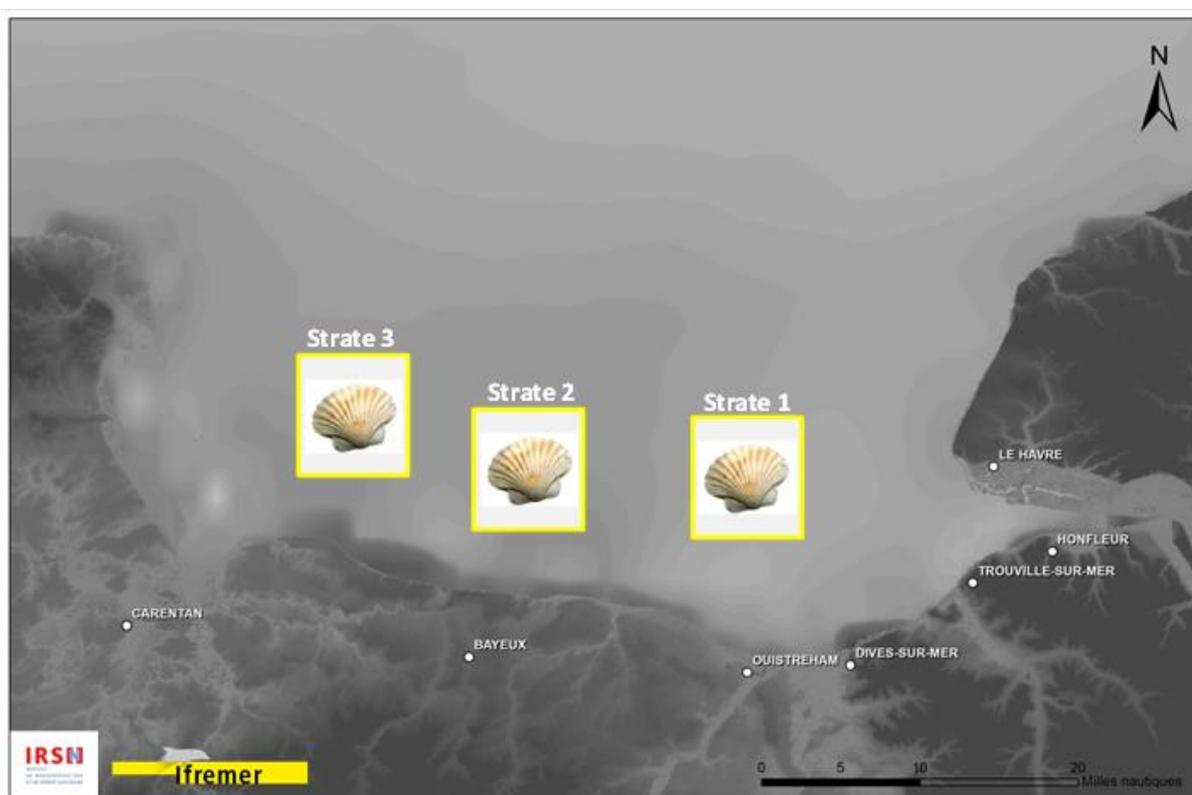


Figure 35 : Carte prévisionnelle des zones de prélèvement de coquilles Saint-Jacques (campagne côtière COMOR de l'Ifremer)

Le plan prévisionnel de prélèvements et de mesures pour le volet aquatique marin offshore est présenté ci-après (tableau 15).

Tableau 15 : Plan prévisionnel de prélèvements et de mesures pour le volet aquatique marin offshore
(S : sédiments, P : poissons, C : céphalopodes, J : coquilles Saint-Jacques)

Zone de pêche	Quartiers de pêche	Code IRSN	Matrices	spectrométrie gamma	Tritium TOL	Carbone 14	Strontium 90	Pu / Am	Polonium 210	U isotopique
VII e (Manche Occ)	26 E5	M-LA-01	poissons sédiments	PS	P	P	SP	P	P	S
	28 E5	M-LA-02	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P				
	27 E7	M-LA-03	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P		P		
	28 E7	M-LA-04	céphalopodes sédiments	CS	C	C				
VII d (Manche Ori)	28 E8	M-LA-05	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P	SP	P		S
	27 E9	M-LA-06	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P	SP	P		S
	28 E9	M-LA-07	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P		P	P	
	29 E9	M-LA-08	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P				
	30 E9	M-LA-09	céphalopodes poissons sédiments	CPS	P	P				
	28 F0	M-LA-10	céphalopodes poissons	CP	P	P		P		
	29 F1	M-LA-11	céphalopodes poissons	CP	P	P		P		
IV c (Mer du Nord)	30 F1	M-LA-13	céphalopodes poissons	CP	P	P		P		
	-	M-LA-14	céphalopodes poissons	CP	P	P	SP	P	P	
	-	M-LA-15	céphalopodes poissons	CP	P	P				
	-	M-LA-16	céphalopodes poissons	CP	P	P		P		
	-	M-LA-17	céphalopodes poissons	CP	P	P			P	
	-	STRATE 1	Coquilles Saint-Jacques	J	J	J		J	J	
	-	STRATE 2	Coquilles Saint-Jacques	J	J	J				
Baie de Seine (COMOR)	-	STRATE 3	Coquilles Saint-Jacques	J	J	J				

9 SYNTHESE, PLANNING PREVISIONNEL ET PERSPECTIVES

Le constat radiologique Nord - Normandie intègre une importante interface terre - mer de par la prise en compte d'activités telles que l'aquaculture et l'exploitation des ressources halieutiques, mais également en raison de l'importance du rôle des systèmes estuariens intertidaux dans les échanges entre les fleuves et la mer. L'analyse croisée des volets aquatiques marins et continentaux dans cette étude permet ainsi la mise en œuvre d'une stratégie globale de prélèvement et de mesure cohérente avec les objectifs recherchés sur l'ensemble du territoire étudié (bassins versants, estuaires et milieux côtiers et milieu marin offshore).

Afin de disposer d'une bonne représentativité de la dispersion des radionucléides au sein de ce territoire continental et maritime, de nombreuses collaborations scientifiques seront mises en œuvre, notamment avec l'Ifremer, l'Onema, et le Comité régional des pêches de Basse-Normandie. Ces collaborations permettent également d'optimiser les moyens humains et financiers de l'IRSN prévus pour cette étude et de lier des contacts professionnels dont la pérennisation sera étudiée dans le cadre des programmes de surveillance régulière de l'IRSN.

Les campagnes océanographiques de l'Ifremer ayant lieu une fois l'an, les missions d'échantillonnage en Manche occidentale ont été réalisées dès le mois d'octobre 2014 par l'équipe Ifremer de Boulogne-sur-Mer (figure 36). A partir du mois de janvier 2015, de nouveaux prélèvements seront effectués en Manche orientale et en mer du Nord par cette même équipe. Les prélèvements en milieu aquatique continental et sur le littoral seront réalisés par les équipes de l'IRSN pendant le 1^{er} semestre 2015.



Figure 36 : Escalade du navire Thalassa de l'Ifremer à Cherbourg et débarquement des échantillons de sédiments, de poissons et de céphalopodes prélevés en Manche occidentale

Le volet aquatique continental et marin du constat radiologique Nord - Normandie donnera lieu à plus de 160 prélèvements spécifiques sur lesquels plus de 330 analyses seront effectuées. L'ensemble de ces échantillons sera traité (figure 37) et mesuré dans les laboratoires de l'IRSN.

L'année 2015 sera également consacrée à la synthèse des données antérieures disponibles (IRSN, RNM, EDF ...) puis à l'exploitation des données acquises dans le cadre de cette étude. Un rapport synthétisant l'état d'avancement du constat radiologique Nord - Normandie et présentant un bilan de l'ensemble des données antérieures sur le territoire Nord - Normandie sera publié en 2015.

Concernant l'ouverture à la société, le groupe de suivi s'est réuni une première fois en avril 2015. A cette occasion, l'IRSN a présenté les différents volets du constat Nord-Normandie (atmosphérique, terrestre et aquatique) en mettant l'accent sur l'étude aquatique qui a démarré et qui fera l'objet de réunions dédiées avec le groupe de suivi pendant l'année 2015 afin notamment de prendre en compte les préoccupations majeures des acteurs de ce territoire.



Figure 37 : Traitement des premiers échantillons marins du constat radiologique Nord - Normandie au Laboratoire de surveillance et d'expertise environnementale par échantillonnage (LS3E) sur le site IRSN du Vésinet (Yvelines)

10 GLOSSAIRE

ACRO : Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest.

Actinide : Famille d'éléments chimiques de numéro atomique égal ou supérieur à l'actinium (numéro atomique 89). Quatre actinides existent à l'état naturel : l'actinium (89), le thorium (90), le protactinium (91) et l'uranium (92). Il existe également des actinides artificiels, ce sont les transuraniens (plutonium, américium, neptunium et curium). On qualifie de "mineurs" ceux que l'on ne sait pas recycler pour produire de l'électricité et de "majeurs" ceux que l'on sait recycler (uranium et plutonium).

Activation : Processus par lequel des noyaux atomiques sont rendus radioactifs sous l'action d'un rayonnement (neutrons, gamma, etc.) d'un flux de neutrons ou d'autres particules.

Activité : Nombre de désintégrations spontanées de noyaux atomiques par unité de temps. L'unité d'activité est le Becquerel (Bq).

Alpha (symbole α) : Rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

α global (alpha global) : Indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs alpha.

ANDRA : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

AREVA : Groupe industriel français intervenant notamment dans le cycle du combustible et la fabrication d'installations nucléaires.

ASN : Autorité de sûreté nucléaire.

Autorisation de rejet : Elle fixe, pour chaque installation, les limites des rejets d'effluents liquides ou gazeux et les conditions de leur contrôle. Elle est accordée par arrêté interministériel, après dépôt d'un dossier soumis aux ministères chargés de l'industrie, de la santé et de l'environnement.

Becquerel (Bq) : Unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour la radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde. Multiples les plus courants : méga (MBq) pour 1 million de becquerels, giga (GBq) pour 1 milliard de becquerels, téra (TBq) pour mille milliards de becquerels, ou sous-multiple : milli (mBq) pour 1 millième de becquerel.

Bêta (symbole β) : Rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffit à l'arrêter.

B global (bêta global) : Indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs bêta.

Bruit de fond (bdf) : En métrologie, il indique le niveau de comptage induit par l'environnement, la composition des réactifs et l'électronique de l'appareil. Il convient de soustraire ce bruit de fond (utilisation d'un « blanc ») à la valeur de mesure brute pour déterminer l'activité nette contenue dans un échantillon. En termes environnementaux, il représente un niveau d'activité mesurée à un point hors influence de toute source de radioactivité artificielle et dont on ne peut s'affranchir.

Césium (Cs, numéro atomique 55) : Métal rare et toxique dont les caractéristiques sont comparables à celles du potassium. Les isotopes 134 et 137 sont des produits de fission radioactifs dont la période radioactive est de 2,2 ans pour le premier et de 30,17 ans pour le second.

CNPE : Centre nucléaire de production d'électricité.

Déchets : Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou, plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

Décroissance radioactive ou désactivation : Diminution naturelle de l'activité nucléaire d'une substance radioactive par désintégrations spontanées.

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.

EDF : Électricité de France.

Effluent : Tout gaz ou liquide, qu'il soit radioactif ou non, issu des installations.

Electron : Particule élémentaire chargée d'électricité négative. Il entre dans la composition des atomes.

Émissaire : Exutoire des effluents rejetés par une installation.

Entreposage : Dépôt temporaire de déchets radioactifs.

Gamma (symbole γ) : Rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gaz rares : Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon et le xénon.

Gestion des déchets radioactifs : Ensemble des dispositions et opérations, réglementaires ou techniques, relatives aux déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage inclusivement, destiné à assurer la protection des personnes et de l'environnement.

ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement.

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.

INB : Installation nucléaire de base.

INBS : Installation nucléaire de base secrète.

Iode (I, numéro atomique 53) : Corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodures radioactifs (131, 132, 133, etc.) ont une durée de vie courte (ex : l'isotope 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode 129 dont la période est de près de 16 millions d'années.

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Isotopes : Eléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

K : Symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/L ou mg/kg (milligramme par litre ou par kilogramme). 1 gramme de potassium naturel a une activité (β/γ) de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif de masse 40 (40K).

Matrice : Sous-partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin). Exemples : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques...

MES : Matières en suspension.

MOX (Mixed Oxide) : Mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium destiné à la fabrication de certains combustibles nucléaires.

MW : Mégawatt.

ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques.

Période radioactive (ou demi-vie) : Temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Plutonium (Pu, numéro atomique 94) : Élément chimique transuranien ; l'isotope 239 a une période de 24 110 ans.

Produits de fission : Fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure de nucléides formés selon ce processus.

Radioactivité : Propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radionucléide : Isotope radioactif d'un élément. Exemples : 3H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène. 14C : carbone 14, isotope radioactif du carbone.

Radiothérapie : Utilisation du pouvoir destructeur de la radioactivité dans le but de détruire des cellules malades, en minimisant les dommages aux cellules saines environnantes.

Radon (Rn) : Gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (219Rn, 220Rn, 222Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (235U, 232Th et 238U).

Rayonnements : Ondes électromagnétiques (gamma) ou particules (alpha, bêta, neutrons) émises lors de la désintégration de radionucléides. Les rayons X sont également des ondes électromagnétiques, mais ils sont émis par des tubes électroniques. Les rayonnements sont dits "ionisants" car ils produisent des ions en traversant la matière. Les rayons gamma, X, ultra-violet, et la lumière visible sont de même nature, mais différent par leur pouvoir de pénétration et leur capacité à créer des ionisations.

Rayonnement ionisant : Rayonnement susceptible d'arracher des électrons à la matière.

RNM : Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement.

Strontium (Sr, numéro atomique 38) : Élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

Traitement des combustibles usés : Ensemble des opérations relatives à l'extraction des matières fissiles et fertiles (uranium et plutonium) des combustibles usés, de façon à permettre leur réutilisation et pour conditionner les différents déchets sous une forme apte à l'entreposage ou au stockage.

Uranium : Élément chimique de numéro atomique 92 et de symbole U, possédant trois isotopes naturels (l'uranium 234, l'uranium 235 et l'uranium 238). L'uranium 235 est le seul nucléide fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie.

11 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence des Aires Marines Protégées, 2011. *Golfe normand-breton : construisons ensemble un parc naturel marin*, 4p.
- Agence de l'Eau Seine Normandie, 2009. *Hydrogéologie du bassin de la Seine*. Dossier du programme PIREN-Seine, 56p.
- Andra, 2012. *Inventaire National des matières et déchets radioactifs, Les déchets immergés*. Dossier de l'Andra, 13p.
- Andra, 2012. *Inventaire National des matières et déchets radioactifs, Les déchets à radioactivité naturelle renforcée (RNR)*. Dossier de l'Andra, 12p.
- Andra, 2013. *Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection, Centre de stockage de la Manche*. Rapport annuel de l'Andra, 48p.
- Bailly du Bois P., Guéguéniat P., Gandon R., Léon R., Baron Y., 1993. *Percentage contribution of inputs from the Atlantic, Irish Sea, English Channel and Baltic into the North Sea during 1988 : a tracer-based evaluation using artificial radionuclides*. Netherlands Journal of Sea Research 1 (31), 1-17.
- Bailly du Bois P., 2003. *TRANSMER, modèle de simulation des transferts de radionucléides en Manche et Mer du Nord : choix des options, description, validation et fonctionnalités*. Report IRSN/DPRE/SERNAT/2003-04, 188.
- Bethelot M., 2013. *Cartographie de la Baie de Somme. Application aux concessions d'exploitation des salicornes*. Mémoire de stage de Master, Université de Picardie, 47p.
- Carpentier A, Martin CS, Vaz S (Eds.), 2009. *Channel Habitat Atlas for marine Resource Management, final report / Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale, rapport final (CHARM phase II)*. INTERREG 3a Programme, IFREMER, Boulogne-sur-mer, France, 626 pp.
- Foulquier L., Bretheau F., 1998. *Les installations nucléaires et l'environnement, méthode d'évaluation de l'impact radioécologique et dosimétrique*. Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, EDP Sciences, 155p.
- Gibbard P., 2007. *Europe cut adrift*. Nature, Vol. 448, 259-260.
- Gouzy A., 2004. *Étude du comportement du plutonium au cours de la diagenèse précoce des sédiments marins : applications à deux environnements marins marqués par les rejets issus d'usines de retraitement de combustibles usés*. Thèse du Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville, 304p.
- Gupta S., Collier J.S., Palmer-Felgate A. & Potter G., 2007. *Catastrophic flooding origin of shelf valley systems in the English Channel*. Nature, Vol. 448, 342-345.
- Houette M., 1894. *Les courants de la Manche*. Archimer - Service Hydrographique de la Marine, n°756, 54p. (<http://archimer.ifremer.fr/doc/00032/14310/11590.pdf>)
- Ifremer, 2014. *Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville, année 2013*. Rapport scientifique annuel Ifremer, 226p.
- Ifremer, 2014. *Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly, année 2013*. Rapport scientifique annuel Ifremer, 166p.

- IODDE**, 2013. *Étude et diagnostic de l'activité de pêche à pied récréative*. Cahier méthodologique et recueil d'expériences, 147p.
- IRSN**, 2005. *Le comportement du plutonium dans les sédiments marins en mer d'Irlande et en Manche*. Rapport scientifique et technique, Radioactivité et environnement, 8p.
- IRSN**, 2008. *Méthodologie de cartographie des zones prioritaires pour la gestion du risque lié au radon*. Rapport Scientifique et Technique.
- IRSN**, 2011. *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009*. Rapport de synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN, 163p.
- IRSN**, 2012. *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011*. Rapport de synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN, 299p.
- IRSN**, 2013. *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, 209p.
- IRSN**, 2014. *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2012*. Rapport de synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN, 125p.
- Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale**, 2008. *Marais audomarois, fiche descriptive sur les zones humides Ramsar*. Inventaire National du Patrimoine Naturel, réf FR7200030, texte de référence, 22p.
- Parc Naturel Régional des Marais du Cotentin et du Bessin**, 2012. *État des lieux et éléments de diagnostic du S.A.G.E. Douve Taute*. Document validé par la Commission Locale de l'Eau du 24/01/2012, 130p.
- Richard G.**, 1963. *La Grande Métallurgie en Basse-Normandie à la fin du XVIIIe siècle*. Annales de Normandie, Vol. 13 n° 13-3, 165-176.
- Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM)** - Base de données du RNM et site internet public : www.mesure-radioactivite.fr
- Robin des Bois / Autorité de Sûreté Nucléaire**, 2009. *Radioactivité Naturelle Technologiquement Renforcée - Les cendres de charbon et les phosphogypses* ; 216p.
- SIH-C**, 2007. *Poissons et invertébrés au large des côtes de France. Indicateurs issus des pêches scientifiques*. Bilan 2004. Ifremer, Nantes, EMH : 07-001, 84p.

12 ANNEXES

12.1 INDUSTRIES ET INSTALLATIONS NON PRISES EN COMPTE DANS LE CADRE DU VOLET AQUATIQUE DE CE CONSTAT RADIOLOGIQUE

Les industries et installations suivantes, bien qu'incluses dans le périmètre d'étude de ce constat radiologique, ne feront pas l'objet de prélèvements spécifiques dans le cadre du volet aquatique. Ces sites ne disposent pas d'autorisations de rejets d'effluents liquides. La plupart de ces industries sont enfin éloignées du réseau hydrographique.

- L'atelier phosphorique Hydro Agri France de Rogerville a été fermé en 1992 et entièrement démantelé. Reste actuellement le bunker occupé par 11 conteneurs contenant 112 262 kg de déchets faiblement radioactifs (^{226}Ra). Les terrains qui présentaient un marquage ont été assainis selon le seuil fixé par l'ASN.
- Le dépôt de phosphogypses situé sur la commune de Rogerville est issu de la fabrication d'acide phosphorique par la société Hydro Agri France. Ce dépôt est accolé à l'installation de stockage de déchets exploitée par la société Étarès (Écocentre de Traitement Actif de Résidus Solides).
- Le site « Rouen B », d'une surface d'environ 9 ha est une friche industrielle depuis 2006 située sur les communes de Rouen et Petit-Quévilly et appartenant à la société *Grande Paroisse*. Ce site correspond à l'emprise d'une usine de production et de stockage d'engrais azotés et phosphatés créée en 1908.
Un marquage radiologique des sols a été mis en évidence dû à des dépôts de tartre chargés en ^{226}Ra issus des anciens ateliers de production d'acide phosphorique. Cet ancien site industriel est en cours de réhabilitation.
- Le site Borealis Chimie de Grand-Quévilly produit des fertilisants azotés pour l'agriculture. Sur le site était implantée la société *Grande Paroisse*, dont l'activité principale était la fabrication et le stockage d'acides phosphoriques et sulfurique, ainsi que la fabrication et le conditionnement de fluosilicate de sodium. Cette industrie produisait alors des déchets de radioactivité naturelle renforcée de très faible activité.
- Sur le site d'Anneville - Ambourville, un dépôt de phosphogypses, sous-produit de la fabrication d'acide phosphorique, occupe une surface d'environ 60 hectares. En 2004, la société *Grande Paroisse* a décidé de l'arrêt du stockage des phosphogypses. Une station de traitement des lixiviats, destinée à leur neutralisation par de la chaux, a été alors mise en place.

- **Le dépôt de phosphogypses** de Saint-Etienne-du-Rouvray occupe un terrain de 66 hectares. Ces dépôts sont issus de l'atelier de fabrication de Grand-Couronne, appartenant à la société *Grande Paroisse*. L'arrêt des ateliers a été acté en 1992 et les eaux de percolation sont envoyées sur les installations d'Anneville-Ambourville pour y être traitées.
- A Loos, l'exploitation de 1934 à 1964 d'un **atelier de traitement de minerai** a généré des résidus de très faible activité qui ont été mélangés avec d'autres déchets industriels minéraux et stockés sur site (mis en lagune). L'activité massique moyenne estimée en radium 226 est de 2,6 Bq/g. Une étude réalisée en 2009 par la société Antea ne montrait pas d'impact radiologique sur l'environnement proche du site. Ce site est actuellement la propriété du groupe Tessenderlo pour la fabrication de produits chimiques.
- Le site de Menneville est un **centre d'enfouissement technique de classe 1** en phase post-exploitation de superficie de 6,5 ha. Des déchets en provenance de la société HOECHST ont été enfouis sous plusieurs mètres de terre dans la période 1985-1987. Ces déchets industriels, estimés à 7 200 tonnes avec une activité massique de 300 Bq/g, sont issus de la transformation de phosphate brut naturel.
- Le **site de production d'engrais agricoles** de Douvrin, qui fut ouvert en 1930 par la Société industrielle et financière de Lens (Finalens). Après la production d'engrais ammoniacés (1930-1969), l'entreprise démarra en 1970 la division de production d'acide phosphorique. Un terrain de 20 ha fut alors consacré à l'épandage des phosphogypses (2 millions de tonnes). A partir de 1976, un procédé de transformation des phosphogypses permit leur valorisation en plâtre jusqu'à la fin 1983, date de fermeture définitive des activités de l'usine. Les ateliers de production sont à présent démolis.
Actuellement, le site est divisé arbitrairement en deux zones : une zone dite cessible sur laquelle l'exploitant *Grande Paroisse* a un projet de valorisation du terrain (complexe sportif) et une zone dite non cessible sur lequel se trouve l'ancien dépôt des phosphogypses.
- Le **comptoir de minéraux et matières premières** est une usine de traitement de minéraux naturels, en particulier de broyage de sable de zircon à usage en fonderie. Les résidus solides sont stockés dans des « *big bags* » sur le site industriel de Saint-Quentin.
- Sur la commune d'Acquigny, la **société CHUBB Sécurité** reconditionne les détecteurs de fumées équipés de sources scellées en ²⁴¹Am. L'entreprise effectue également le démantèlement des détecteurs de fumées en fin de vie. Les détecteurs équipés de sources au ²³⁸Pu ne sont pas reconditionnés par la société, ils sont envoyés au CEA.

- Le **GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds)** est un laboratoire de recherche du CEA/CNRS en physique nucléaire, basé à Caen et reconnu internationalement.

Le GANIL permet de produire et d'étudier les noyaux qui n'existent pas sur Terre, appelés noyaux exotiques. SPIRAL, Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne, est le premier ensemble de production et d'accélération de noyaux exotiques (noyaux légers jusqu'à la masse 90) en France. Le projet SPIRAL2, initié en 2006, donnera accès aux noyaux plus lourds et multipliera par plusieurs ordres de grandeur le nombre des noyaux exotiques produits. Les installations de SPIRAL2 devraient être opérationnelles pour la fin 2015. En attendant ce site ne présente pas de rejets radioactifs liquides et gazeux.

AREVA Med est une filiale d'AREVA spécialisée dans le développement de traitements innovants de lutte contre le cancer. Le groupe a annoncé début 2014 son implantation à proximité du GANIL à Caen où ils développeront de nouveaux procédés pour produire du ^{212}Pb de haute pureté utilisé dans le traitement des cancers particulièrement agressifs. Ce site ne présente donc pas de rejets radioactifs liquides et gazeux.

12.2 STATIONS D'EPURATION DES GRANDES AGGLOMERATIONS ENCADRANT LES CENTRES DE MEDECINE NUCLEAIRE

Tableau 16 : STEP situées à proximité de centres de médecine nucléaire - bassin Nord - Normandie - Chiffres année 2012

Nom	Latitude	Longitude	Dept	Charge max en entrée (en équivalent habitant)	Débit entrant moyen (m ³ /j)	Débit de référence (m ³ /j)	Milieu récepteur
Verson	49.155959	-0.438381	14	11 500	2 050	2 700	l'Orne
Mondeville	49.185182	-0.320655	14	289 000	35 000	102 600	l'Orne
Ouistreham	49.272978	-0.252312	14	13 500	2 200	2 700	Canal de Caen à la mer
Sourdeval	48.712911	-0.925926	50	4 030	314	780	La Sée
Le Val-Saint-Père, Avranches	48.684246	-1.376773	50	30 000	3 468	6 250	amont estuaire Sée
Equeurdreville	49.660492	-1.68357	50	27 800	4 200	4 200	La Manche
Tourlaville	49.648685	-1.593437	50	135 000	12 373	14 400	la mer de la Manche (rade)
Amiens	49.904268	2.283942	80	162 674	24 443	36 000	La Somme
Beauvais	49.419517	2.110959	60	104 500	12 373	25 400	Le Thérain
La Croix Saint Ouen	49.369142	2.774087	60	127 555	11 286	20 800	L'Oise
Villers Saint-Paul	49.277255	2.498506	60	21 550	1 796	3 480	L'Oise
Montataire	49.246798	2.451752	60	86 600	8 363	18 000	Le Thérain
Gauchy	49.832474	3.277119	2	126 000	15 589	26 250	Le Fossé des Allemaignes puis La Somme
Pommiers	49.390111	3.273429	2	82 417	8 245	14 300	L'Aisne
Coudkerque Branche	51.030292	2.384032	59	186 275	18 207	42 000	Canal exutoire des Wate ringues
Grande-Synthe	51.001948	2.300068	59	82 700	7 716	10 500	Watergang "Noordgracht"
La Samaritaine	51.03655	2.359216	59	35 400	3 512	5 100	Canal de l'île Jeanty
Lille C. U. Marquette	50.677187	3.069904	59	456 844	123 508	150 000	La Marque canalisée (bassin de la Deule)
Villeeneuve d'Ascq	50.630246	3.184569	59	289 581	22 539	28 700	La Marque (bassin de la Deule)
Faches-Thumelil Lille C. U. Houplin Anco	50.583795	2.978793	59	111 120	22 035	35 000	Canal de la Deule
Roubaix Wattrelos	50.691789	3.24119	59	662 611	102 025	171 000	Rivière de l'Espierre (Bassin de la Deule)
Tourcoing Neuville-en-Ferrain	50.757113	3.140597	59	95 500	18 580	41 600	Becque de Neuville (Bassin de la Lys)
Valenciennes	50.37156	3.53088	59	140 200	13 578	14 000	Viel Escaut (Bassin de l'Escaut)
Raismes Beuvrages	50.392949	3.515463	59	29 260	7 192	14 400	Le Jard (Bassin de l'Escaut)
Maubeuge	50.275895	3.992338	59	76 869	13 552	13 320	La Sambre Canalisee
Bethune	50.545461	2.646319	62	83 644	13 574	21 000	Canal d'aire (bassin de la Lys)
Beuvry	50.533446	2.659319	62	13 947	4 644	8 900	La Loisme (bassin de la Lys)
Arras (St Laurent Blangy)	50.299158	2.81111	62	184 894	13 380	42 800	La Scarpe canalisée (bassin de la Scarpe supérieure)
Lens - Loison-sous-Lens	50.43489	2.856525	62	155 493	20 188	33 000	Canal de Lens (bassin de la Deule)
Berck	50.404268	1.603472	62	49 633	5 780	7 775	Le Fliers (bassin de l'Authie)
Boulogne-sur-Mer	50.711006	1.606652	62	232 650	25 128	72 000	La Liane
Le Portel	50.701429	1.566286	62	18 150	3 493	10 800	La Manche
Chartres	48.465296	1.481559	28	118 566	15 991	26 100	L'Eure

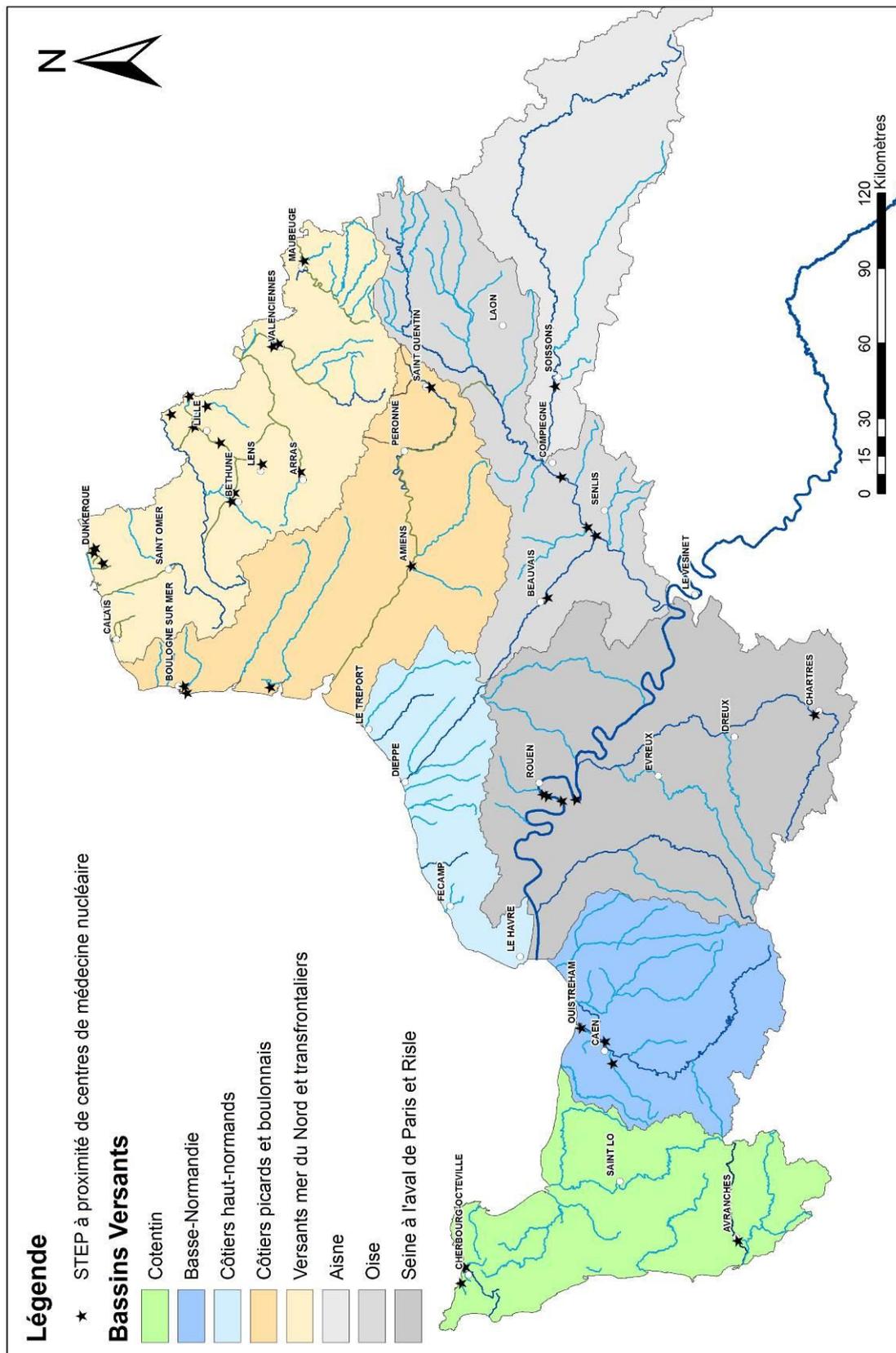


Figure 38 : Localisation des principales STEP situées en aval des centres de médecine nucléaire sur le périmètre d'étude du constat radiologique Nord - Normandie