



Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest
Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité

Association loi 1901 SIRET : 950 369 868 00027 APE : 7120B
138 rue de l'Eglise – 14200 HEROUVILLE-SAINT-CLAIR
Tél. : (+33) 2.31.94.35.34 Fax : (+33) 2.31.94.85.31
Email : acro-laboratoire@wanadoo.fr
www.acro.eu.org

Surveillance radioécologique réalisée autour de
la centrale nucléaire de Gravelines

Bilan des résultats 2010

Commentaires et mises en perspectives

RAP101012(01)_GVL2010_v1.0

Edition du 01/03/2011



Pour :

La Commission Locale d'Information de la centrale
nucléaire de Gravelines,

SECRETARIAT DE LA CLI

OPAL'AIR AGATE

12, rue de Belle Vue

BP 24 209

59140 DUNKERQUE cedex 1

DEMANDE	
Mission	Surveillance radioécologique autour de la centrale nucléaire de Gravelines
Demandeur	Commission Locale d'Information de Gravelines

REALISATION	
Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest (ACRO) 138 rue de l'Eglise 14200 HEROUVILLE SAINT CLAIR tél. : 02.31.94.35.34 / fax : 02.31.94.85.31	
Responsables Scientifiques	P. BARBEY, D. BOILLEY, M. JOSSET
Auteur	A. BERNOLLIN
Prélèvements	A. BERNOLLIN, A. MIGEON, M. JOSSET
Traitement des échantillons	E. DUNAND, A. MIGEON
Analyses	de radioactivité : M. JOSSET, A. MIGEON, A. BERNOLLIN, E. DUNAND

DOCUMENT	
Date d'édition	1 ^{er} mars 2011
Identification	RAP101012(01)_GVL2010_v1.0
Version n°	01 (version finale)
Pages (nombre)	30 (annexes comprises)
Objet	Rapport d'étude
Paramètres	Eléments radioactifs : Tritium, Cobalt-60, Ruthénium-106, Argent -110m, Iode-129, Iode-131, Césium-134, Césium-137, Américium-241, Béryllium-7, Potassium-40, Plomb-210, Radium-226, Uranium-235
	Lieu(x) : Région de Gravelines (59)

REMARQUE(S) PARTICULIERE(S)	
de l'A.C.R.O. :	LA REPRODUCTION DU DOCUMENT N'EST AUTORISEE QUE SOUS LA FORME DE FAC-SIMILE PHOTOGRAPHIQUE INTEGRAL.

Sommaire

A – Introduction	4
B – Plan d'échantillonnage	4
C – Bilan des prélèvements effectués.	6
D – Résultats.....	7
D1 – Résultats des analyses effectuées par spectrométrie gamma.....	7
D2 – Résultats des analyses effectués par scintillation liquide : mesure du tritium dans l'eau. ..	15
E - Commentaires	16
E1 - Radioactivité artificielle dans les algues (tableau 1)	16
E2 - Radioactivité artificielle dans les mollusques (tableaux 2 et 3)	16
E3 - Radioactivité artificielle dans les sédiments marins (tableaux 4 et 5)	17
E4 - Radioactivité dans les eaux (tableaux 6 et 9)	17
E5 - Radioactivité artificielle dans les denrées alimentaires – légumes (tableau 7)	18
E6 - Radioactivité artificielle dans le domaine terrestre (tableau 8).....	18
F. Comparaison aux autres données ACRO du suivi du littoral normand.	19
G. Conclusion.....	25
Annexes	26
ANNEXE 1/3 ORIGINE DES PRINCIPAUX ELEMENTS RADIOACTIFS ARTIFICIELS OBSERVES DANS L'ENVIRONNEMENT.....	26
ANNEXE 2/3 METROLOGIE	27
ANNEXE 3/3 QUALIFICATIONS DU LABORATOIRE	29

A – Introduction

La Commission Locale d'Information de la centrale nucléaire de Gravelines a confié une surveillance indépendante des niveaux de radioactivité dans l'environnement à l'ACRO pour l'année 2010.

La démarche de travail adoptée s'appuie sur l'expérience du laboratoire de l'ACRO dans ce domaine, acquise notamment grâce à son Observatoire Citoyen de la Radioactivité dans l'Environnement, (étendu aux 600 km du littoral normand), ainsi que sur les normes en vigueur et les pratiques usuelles pour la constitution de bilans de référence.

Si les répercussions des rejets du CNPE de Gravelines sont l'objet principal de cette surveillance, celle-ci ne fait pour autant pas abstraction d'autres contributions éventuelles, telles que les rejets d'autres installations, comme les centrales nucléaires françaises et anglaises des côtes de la Manche, les usines de retraitement Areva de La Hague et des retombées anciennes des essais de la bombe atomique et de la catastrophe de Tchernobyl.

B – Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage décrit ci-dessous a été conçu en collaboration entre les membres de la CLI et des représentants du laboratoire de l'ACRO.

Etendue géographique :

Cette surveillance radioécologique est basée sur le suivi, au cours de l'année 2010, du milieu marin d'une part, et du milieu terrestre d'autre part. Sur le littoral, quatre sites localisés de part et d'autre du CNPE ont été retenus (cf. figure 1). En milieu terrestre, deux lieux distincts ont fait l'objet d'investigations ; il s'agit du collège Pierre et Marie CURIE de Gravelines ainsi que du site des « Jardins de Cocagne » de la ville de Gravelines.

La station de référence choisie dans une zone hors de l'influence directe des rejets du CNPE est le site de Cap Gris Nez.

Analyses effectuées :

Deux types d'éléments radioactifs ont été recherchés lors de cette surveillance :

- les radionucléides émetteurs gamma recherchés dans les échantillons solides et la fraction saline des eaux de mer,
- le tritium (hydrogène radioactif) recherché dans les eaux.

Pour ce faire, deux systèmes d'analyse ont été utilisés. Il s'agit de la spectrométrie gamma dans le premier cas, et de l'analyse bêta en scintillation liquide dans le second. Toutes les analyses ont été effectuées au sein du laboratoire de l'ACRO.

Nature des échantillons collectés :

Afin d'apprécier les niveaux de perturbation radiologique des écosystèmes étudiés, différents indicateurs biologiques (faune et flore) et inertes (sédiments) sont retenus pour la recherche des radionucléides émetteurs gamma. En milieu marin il s'agit d'**algues brunes** de l'espèce *Fucus vesiculosus*, de **mollusques** (moules et patelles), de **sédiments** (vases et/ou sable) et de la fraction « sel » contenue dans l'**eau de mer**.

En milieu terrestre, les indicateurs choisis ont été le **couvert végétal** (herbe et mousses terrestres), le **sol** et différentes variétés de **légumes cultivés** (cf. tableau 1).

Dans le cas du tritium (hydrogène radioactif), seules les **eaux** (eaux **de mer**, eaux **douces** ou eaux **de pluie**) sont analysées du fait de la physico-chimie de cet élément.

Fréquence d'intervention :

Deux campagnes de prélèvements ont été organisées au cours de l'année 2010, à la fois pour le milieu marin et pour le milieu terrestre. Cette fréquence semestrielle est le minimum permettant d'apprécier une possible variabilité des niveaux de radioactivité. Les périodes retenues ont été les grandes marées d'équinoxe des mois de mars et d'octobre 2010, car elles permettent l'accès à des espèces, comme les algues brunes, qui vivent fixées sur les niveaux les plus bas de l'estran, et que seuls les coefficients des grandes marées laissent émerger. Pour les prélèvements en milieu terrestre, les campagnes ont eu lieu en juin et octobre, principalement pour suivre les phases naturelles de développement des indicateurs (légumes).

Démarche de travail :

Comme proposé initialement, un des objectifs de ce travail était de permettre aux membres de la CLI, notamment de la commission sécurité des populations, de participer aux différentes étapes de ce travail et, ainsi, d'intégrer un processus collectif d'élaboration et de réalisation d'une action de surveillance de l'environnement.

Dans un premier temps, le choix des stations de prélèvement a été arrêté après discussion avec plusieurs membres de la commission autour des différentes utilisations du milieu naturel par la population (loisirs et/ou activités professionnelles), et après un repérage sur le terrain confirmant la présence des indicateurs nécessaires.

Dans un second temps, une participation aux prélèvements sur le terrain, avec les scientifiques de l'ACRO, a été organisée. Ainsi, lors des deux campagnes effectuées sur la côte d'Opale, plusieurs membres de la commission se sont portés volontaires pour procéder à la collecte des échantillons.

Cette démarche, basée sur une collaboration étroite avec les membres de la CLI, a permis une bonne adaptation de la surveillance aux réalités du terrain et besoins locaux, en outre elle facilite l'appropriation des connaissances, puisque celles-ci sont coproduites avec les principaux acteurs concernés (associations locales, riverains, etc.).

L'appui de l'équipe scientifique du laboratoire de l'ACRO a été assuré lors de chaque campagne de prélèvement, notamment en ce qui concerne les aspects techniques (formation aux techniques de prélèvement, identification des indicateurs pertinents, respects des normes qualité) et de la logistique (matériel de prélèvement, référencement, stockage et rapatriement des échantillons au laboratoire).

En outre, à la demande de la CLI, des interventions ont été menées avec le collège de Gravelines afin de permettre aux élèves de s'initier par la pratique aux techniques liées à la surveillance, du prélèvement à l'analyse.

Prélèvements du 11/10/2011
avec des membres de la CLI

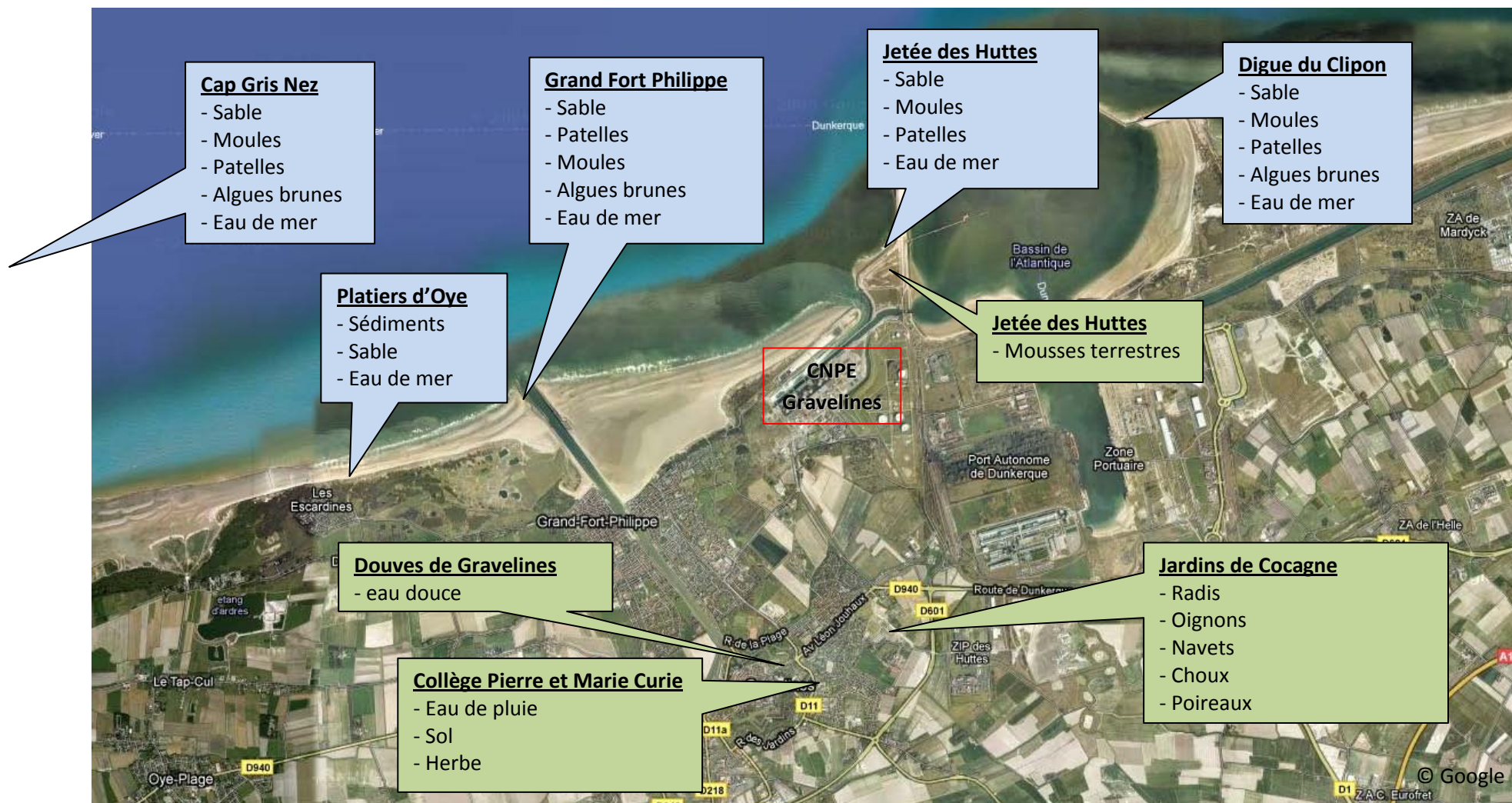


Prélèvements du 12/10/2011 à Grand Fort
Philippe avec les élèves du collège Pierre et
Marie CURIE



C – Bilan des prélèvements effectués.

Figure 1 : Localisation des sites de prélèvement autour du CNPE de Gravelines et nature des échantillons.



D – Résultats**D1 – Résultats des analyses effectuées par spectrométrie gamma.****Tableau 1** : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les algues brunes prélevées en mars et octobre 2010.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-01	101012-OCR-04	100330-OCR-26	101012-OCR-25	100330-OCR-14	101012-OCR-08
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-01	101012-OCR-04	100330-OCR-26	101012-OCR-25	100330-OCR-14	101012-OCR-08
Catégorie		algues brunes	algues brunes	algues brunes	algues brunes	algues brunes	algues brunes
Dénomination ou [Genre - espèce]		<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Fucus vesiculosus</i>
Prélèvement							
Date		29-mars-10	10-oct-10	31-mars-10	12-oct-10	31-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Cap Gris Nez	Cap Gris Nez	Gd Fort Philippe	Gd Fort Philippe	Digue du Clipon	Digue du Clipon
Expression des résultats							
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS							
57 Co	271,8 jours	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,3
58 Co	70,8 jours	< 0,6	< 2	< 0,7	< 2	< 0,5	< 2
60 Co	5,3 ans	< 0,6	< 0,6	< 0,5	< 0,6	0,71 ± 0,32	0,62 ± 0,35
106 Ru-Rh	373 jours	< 8	< 9	< 8	< 9	< 7	< 10
110m Ag	250 jours	< 0,5	< 0,8	< 0,4	< 0,6	< 0,4	< 0,6
129 I	15,7 10 ⁶ ans	2,5 ± 0,5	2,23 ± 0,49	1,7 ± 0,4	2,12 ± 0,46	3,1 ± 0,5	2,9 ± 0,6
131 I	8,0 jours	< 9	nr	< 3	nr	< 2	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,4	< 0,5	< 0,4	< 0,5	< 0,4	< 0,5
137 Cs	30,0 ans	< 0,5	< 0,5	0,42 ± 0,21	0,65 ± 0,24	0,36 ± 0,19	< 0,5
154 Eu	8,6 ans	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,4	< 0,6
241 Am	437,7 ans	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,5	< 0,7
RADIONUCLEIDES NATURELS							
40 K	1,3 10 ⁹ ans	1255 ± 150	1140 ± 140	1300 ± 155	1160 ± 140	1410 ± 170	1250 ± 150
7 Be	53,2 jours	13,1 ± 3,0	10 ± 5	17,0 ± 3,0	< 12	16,3 ± 2,7	15 ± 6

Remarque : les résultats en iode-129 ne sont pas corrigés des phénomènes d'auto-atténuation.

« nr » : élément non recherché (voir annexe 2/3 Métrologie)

Tableau 2 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les patelles prélevées en mars et octobre 2010.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-02	101012-OCR-06	100330-OCR-28	101012-OCR-23	100330-OCR-22	101012-OCR-14	100330-OCR-15	101012-OCR-10
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-02	101012-OCR-06	100330-OCR-28	101012-OCR-23	100330-OCR-22	101012-OCR-14	100330-OCR-15	101012-OCR-10
Catégorie		mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques
Dénomination ou [Genre - espèce]		patelles	patelles	patelles	patelles	patelles	patelles	patelles	patelles
Prélèvement									
Date		29-mars-10	10-oct-10	31-mars-10	12-oct-10	31-mars-10	11-oct-10	31-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Cap Gris Nez	Cap Gris Nez	Gd Fort Philippe	Gd Fort Philippe	Jetée des Huttes	Jetée des Huttes	Digue du Clipon	Digue du Clipon
Expression des résultats									
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS									
57 Co	271,8 jours	< 0,4	< 0,6	< 0,8	< 0,4	< 0,6	< 0,6	< 0,4	< 0,4
58 Co	70,8 jours	< 2	< 3	< 2	< 2	< 2	< 3	< 2	< 2
60 Co	5,3 ans	< 0,8	< 2	< 2	< 0,8	< 2	< 2	< 1	< 0,8
106 Ru-Rh	373 jours	< 14	< 24	< 24	< 16	< 25	< 24	< 14	< 16
110m Ag	250 jours	< 1	< 2	< 2	< 1	1,7 ± 0,8	3,3 ± 0,9	< 0,8	< 1
129 I	15,7 10 ⁶ ans	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,4	< 0,3	< 0,2	< 0,2
131 I	8,0 jours	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,8	< 2	< 2	< 0,8	< 2	< 2	< 0,8	< 0,8
137 Cs	30,0 ans	< 0,8	< 2	< 2	< 0,8	< 2	< 2	< 1	< 0,8
154 Eu	8,6 ans	< 0,6	< 1	< 1	< 0,6	< 2	< 2	< 0,7	< 0,8
241 Am	437,7 ans	< 0,8	< 2	< 2	< 0,8	< 2	< 2	< 1	< 0,8
RADIONUCLEIDES "NATURELS"									
40 K	1,3 10 ⁹ ans	313 ± 39	316 ± 41	308 ± 41	324 ± 40	298 ± 41	275 ± 37	280 ± 36	292 ± 37
7 Be	53,2 jours	27 ± 8	66 ± 17	14,0 ± 8,0	17 ± 11	31,1 ± 9,1	< 32	18,2 ± 5,3	26 ± 9

Tableau 3 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les moules prélevées en **mars et octobre 2010**.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-03	100330-OCR-29	101012-OCR-24	100330-OCR-23	101012-OCR-13	100330-OCR-16	101012-OCR-09
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-03	100330-OCR-29	101012-OCR-24	100330-OCR-23	101012-OCR-13	100330-OCR-16	101012-OCR-09
Catégorie		mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques	mollusques
Dénomination ou [Genre - espèce]		moules	moules	moules	moules	moules	moules	moules
Prélèvement								
Date		29-mars-10	31-mars-10	12-oct-10	31-mars-10	11-oct-10	31-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Cap Gris Nez	Gd Fort Philippe	Gd Fort Philippe	Jetée des Huttes	Jetée des Huttes	Digue du Clipon	Digue du Clipon
Expression des résultats								
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS								
57 Co	271,8 jours	< 0,5	< 0,4	< 0,5	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,3
58 Co	70,8 jours	< 2	< 2	< 3	< 2	< 2	< 2	< 3
60 Co	5,3 ans	< 2	< 1	< 1	< 0,8	< 0,8	< 1	< 0,8
106 Ru-Rh	373 jours	< 24	< 16	< 19	< 15	< 16	< 18	< 17
110m Ag	250 jours	< 2	< 2	< 2	< 0,8	< 1	< 2	< 1
129 I	15,7 10 ⁶ ans	< 0,4	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,2	< 0,3	< 0,2
131 I	8,0 jours	nr	nr	nr	nr	nr	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 2	< 1	< 1	< 0,8	< 0,8	< 1	< 0,8
137 Cs	30,0 ans	< 2	< 1	< 1	< 0,8	< 1	< 1	< 1
154 Eu	8,6 ans	< 2	< 0,8	< 0,8	< 0,6	< 0,7	< 0,8	< 0,8
241 Am	437,7 ans	< 2	< 1	< 1	< 0,8	< 0,8	< 1	< 0,8
RADIONUCLEIDES "NATURELS"								
40 K	1,3 10 ⁹ ans	274 ± 37	267 ± 35	156 ± 23	288 ± 36	185 ± 25	310 ± 40	177 ± 24
7 Be	53,2 jours	< 20	< 12	< 24	< 11	< 20	< 16	< 24

Remarque : Il n'y a pas eu de prélèvement de moules d'effectué au second semestre 2010 à la station Cap Gris Nez.

Tableau 4 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les sédiments marins (sables et vases) prélevés en **mars et octobre 2010 (1/2)**.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-04	101012-OCR-05	100330-OCR-19	101012-OCR-19	100330-OCR-20	101012-OCR-20
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-04	101012-OCR-05	100330-OCR-19	101012-OCR-19	100330-OCR-20	101012-OCR-20
Catégorie		sédiment	sédiment	sédiment	sédiment	sédiment	sédiment
Dénomination ou [Genre - espèce]		sable de plage	sable de plage	vases	vases	sable de plage	sable de plage
Prélèvement							
Date		29-mars-10	10-oct-10	31-mars-10	11-oct-10	31-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Cap Gris nez	Cap Gris nez	Platiers d'Oye	Platiers d'Oye	Platiers d'Oye	Platiers d'Oye
Expression des résultats							
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS							
57 Co	271,8 jours	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,4	< 0,2	< 0,2
58 Co	70,8 jours	< 0,5	< 0,7	< 0,6	< 2	< 0,5	< 0,6
60 Co	5,3 ans	< 0,3	< 0,3	1,09 ± 0,25	2,13 ± 0,32	< 0,3	< 0,3
106 Ru-Rh	373 jours	< 5	< 5	< 7	< 8	< 5	< 5
110m Ag	250 jours	< 0,3	< 0,4	< 0,4	< 0,6	< 0,3	< 0,3
129 I	15,7 10 ⁶ ans	nr	nr	nr	nr	nr	nr
131 I	8,0 jours	nr	nr	nr	nr	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,3	< 0,3	< 0,4	< 0,4	< 0,3	< 0,3
137 Cs	30,0 ans	0,31 ± 0,12	< 0,3	2,8 ± 0,4	4,00 ± 0,40	< 0,3	< 0,3
154 Eu	8,6 ans	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,6	< 0,4	< 0,4
241 Am	437,7 ans	< 0,5	< 0,6	1,7 ± 0,4	1,31 ± 0,40	< 0,7	< 0,6
RADIONUCLEIDES NATURELS							
234 Th (63 keV)	Ch. 238U	-	-	16 ± 7	13 ± 6	-	-
234m Pa	Ch. 238U	-	-	< 48	62 ± 27	< 40	< 36
226 Ra MAX	Ch. 238U	10,0 ± 3,0	12,6 ± 3,5	23,3 ± 4,8	32 ± 5	12,4 ± 3,5	15,7 ± 3,5
214 Pb (= 226Ra min)	Ch. 238U	4,7 ± 0,7	6,1 ± 0,9	10,7 ± 1,5	13,8 ± 1,3	5,0 ± 0,8	7,8 ± 1,1
214 Bi	Ch. 238U	4,1 ± 0,8	5,9 ± 1,1	10,7 ± 1,7	13,2 ± 1,5	4,4 ± 0,8	7,4 ± 1,2
210 Pb	Ch. 238U	7,3 ± 3,2	-	37 ± 6	56 ± 6	-	7,9 ± 3,4
228 Ac	Ch. 232Th	5 ± 1	4,2 ± 1,0	12,1 ± 1,9	15,0 ± 1,8	4,7 ± 1,0	8,3 ± 1,3
212 Pb	Ch. 232Th	3,8 ± 0,5	4,9 ± 0,6	13,6 ± 1,7	19,2 ± 1,3	4,1 ± 0,6	8,3 ± 1,0
235 U MAX	Ch. 235U	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,2	1,0 ± 0,2	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1
40 K	1,3 10 ⁹ ans	401 ± 48	193 ± 24	287 ± 35	330 ± 23	200 ± 25	158 ± 19
7 Be	53,2 jours	< 10	< 8	34 ± 5	80 ± 9	< 5	< 8

Tableau 5 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les sédiments marins (sables et vases) prélevés en **mars et octobre 2010 (2/2)**.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-30	101012-OCR-26	101012-OCR-15	100330-OCR-30	101012-OCR-11
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-30	101012-OCR-26	101012-OCR-15	100330-OCR-30	101012-OCR-11
Catégorie		sédiment	sédiment	sédiment	sédiment	sédiment
Dénomination ou [Genre - espèce]		sable de plage	sable de plage	sable de plage	sable de plage	sable de plage
Prélèvement						
Date		31-mars-10	12-oct-10	11-oct-10	31-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Gd Fort Philippe	Gd Fort Philippe	Jetée des Huttes	Digue du Clipon	Digue du Clipon
Expression des résultats						
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS						
57 Co	271,8 jours	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,2
58 Co	70,8 jours	< 1	< 0,7	< 0,7	< 0,5	< 0,6
60 Co	5,3 ans	< 0,4	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
106 Ru-Rh	373 jours	< 6	< 6	< 6	< 6	< 5
110m Ag	250 jours	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,3	< 0,3
129 I	15,7 10 ⁶ ans	nr	nr	nr	nr	nr
131 I	8,0 jours	nr	nr	nr	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
137 Cs	30,0 ans	2,7 ± 0,4	0,36 ± 0,14	< 0,3	0,30 ± 0,15	0,29 ± 0,12
154 Eu	8,6 ans	< 0,5	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4
241 Am	437,7 ans	1,2 ± 0,3	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,5
RADIONUCLÉIDES NATURELS						
234 Th (63 keV)	Ch. 238U	-	-	-	-	-
234m Pa	Ch. 238U	< 40	< 32	< 40	< 40	< 36
226 Ra MAX	Ch. 238U	8,7 ± 3,3	13,7 ± 3,6	11,3 ± 3,4	13,0 ± 3,6	11,4 ± 3,0
214 Pb (= 226Ra min)	Ch. 238U	4,0 ± 0,7	4,9 ± 0,8	5,9 ± 0,9	5,5 ± 0,8	6,0 ± 0,8
214 Bi	Ch. 238U	5,1 ± 0,9	4,8 ± 0,9	5,8 ± 1,0	6,3 ± 1,1	6 ± 1
210 Pb	Ch. 238U	6,6 ± 3,6	-	-	6,7 ± 3,6	8,9 ± 3,2
228 Ac	Ch. 232Th	4,5 ± 1,0	4,5 ± 1,1	5,9 ± 1,2	6,2 ± 1,2	5,9 ± 1,1
212 Pb	Ch. 232Th	4,2 ± 0,6	4,4 ± 0,6	5,7 ± 0,7	5,4 ± 0,7	5,7 ± 0,7
235 U MAX	Ch. 235U	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1
40 K	1,3 10 ⁹ ans	212 ± 26	245 ± 26	224 ± 27	259 ± 31	270 ± 32
7 Be	53,2 jours	< 5	< 7	< 7	< 5	< 6

Tableau 6 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les eaux de mer (fraction sel) prélevés en mars et octobre 2010.

Identification de l'échantillon					
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-05	101012-OCR-16	100330-OCR-31	101012-OCR-21
Catégorie		eau	eau	eau	eau
Dénomination ou [Genre - espèce]		eau de mer	eau de mer	eau de mer	eau de mer
Prélèvement					
Date		29-mars-10	11-oct-10	30-mars-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Cap Gris nez	Jetée des Huttes	Gd Fort Philippe	Gd Fort Philippe
Expression des résultats					
Unité		Bq.l ⁻¹	Bq.l ⁻¹	Bq.l ⁻¹	Bq.l ⁻¹
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS					
57 Co	271,8 jours	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
58 Co	70,8 jours	< 0,2	< 0,2	< 0,03	< 0,2
60 Co	5,3 ans	< 0,04	< 0,05	< 0,06	< 0,05
106 Ru-Rh	373 jours	< 1	< 0,5	< 2	< 0,9
110m Ag	250 jours	< 0,06	< 0,05	< 0,07	< 0,05
129 I	15,7 10 ⁶ ans	nr	nr	nr	nr
131 I	8,0 jours	nr	nr	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,04
137 Cs	30,0 ans	< 0,04	< 0,05	< 0,05	< 0,04
154 Eu	8,6 ans	< 0,04	< 0,04	< 0,05	< 0,04
241 Am	437,7 ans	< 0,04	< 0,04	< 0,05	< 0,04
RADIONUCLEIDES "NATURELS"					
40 K	1,3 10 ⁹ ans	12,2 ± 1,6	11,4 ± 1,5	11,6 ± 1,6	9,6 ± 1,3
7 Be	53,2 jours	< 3	< 2	< 3	< 2

Tableau 7 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les échantillons de légumes prélevés dans les Jardins de Cocagne de Gravelines en juin et octobre 2010.

Identification de l'échantillon		100618-OCR-01	100618-OCR-01	100618-OCR-02	100618-OCR-03	101012-OCR-28	101012-OCR-29
n° d'enregistrement interne		100618-OCR-01	100618-OCR-01	100618-OCR-02	100618-OCR-03	101012-OCR-28	101012-OCR-29
Catégorie		radis	radis	oignons	navets	poireaux	chou vert
Dénomination ou [Genre - espèce]		<i>racine</i>	<i>fanés</i>	-	-	-	-
Prélèvement							
Date		17-juin-10	17-juin-10	17-juin-10	17-juin-10	11-oct-10	11-oct-10
Lieu (commune) ou site		Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines	Gravelines
Localisation		Jardins de Cocagne	Jardins de Cocagne	Jardins de Cocagne	Jardins de Cocagne	Jardins de Cocagne	Jardins de Cocagne
Expression des résultats							
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS							
57 Co	271,8 jours	< 0,3	< 0,4	< 0,5	< 0,4	< 2	< 0,8
58 Co	70,8 jours	< 0,8	< 0,8	< 2	< 2	< 6	< 5
60 Co	5,3 ans	< 0,7	< 0,8	< 2	< 2	< 3	< 2
106 Ru-Rh	373 jours	< 13	< 13	< 20	< 20	< 48	< 33
110m Ag	250 jours	< 0,7	< 0,7	< 2	< 2	< 3	< 2
129 I	15,7 10 ⁶ ans	< 0,2	< 0,8	< 0,3	< 0,2	< 0,5	< 0,4
131 I	8,0 jours	< 0,2	< 2	< 3	< 3	nr	nr
134 Cs	2,1 ans	< 0,8	< 0,7	< 2	< 2	< 3	< 2
137 Cs	30,0 ans	< 0,8	< 0,7	< 2	< 2	< 3	< 2
154 Eu	8,6 ans	< 0,6	< 0,7	< 1	< 1	< 2	< 2
241 Am	437,7 ans	< 0,8	< 0,8	< 2	< 2	< 3	< 2
RADIONUCLEIDES "NATURELS"							
40 K	1,3 10⁹ ans	116 ± 18	127 ± 19	79 ± 17	89 ± 18	1500 ± 180	800 ± 100
7 Be	53,2 jours	< 6	< 6	< 10	< 10	58 ± 36	< 45

Tableau 8 : Comparaison des résultats des analyses gamma obtenus dans les échantillons terrestres (végétaux, sol) prélevés au collège de Gravelines et sur la Jetée des Huttes en **juin et octobre** 2010.

Identification de l'échantillon		100330-OCR-07	100330-OCR-08	100330-OCR-25
n° d'enregistrement interne		100330-OCR-07	100330-OCR-08	100330-OCR-25
Catégorie		herbe	sol	mousses terrestres
Dénomination ou [Genre - espèce]		-	10-20 cm	-
Prélèvement				
Date		30-mars-10	30-mars-10	31-mars-10
Lieu (commune) ou site		Gravelines	Gravelines	Jetée des Huttes
Localisation		Collège	Collège	digue
Expression des résultats				
Unité		Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec	Bq.kg ⁻¹ sec
RADIONUCLEIDES ARTIFICIELS				
57 Co	271,8 jours	< 2	< 0,3	< 2
58 Co	70,8 jours	< 3	< 0,6	< 3
60 Co	5,3 ans	< 3	< 0,4	< 3
106 Ru-Rh	373 jours	< 48	< 7	< 40
110m Ag	250 jours	< 3	< 0,4	< 3
129 I	15,7 10 ⁶ ans	< 4	< 0,9	< 4
131 I	8,0 jours	< 6	nr	< 4
134 Cs	2,1 ans	< 3	< 0,4	< 3
137 Cs	30,0 ans	< 4	1,9 ± 0,3	< 3
154 Eu	8,6 ans	< 3	< 0,5	< 3
241 Am	437,7 ans	< 4	< 0,6	< 3
RADIONUCLEIDES "NATURELS"				
40 K	1,3 10⁹ ans	810 ± 110	255 ± 31	201 ± 46
7 Be	53,2 jours	287 ± 38	< 6	328 ± 42

D2 – Résultats des analyses effectués par scintillation liquide : mesure du tritium dans l'eau.**Tableau 9** : Comparaison des résultats du dosage du tritium dans les eaux (eaux de mer, eaux de pluie et eaux de surfaces) prélevées **en mars et octobre 2010**.

Nature	Lieu	Identification	Date de prélèvement	Volume analysé	Activité (Bq/L)
Eau de mer	Cap Gris Nez	100330-OCR-06	29/03/2010	10 ml	< 6
		101012-OCR-07	10/10/2010	10 ml	< 7
Eau de mer	Platiers d'Oye	100330-OCR-21	30/03/2010	10 ml	7,8 ± 3,1
		101012-OCR-18	11/10/2010	10 ml	< 7
Eau de mer	Grand Fort Philippe	100330-OCR-32	30/03/2010	10 ml	9,6 ± 3,1
		101012-OCR-22	12/10/2010	10 ml	< 7
Eau de mer	Jetée des Huttes	100330-OCR-24	31/03/2010	10 ml	< 6
		101012-OCR-17	11/10/2010	10 ml	< 7
Eau de mer	Digue du Clipon	100330-OCR-18	31/03/2010	10 ml	< 6
		101012-OCR-12	11/10/2010	10 ml	< 7
Eau de pluie	Collège de Gravelines	100330-OCR-09	30/03/2010	10 ml	< 6
Eau de pluie	Collège de Gravelines	101012-OCR-27	11/10/2010	10 ml	< 7
Eau douce	Douves de Gravelines	101012-OCR-30	11/10/2010	10 ml	< 7

E - Commentaires

E1 - Radioactivité artificielle dans les algues (tableau 1)

Les algues prélevées et analysées appartiennent à la famille des algues brunes, elles sont toutes de l'espèce *Fucus vesiculosus* (varech vésiculeux).

Trois radioéléments artificiels ont été mis en évidence dans ces algues : le **cobalt-60**, l'**iode-129** et le **césium-137**. Le cobalt-60 et le césium-137 peuvent provenir de la centrale nucléaire de Gravelines et des usines de retraitement d'AREVA la Hague, tandis que l'iode-129 provient exclusivement du retraitement des combustibles nucléaires usés opérés sur le site d'AREVA La Hague.

L'**iode-129** est détecté sur les trois échantillons, à des teneurs relativement semblables compte tenu de leur proximité géographique ; entre 1,7 et 3,1 Bq/kg sec. Aucune évolution significative n'est à noter entre les deux prélèvements effectués au cours de l'année.

Le **cobalt-60** a été mis en évidence dans les seules algues de la digue du Clipon (de $0,62 \pm 0,35$ à $0,71 \pm 0,32$ Bq/kg sec). Parmi les trois stations étudiées, c'est la plus proche de l'émissaire de rejets du CNPE de Gravelines ; on peut donc a priori attribuer la présence de cet isotope aux rejets d'effluents liquides de la centrale.

Le **césium-137** a été mis en évidence dans 3 échantillons sur 6, aux stations de Grand Fort Philippe et du Clipon. Dans ce cas également, les activités détectées sont relativement homogènes (moins de 1 Bq/kg sec). L'origine précise de cet isotope est plus délicate à déterminer, compte tenu d'apports possibles anciens (essais nucléaires atmosphériques, Tchernobyl...) ayant marqué les sédiments. Cependant, s'agissant d'une incorporation dans du matériel biologique vivant, il est très vraisemblable que les activités observées aujourd'hui dans les algues soient le reflet des rejets radioactifs marins actuels des installations nucléaires.

Les niveaux en ^{129}I sont plus importants que ceux en ^{60}Co et ^{137}Cs , notamment en raison de l'affinité préférentielle des algues avec l'iode de l'eau de mer (facteur de concentration élevé), et également parce que cet élément est rejeté en grande quantité par les usines de retraitement. En outre, AREVA NC a mis en place un dispositif qui, maintenant, transfère une partie des rejets gazeux d'iode dans l'atmosphère en rejets liquides en mer.

E2 - Radioactivité artificielle dans les mollusques (tableaux 2 et 3)

Deux espèces de mollusques ont été prélevées : des patelles du genre *Patella sp.* et des moules du genre *Mytilus edulis*.

Dans les moules, aucun isotope radioactif artificiel n'a été détecté, au premier comme au second semestre 2010.

Dans les patelles, bioindicateur habituellement prélevé dans le cadre de l'Observatoire, un seul isotope a été mis en évidence : l'**argent-110m** (métastable). Cet isotope est caractéristique des rejets radioactifs d'une centrale nucléaire en fonctionnement. Il est présent dans les patelles de la jetée des Huttes (mars et octobre), soit juste au droit de la sortie des effluents liquides radioactifs de la centrale de Gravelines. Les niveaux mesurés vont de $1,7 \pm 0,8$ à $3,3 \pm 0,9$ Bq/kg sec.

Dans la stratégie habituelle d'études radioécologiques conduites par le laboratoire de l'ACRO, le choix des bio-indicateurs marins est important. Pour une information plus complète, celle-ci est basée sur une complémentarité des espèces sélectionnées en raison de leurs différents modes alimentaires (les moules sont des filtreurs et les patelles des brouteurs de micro-algues) et donc de voies distinctes d'incorporation de radionucléides.

E3 - Radioactivité artificielle dans les sédiments marins (tableaux 4 et 5)

L'essentiel du front de mer dans la zone couverte par la surveillance radioécologique est constitué de sables. Seule la station des platiers d'Oye a bénéficié d'un double prélèvement : sable en front de mer et, sédiments plus fins (vases), dont le dépôt en arrière du cordon dunaire est possible grâce à la configuration du littoral à cet endroit.

Trois isotopes radioactifs artificiels ont été relevés dans certains des 11 échantillons analysés : cobalt-60, césium-137 et américium-241. Le cobalt-60 et le césium-137 peuvent provenir de la centrale nucléaire de Gravelines, mais aussi des usines de retraitement d'AREVA la Hague (ainsi que pour le ¹³⁷Cs, des retombées anciennes des essais nucléaires atmosphériques et de celles de l'accident de Tchernobyl), tandis que l'américium-241 peut avoir comme origine les retombées des essais nucléaires et les rejets radioactifs marins des usines de retraitement des combustibles nucléaires usés opérés sur le site d'AREVA La Hague.

Le cobalt-60 est uniquement mis en évidence aux platiers d'Oye (vases) entre 1 et 2 ($\pm 0,3$) Bq/kg sec.

L'américium-241 est présent aux platiers d'Oye (vases) et à Grand Fort Philippe (sables), respectivement à 1,7($\pm 0,4$) et 1,2($\pm 0,3$) Bq/kg sec.

Le césium-137, absent des sables d'Oye-plage et de la Jetée des Huttes, est présent sur les quatre autres sites, et varie entre 0,3($\pm 0,15$) et 2,8($\pm 0,4$) Bq/kg sec.

Du fait des différentes origines possibles de ces isotopes, il est assez difficile de préciser la période à laquelle ces sédiments ont pu être marqués.

La granulométrie des sédiments jouant également un rôle dans la modulation des concentrations (les particules fines fixent mieux les radionucléides que les sables grossiers), elle peut également expliquer les différences observées entre les vases des platiers d'Oye et les sables des autres sites.

E4 - Radioactivité dans les eaux (tableaux 6 et 9)

Eau de mer :

Les analyses des eaux de mer par spectrométrie gamma n'ont révélé aucune présence d'isotope radioactif artificiel (au-delà de la limite de détection). Seule la présence de potassium-40 (élément naturel) est observée, entre 9 et 13 Bq/L, ce qui est caractéristique des eaux de mer.

En revanche, l'analyse par scintillation liquide des eaux de mer a révélé deux valeurs significatives en tritium (³H) dans les eaux de mer prélevées aux platiers d'Oye (7,8 Bq/l) et à Grand fort Philippe (9,6 Bq/l) au premier semestre 2010.

Le tritium est (sur un plan quantitatif) le principal élément radioactif qui entre dans la composition des effluents liquides d'une centrale nucléaire, il est donc très vraisemblable que le marquage observé des eaux soit dû aux rejets du CNPE de Gravelines.

Rappel : la concentration naturelle en tritium dans l'eau de mer en surface est voisine de 0,2 Bq/litre.

Eau de pluie :

Seule l'analyse par scintillation liquide a été conduite sur les 2 échantillons d'eau de pluie récoltés par les élèves du collège P. et M. CURIE de Gravelines. Les résultats donnent des valeurs inférieures à la limite de détection (< 7 Bq/l).

Eau douce :

Un seul échantillon d'eau douce a été prélevé, il s'agit de l'eau circulant dans les canaux autour du centre ville de Gravelines. Le résultat de l'analyse ^3H en scintillation liquide est inférieur à la limite de détection (< 7Bq/L).

E5 - Radioactivité artificielle dans les denrées alimentaires – légumes (tableau 7)

Les analyses ont porté sur cinq légumes différents : navets, radis, oignons, choux et poireaux, tous cultivés en plein champ. Les prélèvements ont été calés en fonction des périodes habituelles de récolte de ces légumes : juin et octobre. Les analyses par spectrométrie gamma ont porté sur l'échantillon entier, seuls les radis ont fait l'objet d'un fractionnement : les racines et les feuilles ont été analysées séparément.

Aucune de ces six analyses n'a mis en évidence la présence d'éléments radioactifs artificiels émetteurs gamma dans ces légumes.

E6 - Radioactivité artificielle dans le domaine terrestre (tableau 8)

Mousses terrestres de la jetée des Huttes :

Aucun isotope radioactif artificiel gamma n'a été mis en évidence dans les mousses terrestres prélevées sur la jetée des Huttes. Le béryllium-7 (radionucléide naturel formé dans l'atmosphère) est un élément caractéristique des retombées atmosphériques (sèches et/ou humides) sous forme d'aérosols.

Echantillons du collège de Gravelines :

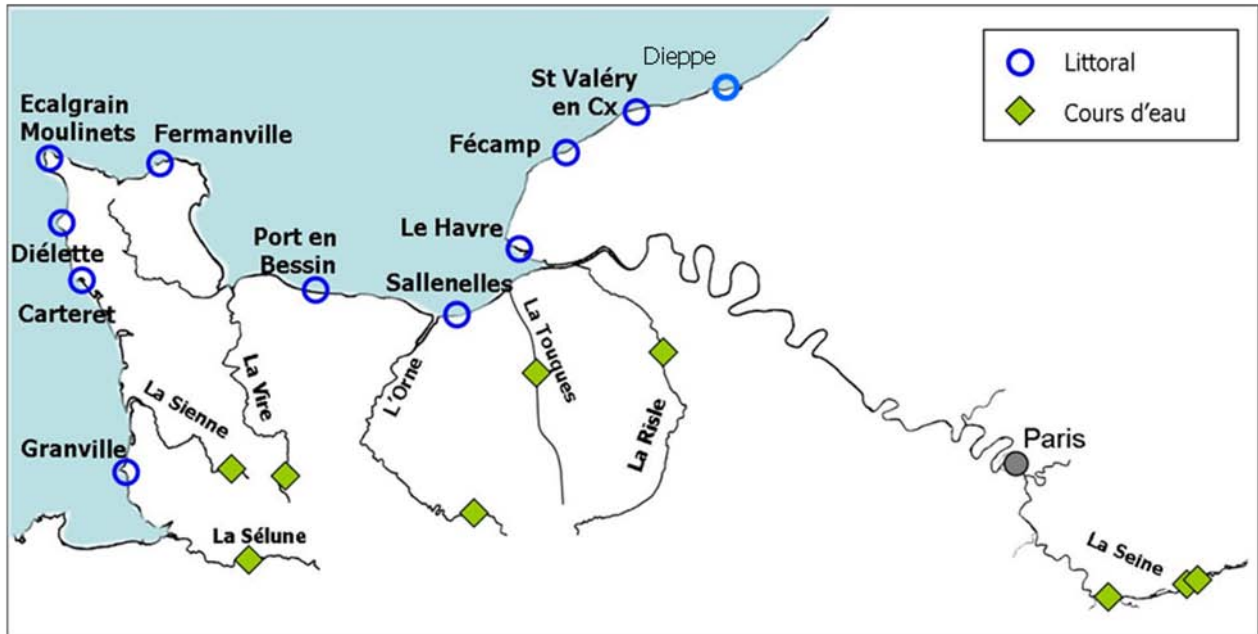
Herbe : aucun isotope artificiel n'est détecté. On peut noter, la présence de plusieurs isotopes naturels, dont le béryllium-7, caractéristique des retombées atmosphériques (sèches et/ou humides).

Sol : un seul isotope radioactif artificiel a été mis en évidence dans l'échantillon de terre du collège, il s'agit du césium-137, quantifié à $1,9 \pm 0,3$ Bq/kg sec. Ce radionucléide peut provenir des retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl et de celles des essais atomiques. En effet, cette activité est tout à fait comparable à l'activité moyenne mesurée actuellement dans les sols du territoire français pour ce radioélément.

F. Comparaison aux autres données ACRO du suivi du littoral normand.

L'ACRO effectue une surveillance des niveaux de radioactivité du littoral normand depuis plusieurs années (cf. figure 2), ce qui nous a permis de dresser des profils d'évolution dans le temps et dans l'espace pour différents radionucléides. Nous présentons ici des éléments de comparaison permettant de replacer les résultats issus de la surveillance effectuée 2010 sur la côte d'Opale dans un contexte plus général.

Figure 2 : Carte de la répartition géographique des stations du suivi environnemental de l'ACRO.

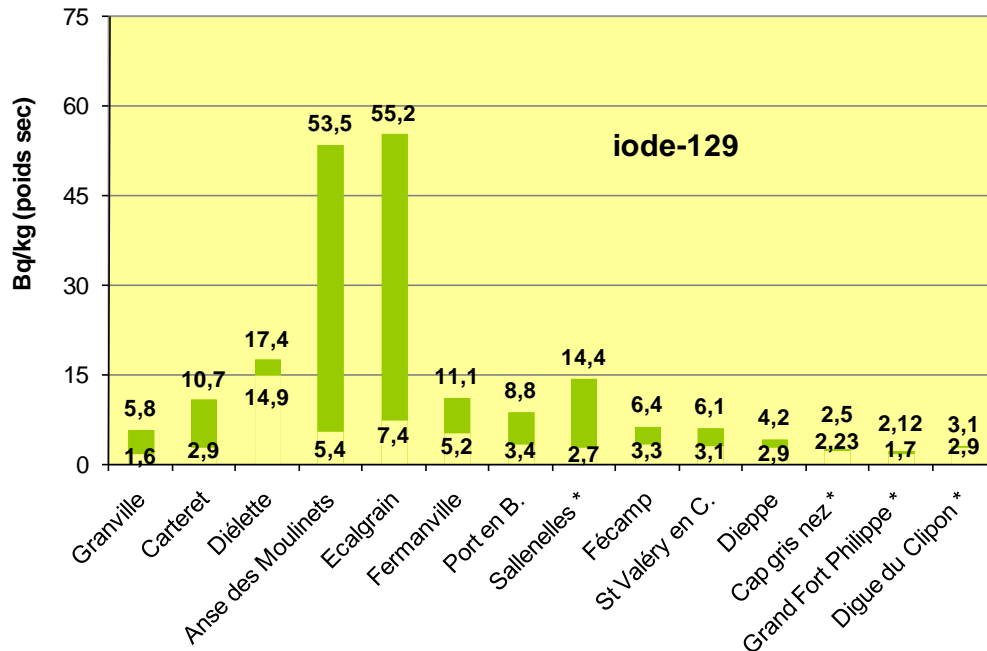


ALGUES BRUNES

Parmi les nombreux radionucléides surveillés dans le cadre de l'Observatoire Citoyen de la Radioactivité dans l'Environnement par l'ACRO, l'iode-129 et le cobalt-60 possèdent une répartition géographique caractéristique des rejets des usines d'AREVA la Hague. En effet, on observe un profil longitudinal (le long des côtes) qui représente très bien l'impact local des rejets des usines de retraitement, qui ensuite s'estompe progressivement avec la distance et dans le sens des courants marins (d'Ouest en Est).

Concernant les niveaux en iode-129 dans les algues brunes, les données acquises par l'ajout des stations de la côte d'Opale en 2010, a permis de prolonger le profil et de confirmer sa répartition spatiale (figure 3).

Figure 3 : Activités minimales et maximales en **iode-129** dans les algues brunes observées sur la période 2005-2010 pour le littoral normand ; comparées aux valeurs observées entre mars et octobre 2010 pour la côte d'Opale.



Remarque : les algues brunes prélevées sont de l'espèce *Fucus serratus*, sauf pour les sites marqués d'un (*) où il s'agit de *Fucus vesiculosus*.

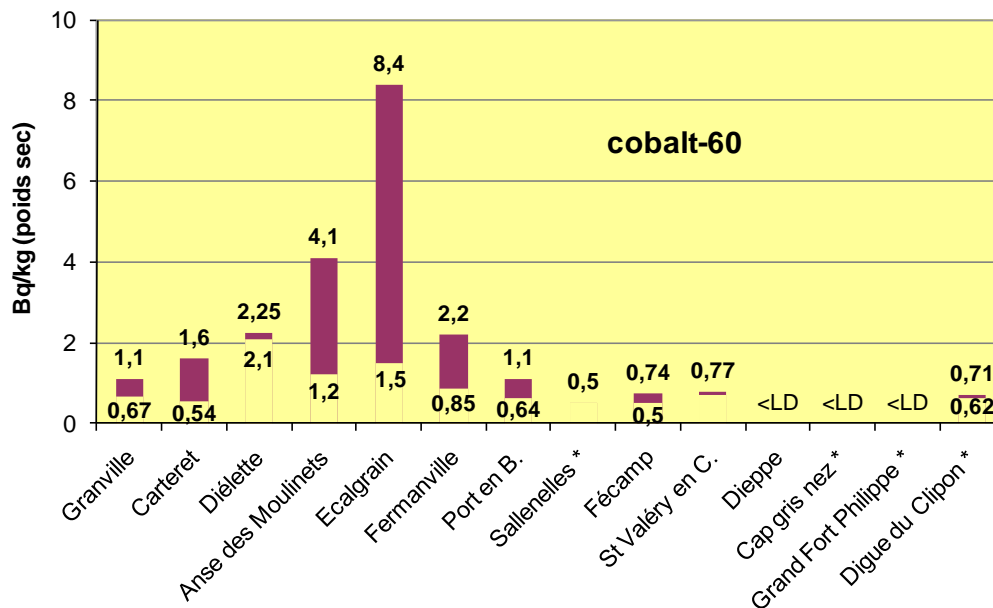
Cet isotope (l'iode-129) provient exclusivement des usines AREVA NC de la Hague, région où les activités sont environ vingt fois supérieures à celles observées dans les échantillons autour de Gravelines.

La répartition spatiale de cet isotope confirme l'unique source de pollution que représente AREVA, puisque les niveaux faiblissent progressivement avec l'éloignement.

En revanche, dans le cas du cobalt-60, le profil géographique, qui peut sembler similaire à celui de l'iode-129, laisse apparaître un possible impact de la centrale nucléaire de Gravelines dans le marquage radioactif du littoral (figure 4).

En effet, on observe une diminution progressive des activités dans les algues depuis la Hague (Ecalgrain) jusqu'à Saint-Valéry en Caux, puis une absence de détection (< limite de détection) sur environ 200 kilomètres de littoral, avant de détecter de nouveau cet isotope juste au droit de la centrale nucléaire de Gravelines, sur la digue du Clipon.

Figure 4 : Activités minimales et maximales en **cobalt-60** dans les algues brunes observées sur la période 2005-2010 pour le littoral normand ; comparées aux valeurs observées entre mars et octobre 2010 pour la côte d'Opale.



Remarque : les algues brunes prélevées sont de l'espèce *Fucus serratus*, sauf pour les sites marqués d'un (*) où il s'agit de *Fucus vesiculosus*.

MOLLUSQUES

Moules

Dans le cadre de l'Observatoire Citoyen de l'ACRO, seules les patelles sont prélevées ; nous n'avons donc pas d'élément de comparaison en ce qui concerne les moules. Les données disponibles sont celles fournies par le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNMRE). Les résultats communiqués concernent des moules prélevées à Oye-plage font état de la présence de deux radionucléides artificiels que sont le cobalt-60 et le césium-137, respectivement à $0,03(\pm 0,02)$ et $0,05(\pm 0,02)$ Bq/kg frais.

D'autres moules prélevées le 08/04/2009 (EDF) autour de Gravelines (localisation non précisée), révèlent $0,04(\pm 0,02)$ Bq/kg frais de ^{60}Co et $0,027(\pm 0,007)$ Bq/kg frais de ^{137}Cs .

Patelles

Le seul radionucléide artificiel émetteur gamma mis en évidence dans les patelles (jetée des Huttes) est l'argent-110 métastable. Sa présence est vraisemblablement due aux rejets radioactifs du CNPE de Gravelines, étant donnée la position du site de prélèvement très proche de l'émissaire de rejets et le fait que cet élément soit un constituant caractéristique des rejets liquides des réacteurs nucléaires.

Dans le cadre du suivi du littoral de l'ACRO, cet isotope a été révélé par le passé sur le site de St-Valéry en Caux jusqu'en septembre 2005 et, sa détection réduite géographiquement révélait l'influence des rejets des CNPE de Paluel et de Penly.

Les niveaux mesurés aux Huttes [$1,7(\pm 0,8)$ et $3,3(\pm 0,9)$ Bq/kg sec] sont significativement supérieurs à ceux observés à St-Valéry en Caux en 2005 [$0,87(\pm 0,23)$ et $0,68(\pm 0,31)$ Bq/kg sec]. La distance entre le site de

prélèvement et l'émissaire de rejet peut expliquer cette différence de concentration, St-Valéry étant à 5 km de Paluel et à 40 km de Penly.

Les deux autres radionucléides artificiels régulièrement mis en évidence dans les patelles du littoral normand sont le cobalt-60 et le couple ruthénium/rhodium-106. Le $^{106}\text{Ru/Rh}$ est rejeté essentiellement par les usines de retraitement et, sa détection est circonscrite aux patelles des sites proches du cap de la Hague. En revanche, le ^{60}Co est également rejeté par les centrales nucléaires en fonctionnement ; sa détection est étendue à l'ensemble des côtes des départements de la Manche et du Calvados.

En Haute-Normandie, seules les patelles de St-Valéry en Caux ont révélé un marquage au cobalt-60 en septembre 2008, montrant l'influence possible des rejets des CNPE de Paluel et Penly.

Les niveaux en cobalt-60 dans les patelles de la côte d'Opale, site de Gravelines, sont de l'ordre de $0,03(\pm 0,02)$ Bq/kg frais, selon les données du RNMRE (avril 2009).

SEDIMENTS MARINS

Comme pour la plupart des radionucléides artificiels mis en évidence dans les indicateurs de l'environnement, le césium-137 provient en partie des rejets des usines de retraitement du combustible nucléaire. Or, le ^{137}Cs ayant été fortement rejeté dans l'atmosphère lors des tirs atmosphériques des essais nucléaires et lors de l'accident de Tchernobyl, il est retrouvé dans presque tous les sols et sédiments de l'hémisphère nord. C'est pourquoi sa répartition géographique n'est plus centrée autour de la Hague, mais plutôt modulée par les apports terrigènes (lessivage des bassins versants). Les concentrations les plus importantes sont alors souvent observées à proximité des estuaires, comme c'est le cas au Havre, estuaire de la Seine.

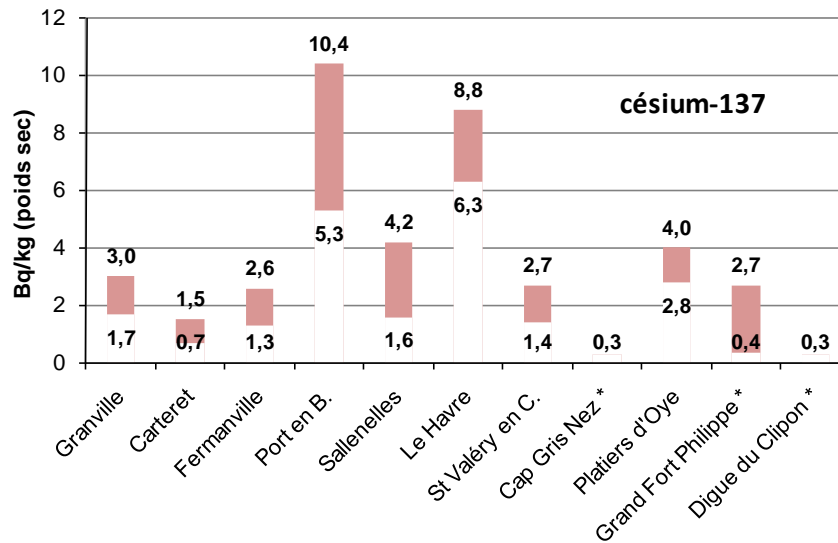
Le second paramètre pouvant influencer la contamination des sédiments (par la plupart des polluants) est leur granulométrie (distribution des particules de différentes tailles). En effet, les vases, qui contiennent plus de particules fines que les sables de plages, présenteront des concentrations en ^{137}Cs plus importantes.

Les échantillons prélevés au Cap Gris Nez et à la digue du Clipon étaient des sables, ce qui explique les faibles activités en ^{137}Cs mesurées ($0,3 \pm 0,1$ Bq/kg sec), comparables à certains sables des plages de la Manche.

En revanche, aux Platiers d'Oye, parmi les deux types de sédiments récoltés (sables et vases), ce sont les vases qui ont mis en évidence la présence de césium-137 (voir figure 5), d'américium-241 (voir figure 6) et de cobalt-60.

Le site de Grand Fort a permis de prélever des sables, lesquels présentent des activités en ^{137}Cs non négligeables pour des sables de plage ; l'influence du bassin versant de l'Aa est certainement à prendre en compte.

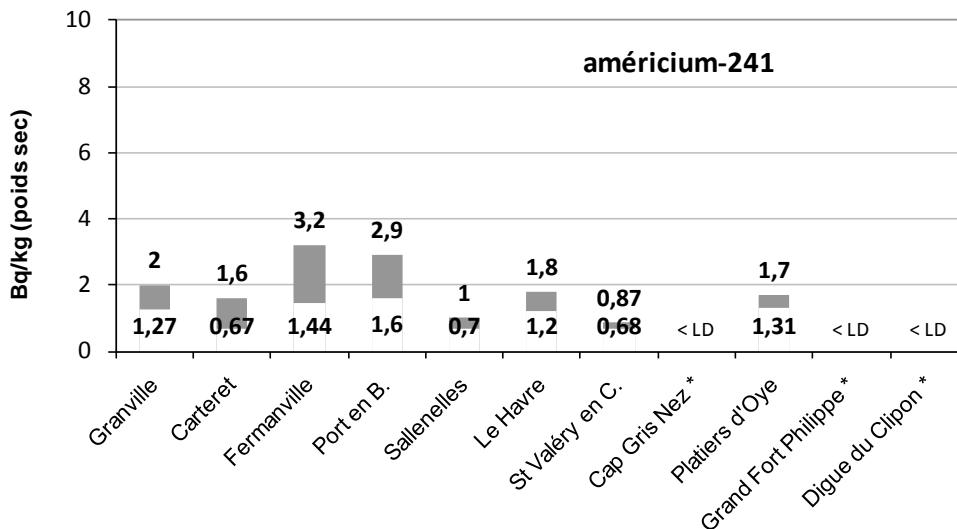
Figure 5 : Activités minimales et maximales en **césium-137** des sédiments observées sur la période 2005-2010 pour le littoral normand ; comparées aux valeurs observées entre mars et octobre 2010 pour la côte d’Opale.



Remarque : les sédiments prélevés sont des vases, sauf pour les sites marqués d’un (*) où il s’agit de sables de plage.

Dans le cas de l’américium-241, sa présence est à rapprocher, comme pour le césium-137, des retombées des essais nucléaires et des rejets des usines d’AREVA NC de la Hague.

Figure 6 : Activités minimales et maximales en **américium-241** des sédiments observées sur la période 2005-2010 pour le littoral normand ; comparées aux valeurs observées entre mars et octobre 2010 pour la côte d’Opale.



Remarque : les sédiments prélevés sont des vases, sauf pour les sites marqués d’un (*) où il s’agit de sables de plage.

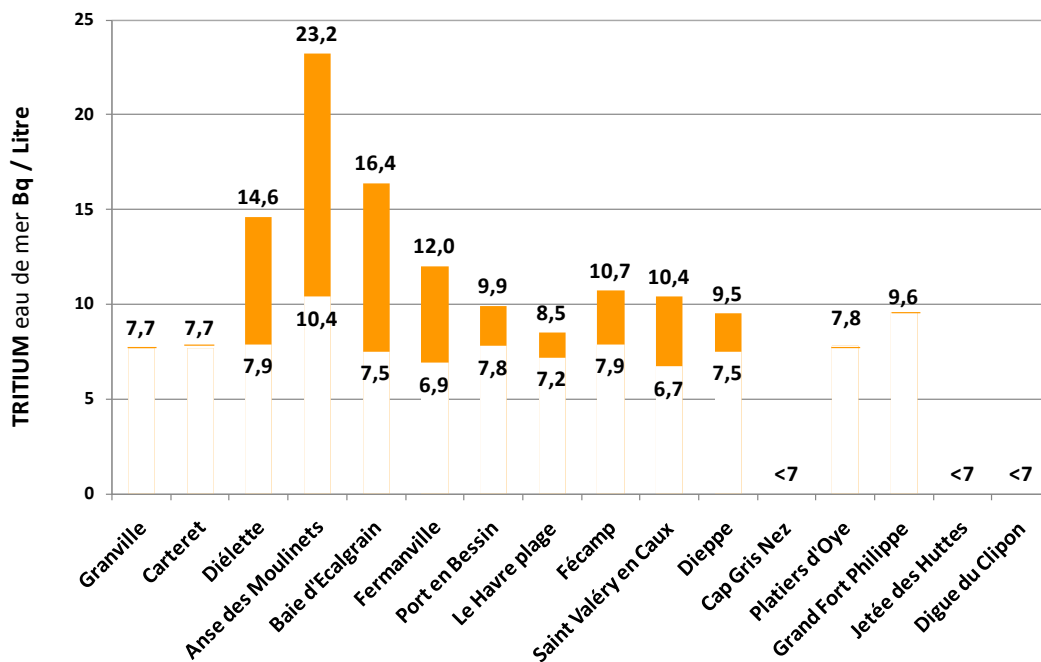
EAU DE MER

Les usines de retraitement d'AREVA la Hague étant le principal contributeur de la pollution de l'eau de mer par le tritium, on retrouve le profil géographique de contamination caractéristique du littoral normand (voir figure 7). Non seulement la région de la Hague présente les activités les plus importantes, mais la fréquence de détection est également supérieure à la plupart des autres stations. Avec une fréquence de prélèvement mensuelle sur certaines stations de la pointe de la Hague, le tritium est presque systématiquement détecté. Or l'échantillon d'eau n'est représentatif que de l'instant du prélèvement (à la différence des indicateurs biologiques et inertes qui concentrent et accumulent les polluants avec le temps), ce qui indique une contamination quasiment permanente de l'eau de mer dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres autour du cap de la Hague.

Au-delà d'une certaine distance, la contribution des rejets de la Hague diminue mais celle des centrales nucléaires côtières apparaît, comme en témoignent les concentrations en tritium dans l'eau de mer prélevée entre Fécamp et Dieppe.

Sur la côte d'Opale, du tritium a été détecté sur les stations des Platiers d'Oye et de Grand Fort, uniquement au premier trimestre (mars 2010). Les valeurs observées (respectivement $7,8 \pm 3,1$ et $9,6 \pm 3,2$ Bq/L) sont du même ordre de grandeur que celles observées dans le cadre de l'Observatoire citoyen de l'ACRO en Haute-Normandie. On peut raisonnablement penser à une double contribution du marquage observé, par les rejets des usines AREVA et par les centrales nucléaires dont celle de Gravelines. Le fait que toutes les stations autour de Gravelines n'aient pas révélé la présence de tritium, peut sans doute s'expliquer par les mouvements des masses d'eau (courants côtiers, marées) pouvant faire fluctuer les concentrations d'un même point au cours d'une même journée.

Figure 7 : Activités minimales et maximales en **tritium** de l'eau de mer observées sur la période 2005-2010 pour le littoral normand ; comparées aux valeurs observées entre mars et octobre 2010 pour la côte d'Opale.



G. Conclusion

Le suivi radioécologique conduit en 2010 autour de la centrale nucléaire de Gravelines permet de compléter les données environnementales disponibles par le biais des surveillances réglementaires et de l'Observatoire Citoyen mis en place par l'ACRO. Ce dernier, étendu à l'ensemble du littoral normand, présente aujourd'hui une continuité géographique intéressante pour le suivi spatial et temporel des radionucléides présents sur les côtes de la Manche et de la Mer du Nord.

Cinq radionucléides artificiels émetteurs gamma (^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{129}I , ^{137}Cs , ^{241}Am) et un émetteur bêta pur, le tritium (^3H) ont été mis en évidence dans l'environnement proche de Gravelines, grâce à la complémentarité des échantillons prélevés. En effet, du fait d'affinités préférentielles entre des indicateurs (espèces animales, végétales et sédiments) et certains radionucléides, il est nécessaire d'assurer à la fois une diversification des prélèvements et des méthodes d'analyse, pour établir le bilan le plus complet possible.

Les résultats obtenus confirment la répartition dans l'espace et dans le temps des principaux radionucléides artificiels couramment observés le long du littoral de la Manche. Ainsi, le profil géographique de l'iode-129 (isotope rejeté par les usines d'AREVA la Hague) habituellement observés sur les côtes normandes, se prolonge jusqu'aux sites de la côte d'Opale de manière tout à fait régulière, c'est-à-dire avec une diminution des concentrations dans le sens des principaux courants marins et avec la distance aux usines de retraitement des combustibles irradiés de la Hague.

Toutefois, l'influence probable des rejets de la centrale de Gravelines a été mise en évidence dans certains échantillons. Les bioindicateurs (algues et patelles) prélevés à proximité de l'installation, ont révélé la présence d'argent-110m et de cobalt-60, caractéristiques des rejets d'un CNPE. Il en est de même pour le tritium (hydrogène radioactif) qui a été mis en évidence dans les eaux à proximité du site nucléaire de Gravelines.

Les radionucléides recherchés dans cette étude (émetteurs gamma et tritium libre) représentent un large éventail des principaux radionucléides rejetés par les différentes installations nucléaires. Dans l'objectif de compléter ce premier bilan, certains autres isotopes relâchés par les CNPE, pourraient être ajoutés à la liste ; c'est le cas d'éléments (émetteurs bêta pur) comme le carbone-14 et la fraction organiquement liée du tritium qui, de par leur nature, se substituent aux atomes de carbone et d'hydrogène stables, et entrent dans la composition de la matière organique et donc de la vie.

Enfin, les ateliers menés en partenariat avec la CLI et le collège Pierre et Marie Curie, ont permis de sensibiliser les élèves de deux classes aux notions liées à la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Ils ont également pu participer à deux campagnes de prélèvements, la première organisée au sein du collège, la seconde sur le littoral.

Annexes

ANNEXE 1/3 ORIGINE DES PRINCIPAUX ELEMENTS RADIOACTIFS ARTIFICIELS OBSERVES DANS L'ENVIRONNEMENT

Eléments radioactifs	Origine(s)	Période radioactive
Cobalt-60	Retraitement /centrales /arsenal	5,3 ans
Ruthénium-Rhodium-106	Retraitement	373 jours
Argent -110m	Retraitement /centrales /arsenal	250 jours
Iode-129	Retraitement	1,6 10 ⁷ ans
Iode -131	Retraitement /centrales /arsenal/médecine nucléaire	8 jours
Césium-137	Retraitement /centrales /arsenal /retombées atmosphériques passées	30 ans
Américium-241	Retraitement / retombées atmosphériques passées	438 ans
Tritium (3H)	Retraitement /centrales /arsenal/déchets	12,3 ans
Carbone 14	Retraitement /centrales /arsenal /retombées atmosphériques passées	5730 ans

ANNEXE 2/3
METROLOGIE

Dosage des radionucléides par spectrométrie gamma

TRAITEMENT	L'échantillon traité (séchage, tamisage) est homogénéisé. Une aliquote représentative est prélevée pour être conditionnée dans une géométrie de comptage adaptée à la mesure par spectrométrie gamma.
MATERIEL	Spectrométrie gamma Ortec de type N comprenant : un blindage en plomb d'épaisseur 10 cm, un système d'acquisition numérique (DSPEC), un détecteur au germanium hyperpur coaxial de type N (Ortec) et d'efficacité 32% monté dans un cryostat vertical. La plage d'énergie prise en référence s'étend de 27 à 2000 keV. Les conteneurs utilisés sont des boîtes rondes transparentes en polystyrène cristal d'un volume utile de 61 ml (référéncées 7215)
GRANDEUR	La grandeur déterminée est l'activité en becquerel (Bq) par kilogramme de matière brute (kg sec).

EXPRESSIONS DES RESULTATS

EN GENERAL	<p>Les mesures sont réalisées avec des géométries identiques à celles des sources de référence et concernent les radionucléides émetteurs gamma présentant une ou plusieurs raies d'émission sur la plage d'énergie prise en référence. Parmi l'ensemble des radionucléides évoqués précédemment, seuls les plus caractéristiques sont présentés dans les tableaux de résultats en l'absence de demande spécifique par le client. Dans tous les cas, le tableau fait état, au minimum, de tous les radionucléides artificiels détectés.</p> <p>Seules les activités supérieures à la limite de détection de la chaîne d'analyse sont exprimées. Dans le cas contraire, et pour les seuls radionucléides mentionnés, la limite de détection –LD- (ou plus petite activité décelable) précédée du signe " < " est rapportée. Lorsqu'il n'est pas possible de déduire une limite de détection de manière satisfaisante, les données chiffrées sont remplacées par " - ".</p> <p>Lorsqu'un radionucléide mentionné n'a pas été recherché, la mention « non recherché » (nr) est rapportée. L'activité de chaque radioélément présent dans l'échantillon est exprimée en becquerel par kilogramme brut (Bq / kg sec), suivi de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95%. Toute activité exprimée, y compris la limite de détection, est rapportée à la date de référence indiquée dans les tableaux de résultats.</p>
CAS PARTICULIER DU RADIUM 226	<p>Le calcul de l'activité massique du 226Ra à partir de son unique raie de taux d'émission faible (3,29%) et située à 186 keV, dépend de la possibilité de déterminer précisément la contribution de l'235U, lequel interfère à cette même énergie. D'où plusieurs expressions de l'activité de cet isotope.</p> <p>Expression " 226Ra max " : Déterminée à partir de la raie à 186 keV, c'est une grandeur subjective qui indique l'activité massique qui pourrait être imputée au radium-226 si l'échantillon ne contenait pas d'uranium.</p> <p>Expression " 214Pb " (=226 Ra min) : Dans un système à l'équilibre, l'activité du 226Ra correspond à celle du plomb-214 (ou du bismuth-214), ces deux radionucléides étant aisément quantifiables. L'activité massique du 214Pb correspond donc à l'activité massique minimale que peut prendre le</p>

226Ra. En d'autres termes, il ne peut y avoir dans l'échantillon une activité massique en radium-226 inférieure à la valeur indiquée, aux incertitudes près. Elle est déduite de l'activité massique du plomb-214. Plus « l'âge du conditionnement » est faible (inférieur à 20 jours) plus le caractère minorant est accentué.

Dosage du tritium par scintillation liquide

TRAITEMENT	L'échantillon d'eau brute est soit filtrée à 0,45µm (eau douce non chargée) soit distillée à sec (eau de mer).
MATÉRIEL	<p>Le dosage du tritium s'effectue avec une chaîne de spectrométrie bêta à scintillation liquide, modèle TRI-CARB 2250CA de Packard. Le dispositif est réfrigéré en permanence à l'aide d'un groupe froid. La salle des analyses est climatisée.</p> <p>Les géométries de comptage employées sont des fioles en polyéthylène bas bruit de fond anti-statique (référence 6000477) distribuées par la société Perkin Elmer.</p> <p>L'étalonnage est effectué à l'aide d'une solution HTO certifiée et tient compte de l'affaiblissement lumineux (Quenching). Dans tous les cas, cet ensemble est déterminé pour une matrice analogue à celle des échantillons à mesurer. La fenêtre de comptage utilisée pour le mesurage de l'activité volumique du tritium s'étend de 0 à 6,5 keV. Le mouvement propre (ou bruit de fond) est déterminé à l'aide de l'eau de source minérale naturelle « des Abatilles ».</p>
GRANDEUR	<p>La grandeur déterminée est l'activité en becquerel (Bq) par litre (L) ou activité volumique. Elle est suivie de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95%. Seules les activités volumiques supérieures à la limite de détection de la chaîne d'analyse sont exprimées. Lorsqu'un (ou plusieurs) radioélément(s) émetteur(s) bêta a (ont) été détecté(s) mais ne peut être quantifié correctement, la mention « Identifié Non Quantifié » (INQ) est rapportée.</p> <p>Toute activité exprimée, y compris la limite de détection, est rapportée à la date de fin de prélèvement.</p>

ANNEXE 3/3
QUALIFICATIONS DU LABORATOIRE

INFORMATIONS CONCERNANT LE LABORATOIRE	
CAPACITES METROLOGIQUES	<p>Actuellement, le laboratoire de l'ACRO offre la possibilité de mesurer le radon dans l'air, le tritium (HTO) dans les eaux et les radionucléides émetteurs gamma, quelque soit la matrice. D'autres mesures sont en cours de développement.</p> <p>Les méthodes d'analyses sont conformes aux normes existantes ainsi qu'aux exigences organisationnelles et techniques fixées par la norme ISO/CEI 17025.</p>
AGREMENTS	
<p>A ce jour, le laboratoire dispose d'agrément pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement et la mesure du radon.</p>	
<p>Décision n°DEP-DEU-0704-2009 du 8/12/09</p> <p>De l'Autorité de Sûreté Nucléaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure des radioéléments émetteurs gamma de forte et moyenne énergies et de faible énergie dans les matrices de type biologique (validité juin 2014) - Mesure du tritium dans les eaux (validité juin 2014)
<p>Décision n°DEP-DIS-346-2008 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure de l'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public (validité septembre 2011)
<p>Décision n°CODEP-DEU-2010-031543 du 15/06/10 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure des radioéléments émetteurs gamma de forte, moyenne énergie (>100 keV) et de faible énergie (<100KeV) dans les eaux. - Isotopes de U dans les matrices de type "sol". - Isotopes de Th dans les matrices de type "sol". - 226Ra et descendants dans les matrices de type "sol". - 228Ra et descendants dans les matrices de type "sol". - U pondéral dans les matrices de type "sol".
INTERCOMPARAISONS	
<p>L'aptitude du laboratoire est vérifiée chaque année depuis 1997 dans le cadre des campagnes annuelles d'intercomparaison organisées par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). D'une manière générale, les intercomparaisons portent sur des matières de références certifiées et concernent plus d'une trentaine de laboratoires en France.</p>	

Liste des intercomparaisons récentes auxquelles a participé le laboratoire de l'ACRO.

Demandeur	ASN	Arrêtés du 17 octobre 2003 et du 27 juin 2005 portant organisation d'un réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement	
Organisateur	Institut de radioprotection et de Sureté Nucléaire	Service de Traitement des échantillons et de métrologie pour l'environnement	
Matrice de l'échantillon	Code exercice interlaboratoires	Radionucléides mesurés avec succès	Année
Eau	93SH300	3H (tritium)	2008
Algue marine	74AL300	40K, 60Co, 129I, 125Sb, 137Cs	2004
Eau	76EE300	60Co, 134Cs, 137Cs, 241Am	2005
Sol naturel	82SL300	40K, 137Cs	2006
Biologique (feuilles)	91V300	60Co, 134Cs, 137Cs, 109Cd et 40K	2006
Sédiments lacustre	96SL300	Isotopes uranium et thorium, 226Ra, 228Ra, 210Pb, 212Pb	2009
Eau	95EE300	22Na, 65Zn, 106Rh, 134Cs, 137Cs, 241Am	2009
Sol	105SL300	241Am, 134Cs, 137Cs, 60Co, 57Co	2010