



CHAPITRE 2

SITE ET ENVIRONNEMENT

2.1 POPULATION

2.2 ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL, VOIES DE COMMUNICATION

2.3 MÉTÉOROLOGIE

2.4 HYDROGÉOLOGIE - HYDROLOGIE

2.5 GÉOLOGIE GÉNÉRALE DU SITE - SISMICITÉ ET SISMOLOGIE

2.6 SITUATION RADIOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE ET ÉVOLUTION

2.7 ÉCONOMIE RURALE ET ACTIVITÉS ANNEXES

2.8 CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES EN FONCTIONNEMENT NORMAL PROVENANT DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS GAZEUX ET LIQUIDES



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 1

PAGE 1/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.2.1 POPULATION	3
1. RÉPARTITION DE LA POPULATION AUTOUR DU SITE	3
1.1. RAYON DE 50 KM	3
1.2. RAYON DE 10 KM	4
2. POPULATION TEMPORAIRE	4
2.1. TOURISME	4
2.2. ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ PUBLIQUE, MÉDICO-SOCIAUX ET SOCIAUX	5
2.3. ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES	5

TABLEAUX :

TAB-2.1.1 COMMUNES DE PLUS DE 5000 HABITANTS DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	6
TAB-2.1.2 RÉPARTITION DE LA POPULATION DE 0 À 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	7
TAB-2.1.3 RÉPARTITION DE LA DENSITÉ DE POPULATION (HAB/KM²) DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	8
TAB-2.1.4 COMMUNES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	9
TAB-2.1.5 ÉTABLISSEMENTS TOURISTIQUES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (AU 1^{ER} JANVIER 2012)	10
TAB-2.1.6 ÉTABLISSEMENTS MEDICO-SOCIAUX ET SOCIAUX IMPLANTÉS DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNEE 2013)	13
TAB-2.1.7 ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (EFFECTIF AU 1^{ER} OCTOBRE 2012)	14

FIGURES :

FIG-2.1.1 RÉPARTITION DE LA POPULATION DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE POUR L'ANNÉE 2011	16
FIG-2.1.2 COURBE DE POPULATION CUMULÉE EN FONCTION DE LA DISTANCE AU SITE (ANNÉE 2011)	17
FIG-2.1.3 RÉPARTITION DE LA POPULATION DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNEE 2011)	18

.2.1 POPULATION

La description de la population autour du site de Flamanville prend en compte la population résidente au niveau régional (50 km) et proche du site de Flamanville (10 km). Les populations temporaires sont recensées dans un périmètre proche du site (10 km).

1. RÉPARTITION DE LA POPULATION AUTOUR DU SITE

Le site de Flamanville est implanté dans le département de la Manche (50), dans la région de la Basse-Normandie, seul département présent dans un rayon de 50 km autour du site, avec les îles Anglo-Normandes de Jersey, Sercq, Guernesey et Aurigny.

Les données démographiques de la population française et des îles anglo-Normandes proviennent :

- des recensements de la population de 2011¹, 2006 et 1999 pour les villes françaises, réalisés par l'INSEE ;
- des recensements de 2011, 2001 et 1991 pour les îles Anglo-Normandes. Les îles de Jersey et de Guernesey disposent chacune de leur propre institut de recensement.

En France, 1 475 684 habitants résident en Basse-Normandie en 2011. La population a augmenté de 2,4 % entre 1999 et 2006, et de 1,3 % entre 2006 et 2011.

En 2011, le département de la Manche possède 499 531 habitants. La population a augmenté de 3,7% entre 1999 et 2011 (2,3 % entre 1999 et 2006 et 1,4 % entre 2006 et 2011). Il s'agit du second département de la région (sur trois) en termes de population.

La répartition de la population, en 2011 dans le département de la Manche est la suivante :

- 17,6% de la population a moins de 14 ans (soit 87 722 personnes) ;
- 15,6% de la population a de 15 ans à 29 ans (soit 77 829 personnes) ;
- 18% de la population a de 30 ans à 44 ans (soit 89 671 personnes) ;
- 21,1% de la population a de 45 ans à 59 ans (soit 105 622 personnes) ;
- 16,2% de la population a de 60 ans à 74 ans (soit 81 089 personnes) ;
- 11,5% de la population a 75 ans et plus (soit 57 599 personnes).

1.1. RAYON DE 50 KM

La liste des communes de plus de 5000 habitants dans le rayon des 50 km autour du site avec leurs populations aux recensements de 1999, 2006 et 2011 est donnée dans le tableau [TAB-2.1.1](#).

Le tableau [TAB-2.1.2](#) et la figure [FIG-2.1.1](#) donnent la répartition de la population dans un rayon de 50 km autour du site, par secteur angulaire de 20°. La répartition de la population cumulée tous secteurs confondus jusqu'à 50 km autour du site est représentée sur la figure [FIG-2.1.2](#).

Les villes les plus importantes dans un rayon de 50 km sont :

- Equeurdreville-Hainneville (17 386 habitants), à 21 km au nord-est du site ;
- Cherbourg-Octeville (37 754 habitants), à 22 km au nord-est du site ;
- Tourlaville (15 836 habitants), à 25 km au nord-est du site ;
- Saint Helier (33 522 habitants), à 42,5 km au sud-ouest du site ;

1. Les populations légales millésimées 2011 ont été publiées par l'INSEE le 1^{er} janvier 2014. Leur date de référence statistique est le 1^{er} janvier 2011.

- Saint Saviour (13 591 habitants) à 39,7 km à l'ouest du site ;
- Saint Peter Port (18 207 habitants) à 48,1 km à l'ouest du site.

Dans un rayon de 50 km autour du site de Flamanville, la population passe de 340 329 habitants en 1999, à 353 462 habitants en 2011, soit une augmentation de 3,9%. En 2011, la population des communes situées dans un rayon de 50 km est répartie de la sorte :

- 210 085 habitants pour les communes françaises ;
- 143 377 habitants pour les paroisses (canton administratif) des îles Anglo-Normandes.

En 2011, la population des villes de plus de 5 000 habitants présentes dans un rayon de 50 km est de 208 958 habitants (196 776 habitants en 1999).

L'évolution de la population dans les villes de plus de 5 000 habitants, dans un rayon de 50 km autour du site, entre 1999 et 2011, amène les constats suivants :

- la population des communes françaises de plus de 5 000 habitants a diminué de 8,2 % sur la période 1999-2011, passant de 96 725 à 88 747 habitants ;
- la population des paroisses anglo-normandes de plus de 5 000 habitants a augmenté de 20,1 % sur la période 1999-2011, passant de 100 051 à 120 211 habitants.

Enfin, la densité de population dans un rayon de 50 km centrée sur le site, est de 45 habitants par km², (tableau [TAB-2.1.3](#)), ce qui est sensiblement inférieur à la densité en France métropolitaine (114 habitants par km²).

1.2. RAYON DE 10 KM

La liste des communes dans un rayon de 10 km autour du site ainsi que leur population aux recensements de 1999, 2006 et 2011 sont données dans le tableau [TAB-2.1.4](#).

La figure [FIG-2.1.3](#) donne la répartition de la population dans un rayon de 10 km autour du site, par secteur angulaire de 20°.

Dans cette zone d'étude de 10 km, toutes les communes sont localisées en France dans le département de la Manche (aucune paroisse appartenant aux îles Anglo-Normandes).

En 2011, la population dans ce rayon est de 11 913 habitants (10 661 habitants en 1999).

La commune la plus importante présente dans un rayon de 10 km autour du site est la commune des Pieux (3 527 habitants).

A noter que le centre de la commune la plus proche est celui de Flamanville, à 1,2 km à l'est du site.

La population a augmenté entre 1999 et 2011 dans les zones proches du site de Flamanville : + 11,7% dans un rayon de 10 km autour du site (la population passant de 10 661 à 11 913 habitants). La population a augmenté entre 1999 et 2006 (+ 4%) et a continué de progresser plus rapidement de 2006 à 2011 (+ 7,5%).

La région d'implantation du site de Flamanville se caractérise par une faible densité de la population, 38 habitants par km² dans l'aire de 10 km de rayon centrée sur le site (tableau [TAB-2.1.3](#)).

2. POPULATION TEMPORAIRE

2.1. TOURISME

Le département de la Manche possède un riche patrimoine naturel avec des sites remarquables tel que le mont Saint-Michel, et offre des paysages variés formés de dunes, de falaises, de bocages, de

marais et de plages. Le département possède également un riche patrimoine historique avec notamment les sites liés à la bataille de Normandie.

La zone proche du site de Flamanville possède des attraits touristiques comme :

- le château de Flamanville qui constitue un élément important du patrimoine du Cotentin ;
- les îles Anglo-Normandes, accessibles depuis des points d'embarquements de Barneville-Carteret et de Diélette ;
- de nombreuses activités sportives (randonnées, cheval, sports nautiques).

La navigation de plaisance est une activité importante dans le Cotentin et notamment dans la zone, avec les ports de Diélette et de Barneville-Carteret.

- Port Diélette :

Le port de Diélette est situé à 1 km au nord du site, protégé par le Cap de Flamanville. Il est face aux îles Anglo-Normandes de Guernesey (28 milles nautique), Jersey (36 milles nautique) et Aurigny (12 milles nautique). Le bassin de plaisance permet d'accueillir 420 bateaux à l'année en permanence. La marina est accessible durant en moyenne 7h à 7h30 par marée. Dans le port de commerce, il y a un appontement pour la pêche, un ponton d'attente (40 places) pour les plaisanciers et un ponton embarquement passagers. Le port dispose d'une station de distribution de carburants.

Le trafic de passagers a lieu d'avril à octobre pour les îles Anglo-Normandes, et il existe un trafic de fret par cargo.

- Barneville – Carteret :

À une vingtaine de kilomètres au sud du site de Flamanville, se trouve le port des Isles de Barneville-Carteret. Situé à l'embouchure d'un très beau havre bien protégé, il offre un abri privilégié, avec en bout de canal, 311 places en bassin ainsi qu'un ponton (60 places) pour les visiteurs. Il dispose également d'une station de carburant.

Une liaison maritime est assurée vers les îles Anglo-Normandes (Jersey et Guernesey). Les capacités d'hébergement touristique des communes situées dans un rayon de 10 km autour du site (d'après les données du 1^{er} janvier 2012 transmises par la Chambre de Commerce et d'Industrie de la Manche) sont présentées dans le tableau [TAB-2.1.5](#).

2.2. ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ PUBLIQUE, MÉDICO-SOCIAUX ET SOCIAUX

Les capacités d'hébergement dans les établissements de santé publique implantés sur les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville sont présentées dans le tableau [TAB-2.1.6](#).

2.3. ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES

Les capacités d'accueil des établissements scolaires implantés sur les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville sont présentées dans le tableau [TAB-2.1.7](#). Ces données issues du recensement du nombre d'élèves inscrits dans des établissements scolaires au 1^{er} octobre 2012 ont été fournies par l'inspection d'académie de la Manche.

TAB-2.1.1 COMMUNES DE PLUS DE 5000 HABITANTS DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Distance (km)	Dép	Nom de la commune	Pays	Population (en hab.)		
				1999	2006	2011
19,8	50	QUERQUEVILLE	F	5145	5536	5136
20,9	50	EQUEURDREVILLE -HAINNEVILLE	F	18173	17522	17386
21,8	50	CHERBOURG6OCTEVILLE	F	42918	40838	37754
23,9	50	GLACERIE	F	5401	5043	5578
25,4	50	TOURLAVILLE	F	17551	16649	15836
30,0	50	VALOGNES	F	7537	7274	7057
39,7	-	ST SAVIOUR	JBJ	12491		13580
42,4	-	ST CLEMENT	JBJ	8196		5418
42,5	-	ST HELIER	JBJ	28310		9221
44,7	-	ST BRELADE	JBJ	10134		33522
46,8	-	St SAMPSON	JBG	8592		5003
47,1	-	VALE	JBG	9573		10568
48,1	-	ST PETER PORT	JBG	16488		8890
48,9	-	ST MARTIN	JBG	6267		9415

Distance : il s'agit de la distance entre le site de Flamanville et le centre de la commune concernée (borne repère)

Source : France – INSEE – Recensements de 1999, 2006 et 2011.

Iles Anglo-Normandes – Cellule statistiques des gouvernements des îles de Jersey (JBJ) et Guernesey (JBG) – Recensement de 1991, 2001 et 2011.

TAB-2.1.2 RÉPARTITION DE LA POPULATION DE 0 À 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Secteur en °	350 à 10	10 à 30	30 à 50	50 à 70	70 à 90	90 à 110	110 à 130	130 à 150	150 à 170	170 à 190	190 à 210	210 à 230	230 à 250	250 à 270	270 à 290	290 à 310	310 à 330	350 à 350	Total angulaire	Cumul
0 à 2	0	0	0	0	0	1732	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1732	1732
2 à 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1732
4 à 6	0	0	0	1095	0	718	3527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5340	7072
6 à 8	0	0	0	498	458	600	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1850	8922
8 à 10	0	0	572	0	0	489	714	0	1216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2991	11913
10 à 20	1745	3183	8931	4645	5973	2983	5740	1644	3129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37973	49886
20 à 30	0	0	0	72038	9841	12475	2792	2779	2293	0	0	0	0	0	0	0	1903	0	104121	154007
30 à 40	0	0	0	4207	4836	6951	6426	5755	1827	0	20499	2911	0	550	0	0	0	0	53962	207969
40 à 50	0	0	0	318	9153	2460	7026	5276	3746	0	53027	21420	0	43067	0	0	0	0	145493	353462
Total distance	1745	3183	9503	82801	30261	28408	26225	15748	12211	0	73526	24331	0	43617	0	0	1903	0	353462	

Source : France – INSEE – Recensement 2011

Iles Anglo-Normandes – Cellules statistiques des gouvernements des îles de Jersey, Sark et Guernesey – Recensement 2001

TAB-2.1.3 RÉPARTITION DE LA DENSITÉ DE POPULATION (HAB/KM²) DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Secteur en °	350 à 10	10 à 30	30 à 50	50 à 70	70 à 90	90 à 110	110 à 130	130 à 150	150 à 170	170 à 190	190 à 210	210 à 230	230 à 250	250 à 270	270 à 290	290 à 310	310 à 330	350 à 350	Total angulaire	Cumul
0 à 2	0	0	0	0	0	2481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	138	138
2 à 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
4 à 6	0	0	0	314	0	206	1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	63
6 à 8	0	0	0	102	94	123	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	44
8 à 10	0	0	91	0	0	78	114	0	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	38
10 à 20	33	61	171	89	114	57	110	31	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40
20 à 30	0	0	0	825	113	143	32	32	26	0	0	0	0	0	0	0	22	0	66	54
30 à 40	0	0	0	34	40	57	53	47	15	0	168	24	0	5	0	0	0	0	25	41
40 à 50	0	0	0	2	58	16	45	34	24	0	338	136	0	274	0	0	0	0	51	45
Total distance	4	7	22	190	69	65	60	36	28	0	169	56	0	100	0	0	4	0	45	

Source : France – INSEE – Recensement 2011

Iles Anglo-Normandes – Cellules statistiques des gouvernements des îles de Jersey, Sark et Guernesey – Recensement 2001

TAB-2.1.4 COMMUNES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Distance (km)	Dép	Nom de la commune	Pays	Population (en hab.)		
				1999	2006	2011
1,2	50	FLAMANVILLE	F	1683	1686	1732
4,0	50	SIOUVILLE-HAGUE	F	995	1079	1095
5,0	50	TREAUVILLE	F	632	675	718
5,7	50	PIEUX	F	3477	3387	3527
6,6	50	ROZEL	F	261	268	294
7,2	50	HELLEVILLE	F	324	418	458
7,3	50	BENOITVILLE	F	458	541	600
7,8	50	HEAUVILLE	F	373	360	498
9,1	50	SAINT-GERMAIN-LE-GAILLARD	F	624	646	714
9,2	50	SOTTEVILLE	F	347	362	489
9,7	50	BIVILLE	F	415	496	572
9,8	50	SURTAINVILLE	F	1072	1167	1216

Distance : il s'agit de la distance entre le site de Flamanville et le centre de la commune concernée (borne repère)

Source : France – INSEE – Recensements de 1999, 2006 et 2011.

TAB-2.1.5 ÉTABLISSEMENTS TOURISTIQUES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (AU 1^{ER} JANVIER 2012)

Distance (km)	Dép	Commune	Établissements	Nombre	Capacité (lits touristiques)
1,2	50	FLAMANVILLE	Chambre d'hôtes labélisée	1	4
			Hébergement non marchand	NC	750
			Hôtel	3	86
			Hôtellerie de plein-air	2	189
			Meublés	7	45
4,0	50	SIOUVILLE-HAGUE	Aire de camping-car	2	NC
			Chambre d'hôtes labélisée	1	4
			Hébergement collectif	1	70
			Hébergement non marchand	NC	1080
			Hôtellerie de plein-air	2	390
			Meublés	12	64
5,0	50	TREAUVILLE	Aire de camping-car	1	NC
			Chambre d'hôte labélisée	1	4
			Chambre d'hôte non labélisée	1	6
			Hébergement non marchand	NC	230
			Meublés	6	29
5,7	50	LES PIEUX	Aire de camping-car	3	NC
			Chambre d'hôtes labélisée	1	4

Distance (km)	Dép	Commune	Établissements	Nombre	Capacité (lits touristiques)
			Chambre d'hôtes non labélisée	1	8
			Hébergement non marchand	NC	700
			Hôtel	2	66
			Hôtellerie de plein-air	1	810
			Meublés	8	32
6,6	50	LE ROZEL	Aire de camping-car	1	NC
			Chambre d'hôte labélisée	2	13
			Chambre d'hôte non labélisée	1	14
			Hébergement non marchand	NC	235
			Hôtellerie de plein-air	1	461
			Meublés	3	17
7,2	50	HELLEVILLE	Hébergement non marchand	NC	45
7,3	50	BENOISTVILLE	Chambre d'hôte labélisée	1	5
			Chambre d'hôte non labélisée	2	6
			Hébergement non marchand	NC	105
			Meublés	1	8
7,8	50	HEAUVILLE	Hébergement non marchand	NC	70
			Meublés	1	8
9,1	50	ST GERMAIN-LE-GAILLARD	Hébergement non marchand	NC	270
			Hôtellerie de plein-air	1	35

Distance (km)	Dép	Commune	Établissements	Nombre	Capacité (lits touristiques)
			Meublés	11	58
9,2	50	SOTTEVILLE	Hébergement non marchand	NC	30
			Meublés	2	10
9,7	50	BIVILLE	Chambre d'hôte non labélisée	1	14
			Hébergement non marchand	NC	30
			Meublés	9	78
9,8	50	SURTAINVILLE	Aire de camping-car	1	NC
			Chambre d'hôtes labélisée	1	6
			Chambre d'hôtes non labélisée	3	22
			Hébergement non marchand	NC	1310
			Hôtellerie de plein-air	1	435
			Meublés	25	137

NC : Non Communiqué

Distance : Il s'agit de la distance entre le site et le centre de la commune concernée (borne repère)

Lit touristique : unité de mesure permettant d'estimer en nombre de personnes les capacités d'accueil d'un établissement touristique

Source : Comité départemental de tourisme de la Manche – Recensement et capacité d'accueil des établissements touristiques – Données au 1^{er} janvier 2012

**TAB-2.1.6 ÉTABLISSEMENTS MEDICO-SOCIAUX ET
SOCIAUX IMPLANTÉS DANS UN RAYON DE 10 KM
AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNEE 2013)**

Distance (km)	Dép	Commune	Établissements	Nombre	Capacité d'accueil (Pers.)
1,2	50	FLAMANVILLE	Maison de retraite	1	44
4,0	50	SIOUVILLE- HAGUE	Centre de rééducation fonctionnelle	1	121
5,7	50	LES PIEUX	Halte-garderie	1	30
			Crèche collective		
			Foyers	2	64

Distance : Il s'agit de la distance entre le site et le centre de la commune concernée (borne repère)

Source : Finess (Fichier national des établissements sanitaires et sociaux) – Ministère de la Santé – Capacité d'accueil des établissements sanitaires et sociaux (hors maison de retraite et centre de rééducation fonctionnelle) – Données 2013

TAB-2.1.7 ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (EFFECTIF AU 1^{ER} OCTOBRE 2012)

Commune	Établissements	Nombre	Effectifs (nombre d'élèves)
FLAMANVILLE	Ecole maternelle	1	52
	Ecole élémentaire	1	89
	Collège	1	252
LES PIEUX	Ecole maternelle	1	154
	Ecole élémentaire	1	253
SIOUVILLE-HAGUE	Ecole maternelle	1	39
	Ecole primaire	1	77
SURTAINVILLE	Ecole maternelle	1	46
	Ecole primaire	1	63
TREAUVILLE	Ecole maternelle	1	29
	Ecole élémentaire	1	48
RPI* PIERREVILLE SAINT-GERMAIN LE GAILLARD			
SAINT-GERMAIN-LE-GAILLARD	Ecole maternelle	1	19
	Ecole élémentaire	1	52
RPI* HÉAUVILLE HELLEVILLE			
HEAUVILLE	Ecole élémentaire	1	40
HELLEVILLE	Ecole maternelle	1	27
	Ecole élémentaire	1	10
RPI* BIVILLE VAUVILLE			
BIVILLE	Ecole élémentaire	1	10
SAUTEVILLE	Ecole maternelle	1	64
	Ecole élémentaire	1	109

* : Regroupement Pédagogique Intercommunal (RPI)

Les « écoles maternelles » accueillent les enfants jusqu'à l'entrée en CP.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 1

PAGE 15/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Les « écoles élémentaires » accueillent les enfants à partir du CP jusqu'au CM2.

Source : Inspection Académique de la Manche – Liste et capacité d'accueil des établissements scolaires – Données au 1^{er} octobre 2012

FIG-2.1.1 RÉPARTITION DE LA POPULATION DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE POUR L'ANNÉE 2011

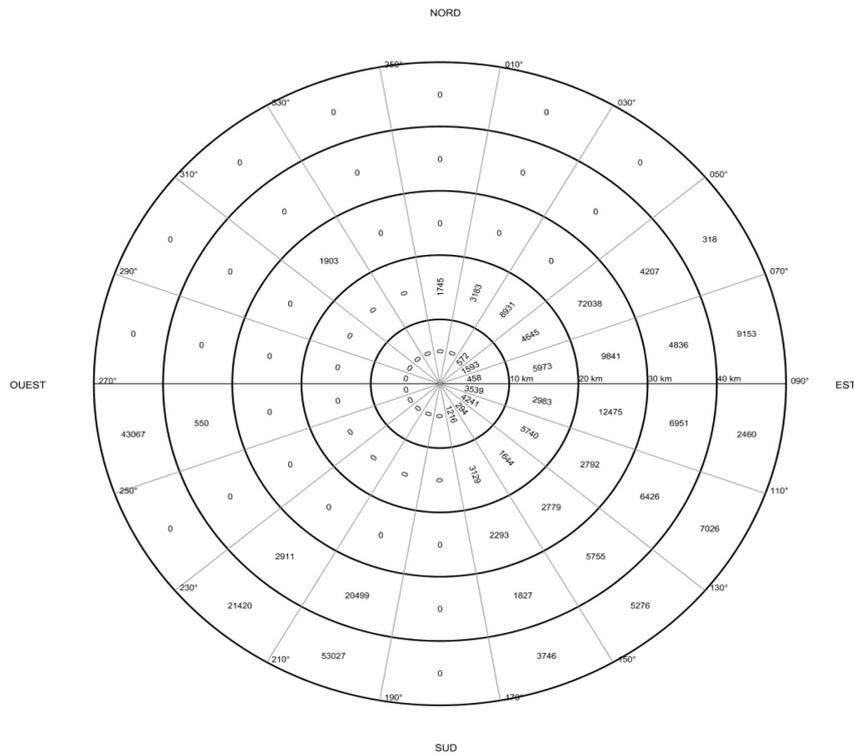


FIG-2.1.2 COURBE DE POPULATION CUMULÉE EN FONCTION DE LA DISTANCE AU SITE (ANNÉE 2011)

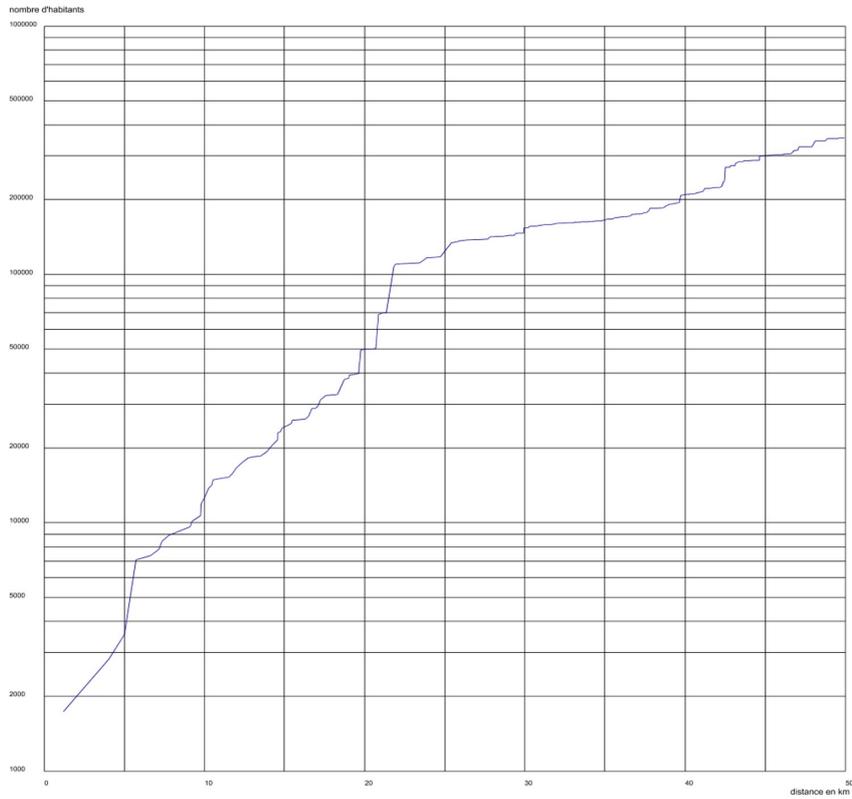
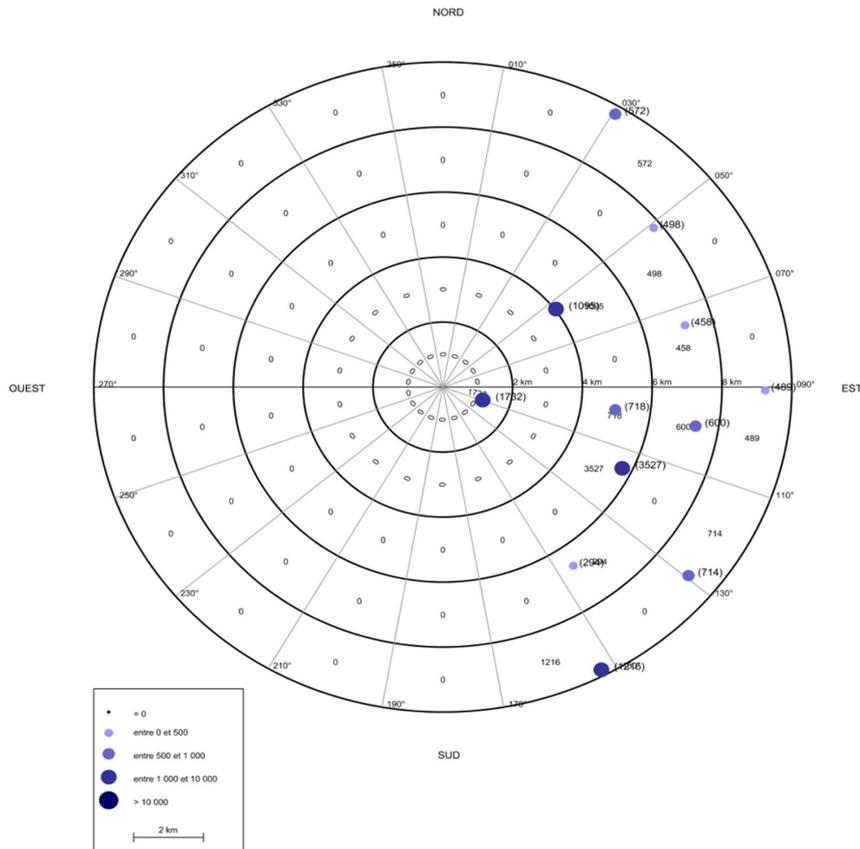


FIG-2.1.3 RÉPARTITION DE LA POPULATION DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNEE 2011)



SOMMAIRE

.2.2 ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL, VOIES DE COMMUNICATION	3
1. ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL	3
1.1. LE TISSU INDUSTRIEL DE LA RÉGION	3
1.1.1. INSTALLATIONS INDUSTRIELLES DE LA RÉGION	3
1.1.2. LES INSTALLATIONS CLASSÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE)	3
1.2. CANALISATIONS DE TRANSPORT	3
1.3. EVALUATION DES RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL	3
2. VOIES DE COMMUNICATION	4
2.1. ACCÈS, RÉSEAU ET TRAFICS ROUTIERS	4
2.1.1. ACCÈS ROUTIER ET RÉSEAU ROUTIER	4
2.1.2. TRAFIC ROUTIER	4
2.1.3. TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES PAR ROUTE	4
2.2. RÉSEAU FERROVIAIRE	5
2.3. TRAFIC MARITIME	5
2.3.1. ACTIVITÉS PORTUAIRES	5
2.3.2. VOIES MARITIMES	5
2.3.3. TRAFIC MARITIME	6
2.4. AÉRODROMES ET TRAFIC AÉRIEN	6
2.4.1. IMPLANTATION DES AÉRODROMES PROCHES DU SITE	6
2.4.2. AVIATION GÉNÉRALE	6
2.4.3. AVIATION COMMERCIALE	6
2.4.4. AVIATION MILITAIRE	6
2.4.5. CIRCULATION AÉRIENNE	7
2.5. ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX VOIES DE COMMUNICATION	7
LISTE DES RÉFÉRENCES	8

TABLEAUX :

TAB-2.2.1 PRINCIPAUX ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS AU 1^{ER} JANVIER 2008 DANS LA ZONE D'EMPLOI DE CHERBOURG	9
TAB-2.2.2 LISTES DES ICPE AUTOUR DE FLAMANVILLE	10
TAB-2.2.3 TRAFIC DE MATIÈRES DANGEREUSES À L'INTERSECTION DE LA RD 650 ET RD 23.....	12
TAB-2.2.4 TRAFIC DE MATIÈRES DANGEREUSES À L'INTERSECTION DE LA RD650 ET RD37	13
TAB-2.2.5 EXPÉDITIONS ET RÉCEPTIONS DES MATIÈRES DANGEREUSES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE 1&2 EN 2012 (CLASSE 7)	14
TAB-2.2.6 EXPÉDITIONS ET RÉCEPTIONS DES MATIÈRES DANGEREUSES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE 1&2 EN 2012 (AUTRES CLASSES)	15
TAB-2.2.7 TRAFIC GÉNÉRAL ANNUEL 2019 SUR LES VOIES MARITIMES DU DST DES CASQUETS	17
TAB-2.2.8 RÉPARTITION DES MATIÈRES DANGEREUSES TRANSPORTÉES PAR VOIE MARITIME EN 2019 PAR CODE DANGER (EN TONNE MÉTRIQUE OU EN MÈTRE CUBE)	18

FIGURES :

FIG-2.2.1 TRAFIC ROUTIER AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE.....	19
FIG-2.2.2 CARTE DE SITUATION DES POINTS DE COMPTAGE.....	20
FIG-2.2.3 MOUVEMENTS DU TRAFIC DU TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES SUR LA SOMME DES 72H	21
FIG-2.2.4 CANALISATIONS DE GAZ À PROXIMITÉ DE FLAMANVILLE.....	22
FIG-2.2.5 ITINÉRAIRES TRANSMANCHE EN VFR AUTOUR DU CNPE DE FLAMANVILLE	23
FIG-2.2.6 RÉSEAU FERROVIAIRE AUX ENVIRONS DE FLAMANVILLE.....	24
FIG-2.2.7 DISPOSITIF DE SÉPARATION DU TRAFIC DES CASQUETS ET ZONE DE MOUILLAGE OUEST COTENTIN.....	25

.2.2 ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL, VOIES DE COMMUNICATION

1. ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

1.1. LE TISSU INDUSTRIEL DE LA RÉGION

1.1.1. Installations industrielles de la région

Les principaux établissements au 1^{er} janvier 2008 dans la région de Cherbourg sont rassemblés dans le tableau [TAB-2.2.1](#). Il est à noter dans un environnement hors de la zone d'étude mais à une distance relativement proche, la présence du centre de retraitement de la Hague à 16 kilomètres au Nord de la Centrale de Flamanville.

1.1.2. Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Selon les résultats de l'enquête annuelle réalisée auprès de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Basse-Normandie, et auprès de la Direction Départementale de la Protection des Populations (DDPP) de la Manche [Réf \[1\]](#), aucune installation industrielle soumise à autorisation en fonctionnement n'est présente dans un rayon de 5 kilomètres autour de l'EPR.

De nombreuses ICPE soumises à déclaration existent dans le rayon de 10 km autour du site, notamment :

- plusieurs stations services et dépôts de carburants aux Pieux, à Flamanville, et à Pierreville ;
- plusieurs garages de vente et de réparation de véhicules à Benoîtville, à Biville, aux Pieux, à Saint-Germain-le-Gaillard, à Flamanville et à Tréauville ;
- une installation de traitement des déchets urbains sur la commune des Pieux ;
- une installation de broyage de végétaux à Surtainville ;
- une entreprise d'usinage et découpage à Biville.

La liste des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement industrielles est donnée en tableau [TAB-2.2.2](#). Ce recensement a été réalisé à l'été 2013.

D'autres ICPE agro-alimentaires soumises à autorisation ou à déclaration existent à Flamanville, Tréauville et aux Pieux (élevage de porcs ou de vaches).

1.2. CANALISATIONS DE TRANSPORT

Le réseau gaz naturel à haute pression passe à plus de 15 km du site au niveau de la ville de Quettetot (16 km à l'Est-Sud-Est).

Dans un rayon de 30 km autour du CNPE, il n'y a pas de réseau basse et moyenne pression, excepté sur la commune des Pieux qui est alimentée par un réseau moyenne pression de 16 bar (cf. figure [FIG-2.2.4](#)).

1.3. EVALUATION DES RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL

L'analyse des risques liés aux activités industrielles autour de l'EPR est portée par la section 3.3.4. L'analyse des risques liés aux activités de Flamanville 1-2 sur l'EPR est étudiée en sous-chapitre 3.8.

2. VOIES DE COMMUNICATION

2.1. ACCÈS, RÉSEAU ET TRAFICS ROUTIERS

2.1.1. Accès routier et réseau routier

Tous les accès au site de Flamanville se font à partir du plateau par la D 23 en provenance des Pieux, qui longe la côte sur 2 km à partir de Diélette, pour aboutir à l'accès Nord. Cette route contourne ensuite le site en limite Est sur la falaise, pour desservir l'accès Sud (accès principal).

La route départementale D 650 reliant Barneville-Carteret à Cherbourg par Les Pieux se situe à environ 5 km du site.

La route départementale D 37 reliant Vasteville à la départementale D 650 au niveau de Sotteville se situe à 8 kilomètres du site.

Enfin, la route départementale D 4 reliant Diélette aux Pieux par Flamanville est située à environ 1 km du site.

2.1.2. Trafic routier

Les informations sur le trafic routier autour du site de Flamanville données en figure [FIG-2.2.1](#) regroupent les données sur le trafic moyen annuel des routes nationales et départementales de 2009 à 2012 [Réf \[2\]](#) [Réf \[3\]](#).

2.1.3. Transport de matières dangereuses par route

Une étude a été réalisée en 2005 afin d'évaluer le nombre de transports de matières dangereuses circulant dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville [Réf \[4\]](#).

Les données de transport de matières dangereuses par la route dépendent des activités industrielles en cours au moment du recensement. Depuis cette enquête, il n'y a pas de nouvelles ICPE soumises à autorisation implantées dans le secteur d'étude qui pourrait avoir un impact sur le type de matières dangereuses circulant autour de Flamanville. Cependant, l'EPR FA3 est actuellement en phase de chantier, et les matières dangereuses qui seront quotidiennement transportées dans l'environnement du site seront différentes en nature et en caractéristiques de danger une fois le site en exploitation. Le risque additionnel généré par les activités de chantier n'existera plus pendant l'exploitation de la tranche.

Le comptage de véhicules a été réalisé en mars 2005 durant une enquête de 72 h (24 heures le 28 février et 4 jours consécutifs pendant 12 heures (de 7h à 19h) du 8 au 11 mars) à l'intersection des routes départementales RD 650 et RD 23, et à l'intersection des routes RD 650 et RD 37 (Cf. figure [FIG-2.2.2](#)).

La répartition par produit à chaque point de comptage est présentée dans les tableaux [TAB-2.2.3](#) et [TAB-2.2.4](#).

L'enquête a montré que très peu de matières dangereuses transitent la nuit dans ce secteur. Le trafic est important entre 10h et 13h.

Les principaux mouvements effectués au carrefour giratoire des RD 650 et RD 37 sont :

- Cherbourg / Les Pieux dans les 2 sens sur la RD 650,
- Les Pieux / Helleville dans les 2 sens entre la RD 650 et la RD 37.

Les principaux mouvements effectués au carrefour giratoire des RD 650 et RD 23 sont :

- Cherbourg / Barneville-Carteret dans les 2 sens sur la RD 650,
- Les Pieux / Bricquebec dans les 2 sens sur la RD 23,

- Les Pieux / Cherbourg et Les Pieux / Barneville-Carteret à l'intersection de la RD 650 et de la RD 23.

La répartition des véhicules transportant des matières dangereuses en fonction de l'itinéraire emprunté est indiquée sur la figure [FIG-2.2.3](#). Le trafic de matières dangereuses est plus important sur le carrefour RD650 / RD23.

Parmi les matières dangereuses transitant à proximité du site de Flamanville, il est à noter

Les flux de matières dangereuses entrantes et sortantes du site de Flamanville 1&2 pour l'année 2012 et leur répartition par code ONU sont présentés dans le tableau [TAB-2.2.5](#) pour les flux de classe 7 (matières radioactives) et dans le tableau [TAB-2.2.6](#) pour les flux d'une autre classe.

L'EPR étant un REP, les matières entrantes et sortantes seront proches de celles de Flamanville 1&2, avec des quantités divisées par 2 (en ordre de grandeur).

2.2. RÉSEAU FERROVIAIRE

La voie ferrée la plus proche est la ligne SNCF Paris-Cherbourg passant par Caen et Carentan. Le point le plus proche est à 15 km du site (cf. figure [FIG-2.2.6](#)).

2.3. TRAFIC MARITIME

2.3.1. Activités portuaires

Cherbourg est le seul port ayant une activité significative dans le Nord Cotentin, à la fois dans le commerce, la pêche et la plaisance. De par son éloignement à plus de 20 kilomètres, son activité ne génère pas de risque industriel particulier. Les ports de Barneville-Carteret et de la Dielette sont des ports de moindre importance regroupant des activités de plaisance, de trafic passagers et de fret.

2.3.2. Voies maritimes

Les navires marchands de gros tonnages assurant le transit entre l'Europe du Nord et les ports du Golfe Persique, de la Méditerranée et des Etats-Unis empruntent des voies bien déterminées définies à l'échelon international lors de leur passage dans la Manche nommées respectivement T2 pour la navigation montante et T1 pour la navigation descendante.

Au large de Cherbourg à l'Ouest, le trafic maritime est conditionné par les Dispositifs de Séparation du Trafic (DST¹) des Casquets et du Pas de Calais. Ces dispositifs sont adoptés par l'OMI (Organisation Maritime Internationale). Le DST des Casquets permet d'ordonner le trafic au Nord des îles Anglo-Normandes, en un lieu où convergent les voies maritimes venant des parages d'Ouessant et des îles Scilly avec celles descendant du Pas de Calais. Il se compose d'une zone de séparation de 5 M² de large bordée au Nord par une zone de circulation, 5 M de large pour le trafic en direction de l'Ouest et au Sud par une zone de circulation de 5 M de large pour le trafic en direction de l'Est. Ces zones sont orientées sur un axe 075°-255°. Une zone de navigation côtière complète ce dispositif entre la limite Sud du dispositif et les îles Anglo-Normandes.

Le CROSS Jobourg assure la surveillance du trafic maritime dans la zone couverte par le dispositif des Casquets ; il travaille en liaison avec son homologue britannique de Portland Coast Guard.

Il faut noter de plus un trafic important transmanche entre la France (Cherbourg, St-Malo...), les îles Anglo-Normandes et le Royaume-Uni (Poole, Southampton, Weymouth qui est Nord-Sud et dont les voies peuvent longer la côte Ouest du Cotentin).

1. Dispositif de Séparation du Trafic : mesure d'organisation du trafic visant à séparer les navires qui se déplacent dans des directions opposées grâce à des moyens appropriés et à l'établissement des voies (couloirs) de circulation.
2. M = Mille nautique

Les distances des deux voies maritimes par rapport au site de Flamanville sont comprises entre environ 40 km (pour celle des Casquets (T2)) et 70 km (pour celle du Pas de Calais (T1)).

2.3.3. Trafic maritime

La navigation est interdite par arrêté préfectoral dans un rayon de 200 mètres autour des points de rejet en mer de Flamanville. Les données concernant le trafic maritime ont été mises à jour en 2019.

Les deux voies de circulation maritime à proximité de Flamanville sont :

- Le DST des Casquets présenté en violet sur la figure [FIG-2.2.7](#). La voie la plus proche se situe à 26 M de Flamanville (soit 48 kilomètres). Le détail des données générales [Réf \[5\]](#) est donné dans les tableaux [TAB-2.2.7](#).
- La zone de mouillage Ouest Cotentin, présentée en bleu sur la figure [FIG-2.2.7](#). Elle est située à 2 M à l'Ouest de Flamanville. Entre 2006 et 2010, très peu de navires ont utilisé cette zone de mouillage, avec un maximum de 14 navires en 2008. En 2019, aucun navire n'a utilisé cette zone de mouillage. [Réf \[5\]](#).

Le CROSS Jobourg a été contacté en 2019 par 56752 navires dont 26331 transportant des matières dangereuses. Parmi ceux-ci, 23136 ont emprunté le DST des Casquets. [Réf \[5\]](#). Le détail des données générales pour le trafic maritime [Réf \[5\]](#) est donné dans le tableau [TAB-2.2.8](#).

2.4. AÉRODROMES ET TRAFIC AÉRIEN

2.4.1. Implantation des aérodromes proches du site

Les aérodromes situés dans un rayon de 30 km autour du site sont les aérodromes de :

- Vauville, situé à 10 kilomètres au Nord-Nord-Est ;
- Cherbourg-Maupertus, situé à 33 km à l'Est-Nord-Est ;
- Aurigny, situé à 30 km au Nord-Ouest.

2.4.2. Aviation générale

Pour l'aviation générale, le seul aéroclub situé dans un rayon de 10 kilomètres autour du site est celui de Vauville.

De 2010 à 2012, le trafic est de 1500 à 2000 mouvements par an (comprenant : planeurs et ULM). Cet aérodrome étant réservé aux planeurs et avions de servitude, il n'est pas pris en compte dans les aérodromes à recenser autour du site. Le site se trouve donc hors zone d'aérodrome et en zone de vol local.

2.4.3. Aviation commerciale

Les aérodromes à vocation commerciale les plus proches du CNPE, Aurigny et Cherbourg-Maupertus, sont situés respectivement à 30 et 33 km du site. Le site se trouve donc "hors zone d'aérodrome".

2.4.4. Aviation militaire

Le CNPE n'est concerné par aucun couloir aérien réservé à l'aviation militaire, ni proche d'un aérodrome militaire.

On notera cependant que l'aérodrome de Cherbourg-Maupertus peut être utilisé occasionnellement par des avions de transport militaire.

Le CNPE étant situé à plus de 30 km d'un aérodrome se trouve donc "Hors Zone d'Aérodrome" (HZA).

2.4.5. Circulation aérienne

Les couloirs des circulations aériennes ainsi que les différentes zones d'aérodromes sont présentés en figure [FIG-2.2.5](#).

On observe que le site se trouve à l'écart de toute voie aérienne. De plus, il existe une interdiction de survol à basse altitude (< 3000 pieds) de la centrale.

2.5. ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX VOIES DE COMMUNICATION

L'évaluation des risques associés aux voies de communication est traitée dans la section 3.3.4.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] D5330-06-0054 — annexe 1 : résultats de l'enquête annuelle (DT166) auprès de la DREAL et de la DDPP Manche, Novembre 2012

[2] Département de la Manche – Trafic routier 2009 à 2012 disponible sur le site “Cartélie” du Ministère de l'Ecologie

[3] ECESN130537 — Comptage du Conseil Général de la Manche sur le trafic routier des routes D 37, D 4 et D 650 et RD 23

[4] MV/MCC/B30/05/52, Enquête routière autour du site de Flamanville (50), Note d'étude du CETE (Centre d'Études Techniques de l'Équipement) Normandie Centre du Ministère de l'Équipement des transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer (mars 2005)

[5] REV01969RDP : Synthèse des données du trafic maritime 2019 autour de FA3 fournies par le CROSS Jobourg

[6] Rapport de Sûreté de Flamanville 1&2, édition 2009

TAB-2.2.1 PRINCIPAUX ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS
AU 1^{ER} JANVIER 2008 DANS LA ZONE D'EMPLOI DE
CHERBOURG

	Activité	Lieu
ORANO	Elaboration et transformation de matières nucléaires	Herqueville
Direction Constructions Navales	Construction de bâtiments de guerre	Cherbourg
EDF — CNPE DE FLAMANVILLE	Production et distribution d'électricité	Les Pieux

TAB-2.2.2 LISTES DES ICPE AUTOUR DE FLAMANVILLE

Etablissement (Raison Sociale)	Commune	Activité	rubrique et régime
□	Flamanville	Vernis et peinture (application et cuisson séchage)	2940 — Déclaration
□	Flamanville	Dépôts d'acétylène dissous	1418 — Déclaration
□	Les Pieux	Vernis et peinture (application et cuisson séchage)	2940 — Déclaration
□	Les Pieux	Liquides inflammables (stockage et installation de remplissage)	1432 – 1434 — Déclaration
□	Tréauville	Liquides inflammables (remplissage ou distribution) autre que 1435	1434 — Déclaration
□	Les Pieux	Liquides inflammables (stockage et installation de remplissage)	1432 – 1434 — Déclaration
□	Flamanville	Liquides inflammables (stockage et installation de remplissage)	1432 – 1434 — Déclaration
□	Flamanville	Liquides inflammables (mélange emploi)	1433 — Déclaration
□	Les Pieux	Gaz combustibles liquéfiés (dépôts)	1412 — Déclaration
□	Les Pieux	Déchetterie	2710 — Déclaration
		Emploi et stockage de chlore	1138 — Déclaration
□	Flamanville	Métaux décolletage fraisage	2560 — Déclaration
□	Flamanville	Liquides inflammables (stockage et installation de remplissage)	1432 – 1434 — Déclaration
□	Tréauville	Elevage de Porcs	Autorisation
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières	Déclaration
		Bovins viande	

**RAPPORT DE SURETE****— DE FLAMANVILLE 3 —****Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 11/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

Etablissement (Raison Sociale)	Commune	Activité	rubrique et régime
□	Flamanville	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières Bovins viande	Déclaration
□	Flamanville	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Flamanville	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Flamanville	Bovins viande	Déclaration
□	Flamanville	Bovins viande	Déclaration
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières Bovins viande	Déclaration
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Les Pieux	Elevage de vaches laitières Bovins viande	Déclaration
□	Tréauville	Bovins viande	Déclaration
□	Tréauville	Elevage de Porc	Déclaration
□	Tréauville	Elevage de vaches laitières Bovins viande	Déclaration
□	Tréauville	Elevage de vaches laitières	Déclaration
□	Tréauville	Elevage de vaches laitières Bovins viande	Déclaration



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 12/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

TAB-2.2.3 TRAFIC DE MATIÈRES DANGEREUSES
À L'INTERSECTION DE LA RD 650 ET RD 23

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 13/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-2.2.4 TRAFIC DE MATIÈRES DANGEREUSES À
L'INTERSECTION DE LA RD650 ET RD37**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 14/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-2.2.5 EXPÉDITIONS ET RÉCEPTIONS DES MATIÈRES
DANGEREUSES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE 1&2 EN
2012 (CLASSE 7)**

□

**TAB-2.2.6 EXPÉDITIONS ET RÉCEPTIONS DES MATIÈRES
DANGEREUSES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE 1&2 EN
2012 (AUTRES CLASSES)**

□



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 16/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

□

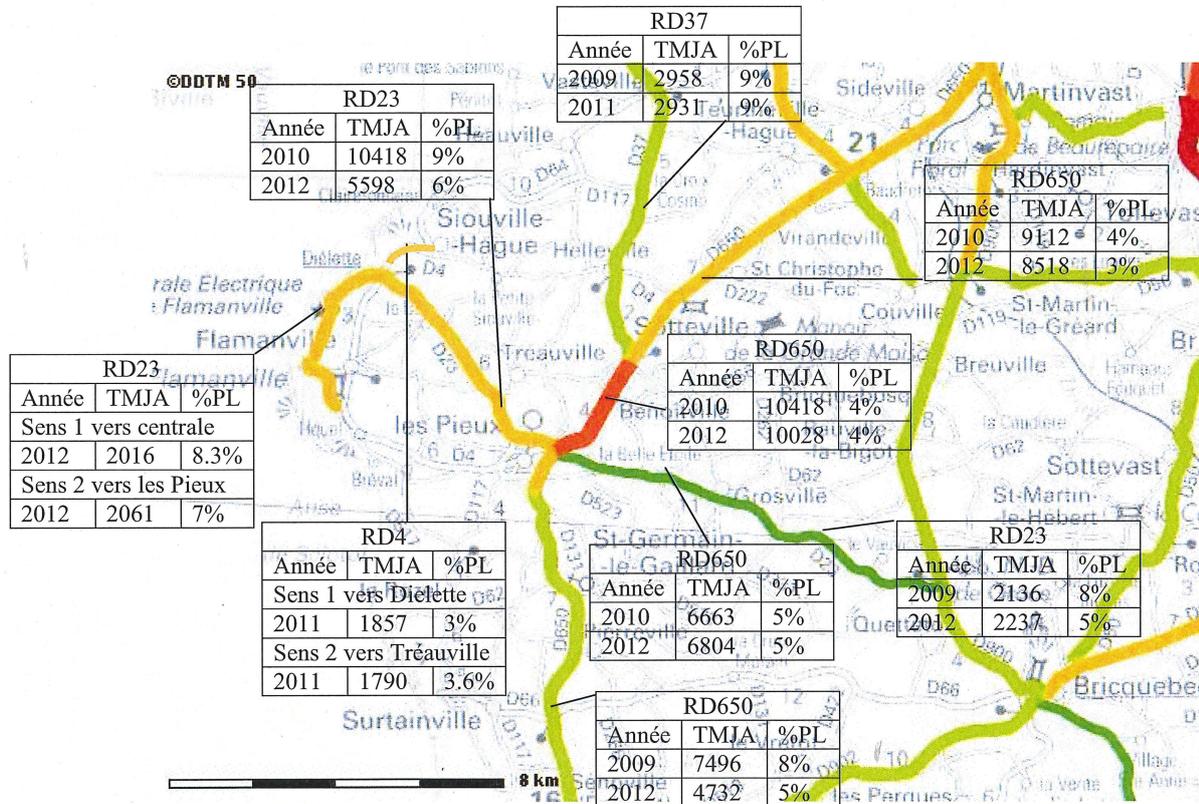
TAB-2.2.7 TRAFIC GÉNÉRAL ANNUEL 2019 SUR LES VOIES MARITIMES DU DST DES CASQUETS

Voies	Nombres de navires transportant des matières dangereuses	Pourcentage
Voie descendante T1	11138	48
Voie descendante T2	10435	45
Autres voies	1533	7

**TAB-2.2.8 RÉPARTITION DES MATIÈRES DANGEREUSES
TRANSPORTÉES PAR VOIE MARITIME EN 2019 PAR CODE
DANGER (EN TONNE MÉTRIQUE OU EN MÈTRE CUBE)**

	Voie descendante T1		Voie descendante T2		Autres voies	
	Tonnes	m ³	Tonnes	m ³	Tonnes	m ³
1 – Explosif	0	0	0	0	0	0
2 – Gaz	0	0	0	0	0	0
3 – Liquide inflammable	0	0	0	0	0	0
4 – Solide inflammables	0	0	0	0	0	0
5 – Oxydants et peroxydes organiques	0	0	0	0	0	0
6 – Matériaux toxiques et substances infectieuses	0	0	0	0	0	0
7 – Matières radioactives	0	0	0	0	0	0
8 – Matériaux corrosifs	0	0	0	0	0	0
9 – Divers	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0

FIG-2.2.1 TRAFIC ROUTIER AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE



TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel (nombre de véhicules moyen par jour calculé à partir des données sur une année)

TV : Tout Véhicule (y compris les PL)

PL : Poids Lourd



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 2

PAGE 20/25

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

FIG-2.2.2 CARTE DE SITUATION DES POINTS DE COMPTAGE

□

FIG-2.2.3 MOUVEMENTS DU TRAFIC DU TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES SUR LA SOMME DES 72H

Total sur 72h

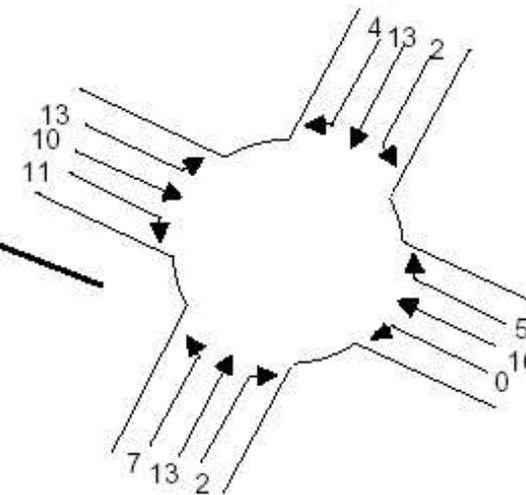
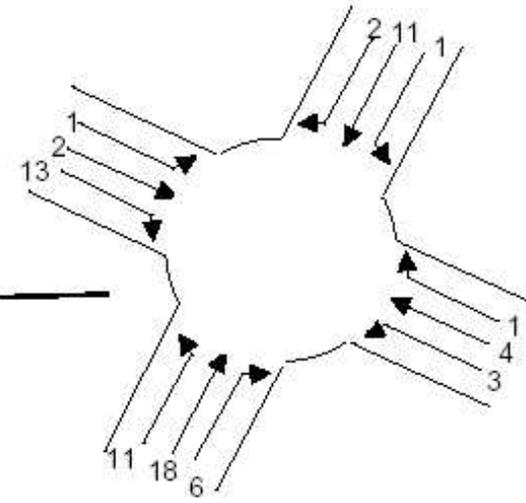
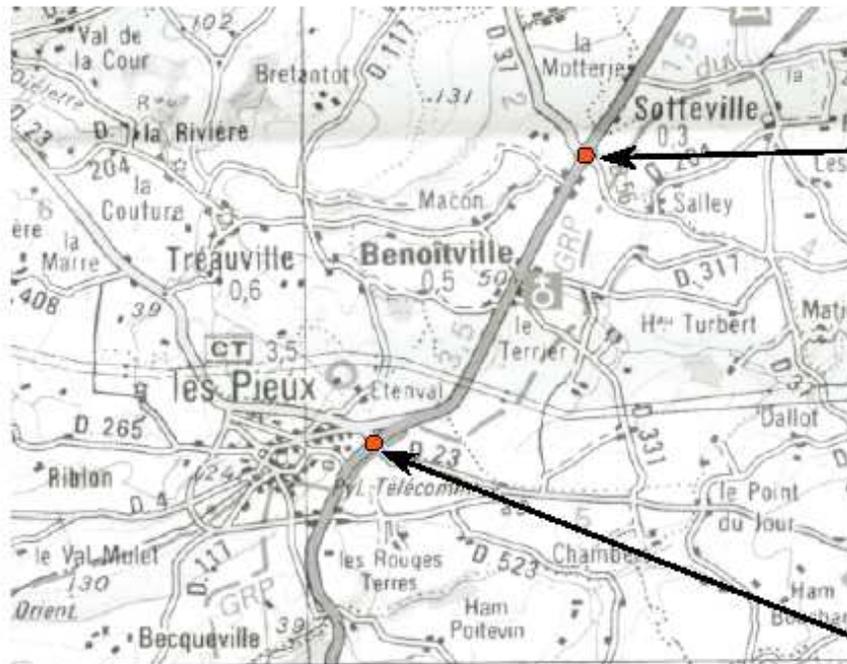


FIG-2.2.4 CANALISATIONS DE GAZ À PROXIMITÉ DE FLAMANVILLE

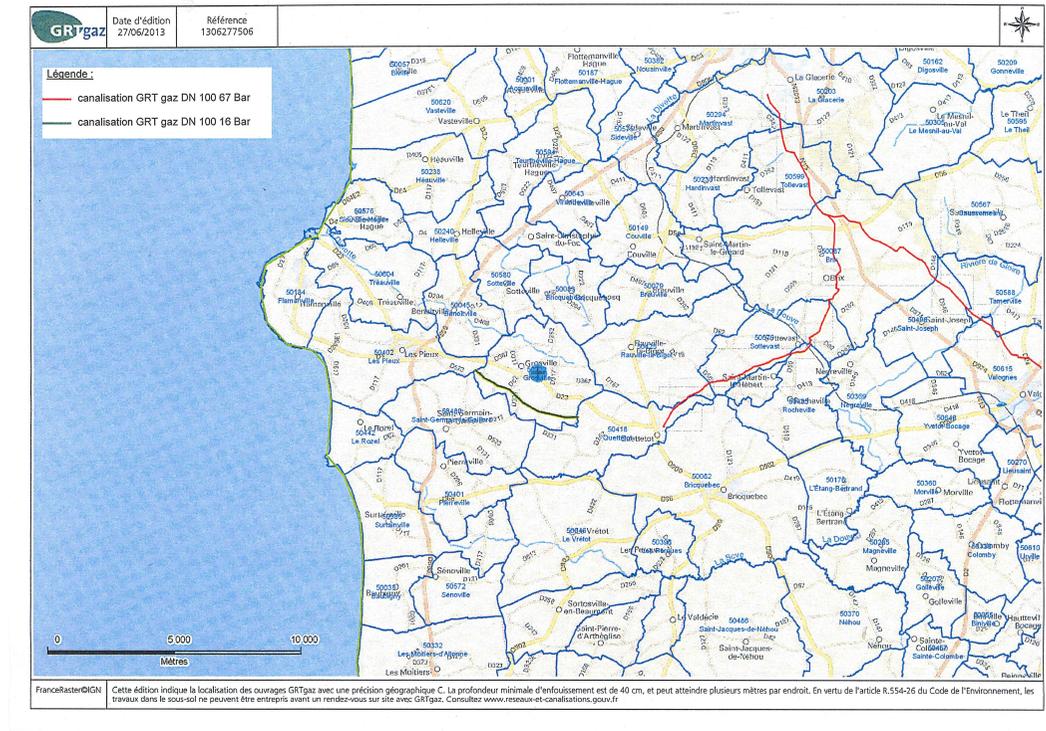


FIG-2.2.5 ITINÉRAIRES TRANSMANCHE EN VFR AUTOUR DU CNPE DE FLAMANVILLE

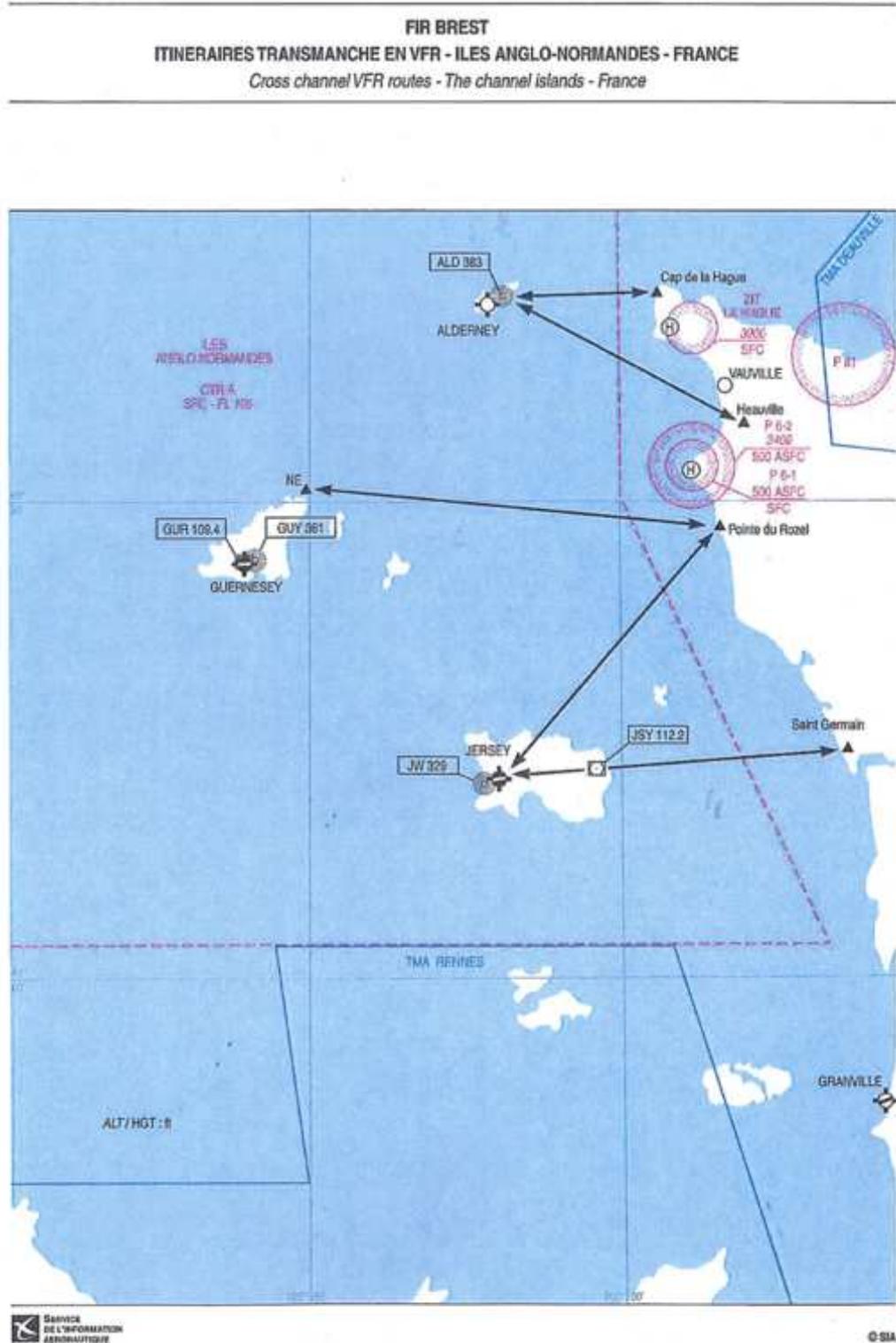


FIG-2.2.6 RÉSEAU FERROVIAIRE AUX ENVIRONS DE FLAMANVILLE

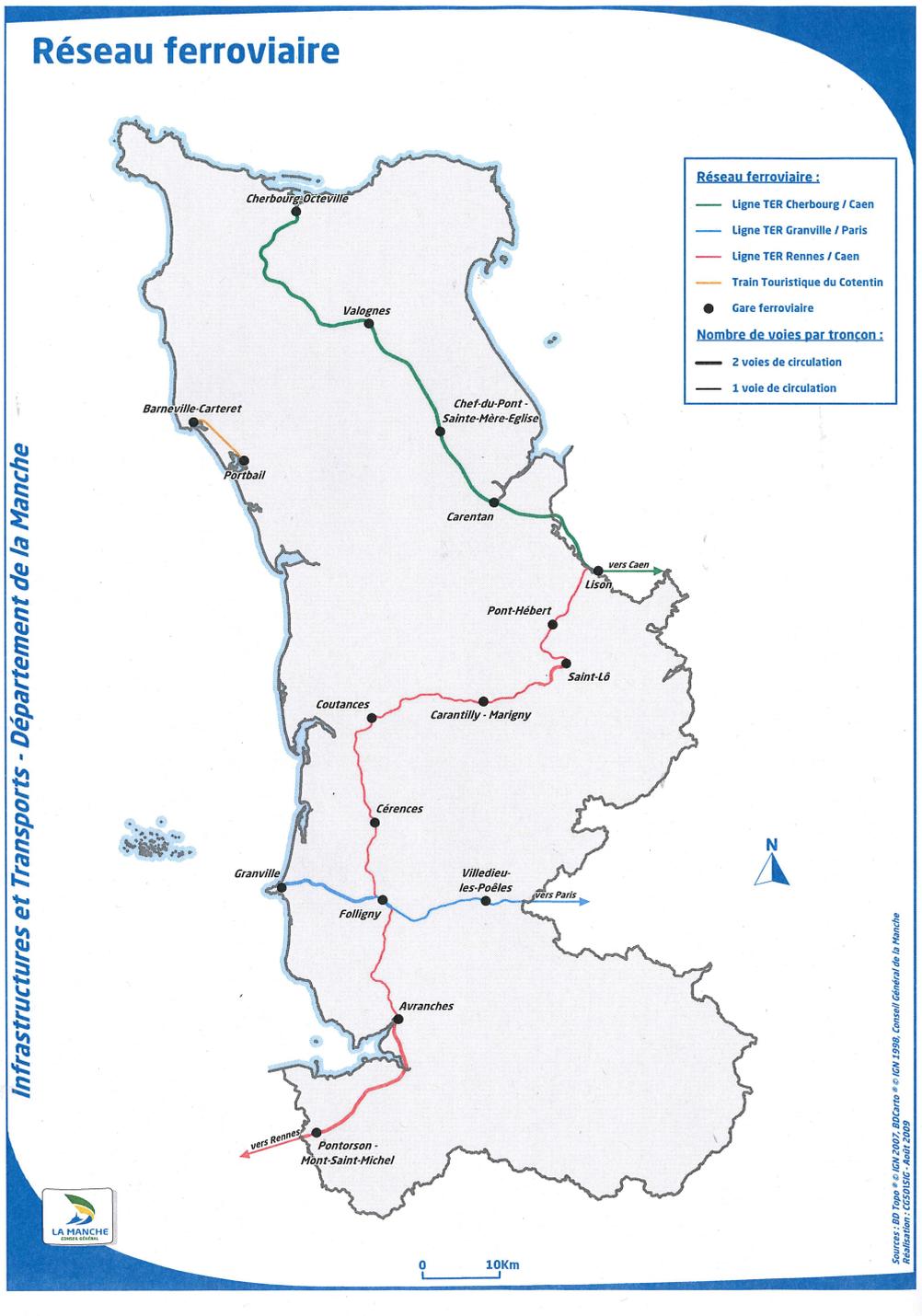
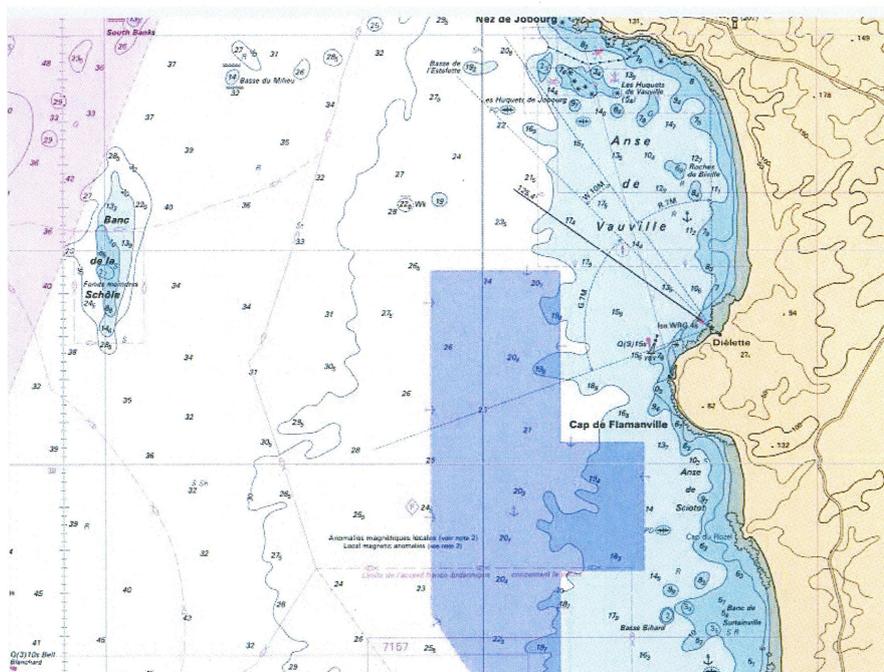
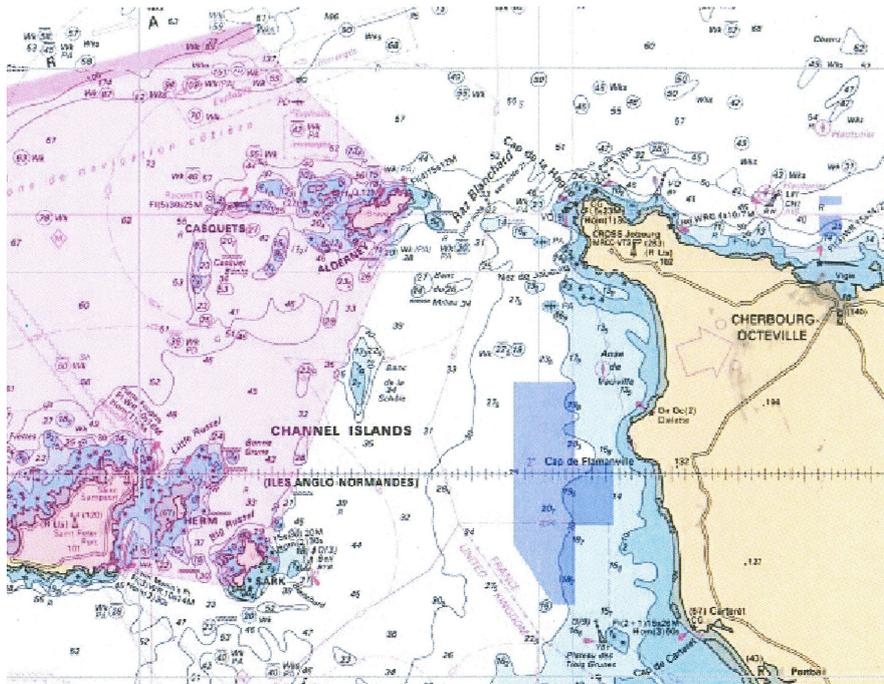


FIG-2.2.7 DISPOSITIF DE SÉPARATION DU TRAFIC DES CASQUETS ET ZONE DE MOUILLAGE OUEST COTENTIN



SOMMAIRE

.2.3	MÉTÉOROLOGIE	4
1.	MÉTÉOROLOGIE LOCALE	4
1.1.	ÉQUIPEMENT MÉTÉOROLOGIQUE DU SITE ET PARAMÈTRES	
	MESURES	4
1.2.	TRAJECTOIRE ET CARACTÉRISTIQUE DES VENTS	4
1.3.	TEMPÉRATURE DE L’AIR	5
1.4.	PRÉCIPITATIONS	5
1.5.	HUMIDITÉ DE L’AIR	5
1.6.	ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE	5
2.	MÉTÉOROLOGIE RÉGIONALE	6
2.1.	TEMPÉRATURE DE L’AIR	6
2.2.	PRÉCIPITATIONS	6
2.3.	HUMIDITÉ DE L’AIR	6
2.4.	TRAJECTOIRE ET CARACTÉRISTIQUES DES VENTS	6
2.5.	INSOLATION	7
2.6.	NEIGE - GEL- BROUILLARD	7

TABLEAUX :

TAB-2.3.1 VALEURS MENSUELLES MOYENNES, MINIMALES ET MAXIMALES DE TEMPÉRATURE DE L’AIR – PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE	8
TAB-2.3.2 CUMULS MENSUELS DE PRÉCIPITATIONS – PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE	9
TAB-2.3.3 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D’HUMIDITÉ RELATIVE – PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE	10
TAB-2.3.4 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D’HUMIDITÉ ABSOLUE EN G/M³ – PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE	11
TAB-2.3.5 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D’EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE– PÉRIODE 1992-2008 – STATION DE CHERBOURG-VALOGNES	12
TAB-2.3.6 VALEURS MENSUELLES MOYENNES, MINIMALES ET MAXIMALES DE TEMPÉRATURE DE L’AIR – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE	13
TAB-2.3.7 CUMULS MENSUELS DE PRÉCIPITATIONS – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE	14
TAB-2.3.8 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D’HUMIDITÉ RELATIVE, PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE	15
TAB-2.3.9 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D’HUMIDITÉ ABSOLUE EN G/M³ – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE.....	16
TAB-2.3.10 INSOLATION MENSUELLE CUMULÉE EN HEURES – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DE CHERBOURG.....	17
TAB-2.3.11 NOMBRE MOYEN DE JOURS DE BROUILLARD, DE NEIGE ET DE GEL – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE	18

FIGURES :

FIG-2.3.1 ROSE DES VENTS - SITE DE FLAMANVILLE - TOUTES CONDITIONS À 20 M (PERIODE 2002-2011)	19
FIG-2.3.2 ROSE DES VENTS - SITE DE FLAMANVILLE - TOUTES CONDITIONS À 80 M (PERIODE 2002-2011)	21
FIG-2.3.3 ROSE DES VENTS PAR TYPE DE TEMPS À 20 M - SITE DE FLAMANVILLE (PERIODE 2002-2011).....	23



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 3

PAGE 3/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**FIG–2.3.4 ROSE DES VENTS - PAR TYPE DE TEMPS À 80 M - SITE DE
FLAMANVILLE (PERIODE 2002-2011)..... 25**

**FIG–2.3.5 ROSE DES VENTS RÉGIONALE TOUTES CONDITIONS À 10 M
(PÉRIODE 2002-2011)..... 27**

.2.3 MÉTÉOROLOGIE

Selon l'atlas climatique de la France, le climat régional est un climat océanique caractérisé par une faible amplitude thermique, avec des étés frais et des hivers doux et tempérés par la Manche.

Les données météorologiques sont issues du rapport d'EDF « Climatologie et conditions de dispersion du site de Flamanville » (2002-2011) de 2014. Ce rapport est basé sur les données fournies par la station météorologique du site de Flamanville (située à environ 80 m au-dessus du sol) et les stations Météo-France du Cap de La Hague (située à 10 m au-dessus du sol) et de Cherbourg-Valogne.

1. MÉTÉOROLOGIE LOCALE

1.1. ÉQUIPEMENT MÉTÉOROLOGIQUE DU SITE ET PARAMÈTRES MESURES

La station météorologique du site de Flamanville est installée en sommet de falaise dans un secteur 200° à 300 m de la tranche 1 du centre de production nucléaire.

Les paramètres d'altitude sont mesurés grâce à un mât météo de 80 m situé sur la falaise. Une station automatique mesure les paramètres au sol.

Depuis janvier 1991, ces données sont enregistrées avec un pas horaire sur le serveur SEMENCE (SERveur METéo National pour les sites nucléaires CEA et EDF) qui assure l'acquisition, le codage, le stockage au sein d'une base de données des observations météorologiques fournies notamment par tous les sites d'EDF. Les données de la base SEMENCE relatives au site de Flamanville et exploitées pour cette étude, couvrent la période de **janvier 2002 à décembre 2011**.

Il s'agit des paramètres suivants : direction et vitesse du vent à 20 m et 80 m (niveaux approximatifs des rejets), hauteur de précipitations, humidité relative, température sous abri (à 2 m au-dessus du sol) et températures à 20 m et à 80 m.

1.2. TRAJECTOIRE ET CARACTÉRISTIQUE DES VENTS

Un bilan des caractéristiques des vents a été effectué sur les années 2002 à 2011 à 20 m et à 80 m du sol.

Les figures [FIG-2.3.1](#) et [FIG-2.3.2](#) donnent les roses des vents établies sur la période 2002-2011 aux niveaux 20 m et 80 m au sol.

Pour ce qui concerne l'orientation des vents à 20 m à Flamanville, on constate que les vents présentent plusieurs directions dominantes : un large secteur ouest qui totalise plus de 30% des vents à 20 m, un secteur est (12,9% des vents) et un secteur sud (13,5% des vents).

A 80 m, on retrouve les mêmes directions dominantes, si ce n'est que le secteur ouest est un peu plus étendu (180-300° contre 240-300° au sol).

On constate que la vitesse du vent à 20 m est, en moyenne, assez élevée, avec une valeur de 6,7 m/s, ce qui est relativement soutenu : les vents calmes et faibles sont quasi absents (respectivement 0,4 et 0,8%), les vents modérés et forts se partagent presque équitablement l'essentiel des vents (respectivement 57 et 41,8%).

Au niveau 80 m, les vents sont bien entendus plus forts : la vitesse moyenne est de 8,7 m/s et les vents forts représentent 60,3% des cas.

Les figures [FIG-2.3.3](#) et [FIG-2.3.4](#) donnent les roses des vents, établies sur la période 2002-2011, par type de temps aux niveaux 20 m et 80 m.

A 20 m, on constate que les vents de secteur est sont associés à des temps plus secs que la moyenne, tandis que ceux du secteur sud et ouest sont eux associés à des temps plus pluvieux que la

moyenne. On voit, en particulier, que c'est uniquement la partie ouest sud-ouest (160-260°) qui est associée à des temps plus pluvieux que la moyenne.

Le renforcement des vents par temps de pluie est constaté pour les secteurs sud à ouest.

A 80 m, les mêmes observations sont faites que pour l'altitude 20 m : un large secteur sud à ouest (180–260°) est plus pluvieux que la moyenne tandis que les vents de secteur est, eux, sont plus secs que la moyenne.

Par ailleurs, on observe pour tous les secteurs un renforcement des vents par temps de pluie.

1.3. TEMPÉRATURE DE L'AIR

Les valeurs mensuelles moyennes, maximales et minimales enregistrées à la station météorologique du CNPE de Flamanville pour les années 2002 à 2011 sont données dans le tableau [TAB-2.3.1](#).

La moyenne générale sur la période est de 11,7°C ; les moyennes annuelles varient très peu autour de cette valeur : on peut tout de même citer l'année 2010 qui est l'année la plus froide (10,6°C), tandis que les années 2007 et 2011 sont les années les plus chaudes (12,1°C et 12,2°C de moyenne).

Le mois de l'année globalement le plus froid est janvier (avec 6,8°C en moyenne) tandis que le mois globalement le plus chaud est août (17,0 °C de moyenne).

Les valeurs extrêmes obtenues au cours de la période 2002-2011 sont de – 4,5°C (le 09/01/2009) et de 33,0°C (le 05/08/2003) soit une amplitude maximale sur la période 2002-2011 de 37,5°C.

1.4. PRÉCIPITATIONS

Les valeurs de cumuls mensuels mesurées sur les années 2002 à 2011 sont présentées dans le tableau [TAB-2.3.2](#).

Les cumuls annuels varient entre 590,4 mm (en 2004) et 917,2 mm (en 2009) avec une moyenne sur 10 ans de 796,9 mm. L'amplitude des cumuls annuels est donc de 446 mm, soit 52,2% du cumul moyen annuel.

Les variations saisonnières sont peu marquées (une période de 10 années ne suffit pas pour caractériser un profil pour ce paramètre). On peut tout de même noter deux mois pendant lesquels il pleut plus de 100 mm : novembre et décembre (respectivement 107 et 112,8 mm), et quatre mois pendant lesquels il pleut moins de 50 mm : avril, juin, août et septembre.

1.5. HUMIDITÉ DE L'AIR

Le tableau [TAB-2.3.3](#) donne les valeurs en moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période de 2002 à 2011.

La valeur moyenne sur la décennie est de 81,9%, avec de faibles variations d'une année sur l'autre.

Le tableau [TAB-2.3.4](#) donne les valeurs en moyenne mensuelle de l'humidité absolue au cours de la période 2002-2011.

La valeur moyenne annuelle sur la décennie est de **8,83 g/m³**.

1.6. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

La valeur moyenne par mois et par an de l'évapotranspiration potentielle est calculée selon la méthode de Penmann (en mm) pour la station de Cherbourg. Le tableau [TAB-2.3.5](#) présente les valeurs mensuelle et annuelle au cours de la période 1992-2008.

2. MÉTÉOROLOGIE RÉGIONALE

Les caractéristiques de la météorologie régionale sont fournies par les stations météorologiques du Cap de La Hague et de Cherbourg. Ces stations, exploitées par Météo-France, sont situées :

- à environ 22 km du site de Flamanville, à une altitude de 3 m (très proche de celle du site : 12 m) pour la station du Cap de la Hague ;
- à environ 26 km du site de Flamanville pour la station de Cherbourg.

2.1. TEMPÉRATURE DE L'AIR

Les valeurs mensuelles moyennes, maximales et minimales enregistrées à la station météorologique du Cap de la Hague pour les années 2002 à 2011 sont données dans le tableau [TAB-2.3.6](#).

La moyenne générale sur la période est de 12,2°C ; les moyennes annuelles varient très peu autour de cette valeur : on peut tout de même citer l'année 2010 qui est l'année la plus froide (11,2°C), tandis que les années 2002 et 2007 sont les années les plus chaudes (12,6°C de moyenne).

Le mois de l'année globalement le plus froid est février (avec 7,6°C en moyenne) tandis que le mois globalement le plus chaud est août (17,3°C de moyenne).

Les valeurs extrêmes ponctuelles obtenues au cours de la période 2002-2011 sont de - 4,5°C (le 09/01/2009) et de 28,3°C (le 19/06/2005) soit une amplitude maximale sur la période 2002-2011 de 32,8°C.

2.2. PRÉCIPITATIONS

Les valeurs de cumuls mensuels mesurées sur les années 2002 à 2011 sont présentées dans le tableau [TAB-2.3.7](#).

Les cumuls annuels varient entre 651,8 mm (en 2003 et 2004) et 895,8 mm (en 2002) avec une moyenne sur 10 ans de 753,4 mm. L'amplitude des cumuls annuels est donc de 244,0, soit 31,6% du cumul moyen annuel.

Les variations saisonnières sont peu marquées (nota : une période de 10 années ne suffit pas pour caractériser un profil pour ce paramètre). On peut tout de même noter deux mois pendant lesquels il pleut plus de 90 mm : novembre et décembre (respectivement 109,3 et 109,0 mm), et cinq mois pendant lesquels il pleut moins de 50 mm : avril, mai, juin, août et septembre (respectivement 32,7 mm, 47,8 mm, 44,3 mm, 44,5 mm et 39,3 mm).

2.3. HUMIDITÉ DE L'AIR

Le tableau [TAB-2.3.8](#) donne les valeurs en moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période de 2002 à 2011.

La valeur moyenne sur la période est de 82,6%, avec de faibles variations d'une année sur l'autre.

Le tableau [TAB-2.3.9](#) donne les valeurs en moyenne mensuelle de l'humidité absolue au cours de la période 2002 à 2011.

La valeur moyenne annuelle sur la période est de 9,20 g/m³.

2.4. TRAJECTOIRE ET CARACTÉRISTIQUES DES VENTS

Un bilan des caractéristiques des vents a été effectué sur les années 2002 à 2011 à 10 m du sol.

La figure [FIG-2.3.5](#) donne la rose des vents, établie sur la période 2002-2011 à 10 m du sol.

Pour ce qui concerne l'orientation des vents toutes conditions, le régime des vents dominants est assez proche de celui de Flamanville, même si les vents soufflent plus fort, en moyenne, au Cap de la Hague qu'à Flamanville : 7,2 m/s au lieu de 6,7 m/s .

Si on s'intéresse aux répartitions des vitesses de vent, les comportements des deux sites sont dans ce domaine relativement proche : 0,5% de vents calmes au Cap de la Hague contre 0,4% à Flamanville et il y a un peu plus de vents dans la classe des vents forts au Cap de la Hague qu'à Flamanville (43,3% contre 41,8%).

2.5. INSOLATION

Les valeurs mensuelles d'insolation cumulée en heures durant la période de 2002 à 2011, mesurées à la station de Cherbourg sont présentées dans le tableau [TAB-2.3.10](#).

L'insolation moyenne annuelle est de 1627,9 heures sur la période 2002 - 2011.

2.6. NEIGE - GEL- BROUILLARD

Le tableau [TAB-2.3.11](#) donne, pour la station du Cap de la Hague, le nombre moyen de jours de brouillard, le nombre moyen de jours où le sol est « couvert de neige » (c'est-à-dire si plus de la moitié de sa surface est couverte de neige pendant tout ou partie de la journée) et le nombre moyen de jours de gel, par an et par mois, pour la période 2002 - 2011.

En moyenne sur 10 ans, on recense, à la station voisine du Cap de la Hague, 19 jours de brouillard, 4 jours de neige et 2 jours de gel par an.

**TAB-2.3.1 VALEURS MENSUELLES MOYENNES,
MINIMALES ET MAXIMALES DE TEMPÉRATURE DE L'AIR –
PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE**

T°C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne	6,8	6,9	7,9	10,1	12,5	15,2	16,6	17,0	16,1	13,5	10,7	7,4
Minimale	-4,5	-3,4	-1,2	0,9	4,8	8,6	11,7	10,8	8,1	0,1	-2,8	-2,1
Maximale	13,3	13,9	19,8	23,9	26,3	28,3	30,8	33,0	27,7	25,4	17,7	14,1

TAB-2.3.2 CUMULS MENSUELS DE PRÉCIPITATIONS –
PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE FLAMANVILLE

Précipitations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hauteur (en mm)	79,6	70,3	57,1	36,1	56,3	46,1	56,8	46,5	45,3	82,9	107,0	112,8

TAB-2.3.3 VALEURS MOYENNES MENSUELLES
D'HUMIDITÉ RELATIVE – PÉRIODE 2002-2011 – SITE DE
FLAMANVILLE

Humidité relative	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles (en %)	84,3	83,0	81,3	79,7	81,0	81,6	82,9	82,7	79,9	80,9	82,7	83,0

**RAPPORT DE SURETE****— DE FLAMANVILLE 3 —****Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 3

PAGE 11/28

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

**TAB-2.3.4 VALEURS MOYENNES MENSUELLES
D'HUMIDITÉ ABSOLUE EN G/M³ – PÉRIODE 2002-2011 –
SITE DE FLAMANVILLE**

Humidité absolue	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles (en g/m ³)	6,60	6,50	6,77	7,53	8,89	10,53	11,67	11,95	10,95	9,60	8,24	6,75

TAB-2.3.5 VALEURS MOYENNES MENSUELLES D'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE- PÉRIODE 1992-2008 – STATION DE CHERBOURG-VALOGNES

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MENSUELLE ET ANNUELLE

HAUTEURS CUMULEES (en mm) - METHODE PENMANN

Station : CHERBOURG-VALOGNES

ETP	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
2002/2008	12,3	18,6	41,2	68,1	90,7	109,2	112,0	95,3	58,8	29,1	11,8	9,8	656,9
1992/2008	11,6	18,0	40,2	64,2	91,8	106,5	109,6	93,5	55,2	29,4	11,9	9,8	641,7

**TAB-2.3.6 VALEURS MENSUELLES MOYENNES,
MINIMALES ET MAXIMALES DE TEMPÉRATURE DE L'AIR –
PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE**

T°C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne	7,8	7,6	8,3	10,2	12,3	14,8	16,7	17,3	16,6	14,3	11,5	8,5
Minimale	-4,5	-2,0	-0,6	0,2	2,8	7,5	9,8	10,0	9,1	1,9	-1,6	-1,2
Maximale	13,6	16,0	18,2	21,5	25,2	28,3	25,8	28,0	28,2	28,0	18,0	14,6

**TAB-2.3.7 CUMULS MENSUELS DE PRÉCIPITATIONS –
PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU CAP DE LA HAGUE**

Précipitations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hauteur (en mm)	78,3	70,7	51,1	32,7	47,8	44,3	50,8	44,5	39,3	75,8	109,3	109,0

TAB-2.3.8 VALEURS MOYENNES MENSUELLES
D'HUMIDITÉ RELATIVE, PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU
CAP DE LA HAGUE

Humidité relative	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles (en %)	82,9	82,2	81,7	82,6	84,4	84,9	85,5	83,9	80,5	80,1	81,4	81,6

TAB-2.3.9 VALEURS MOYENNES MENSUELLES
D'HUMIDITÉ ABSOLUE EN G/M³ – PÉRIODE 2002-2011 –
STATION DU CAP DE LA HAGUE

Humidité absolue	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyennes mensuelles (en g/m ³)	6,93	6,69	6,99	7,88	9,20	10,80	12,12	12,41	11,45	9,98	8,53	7,09

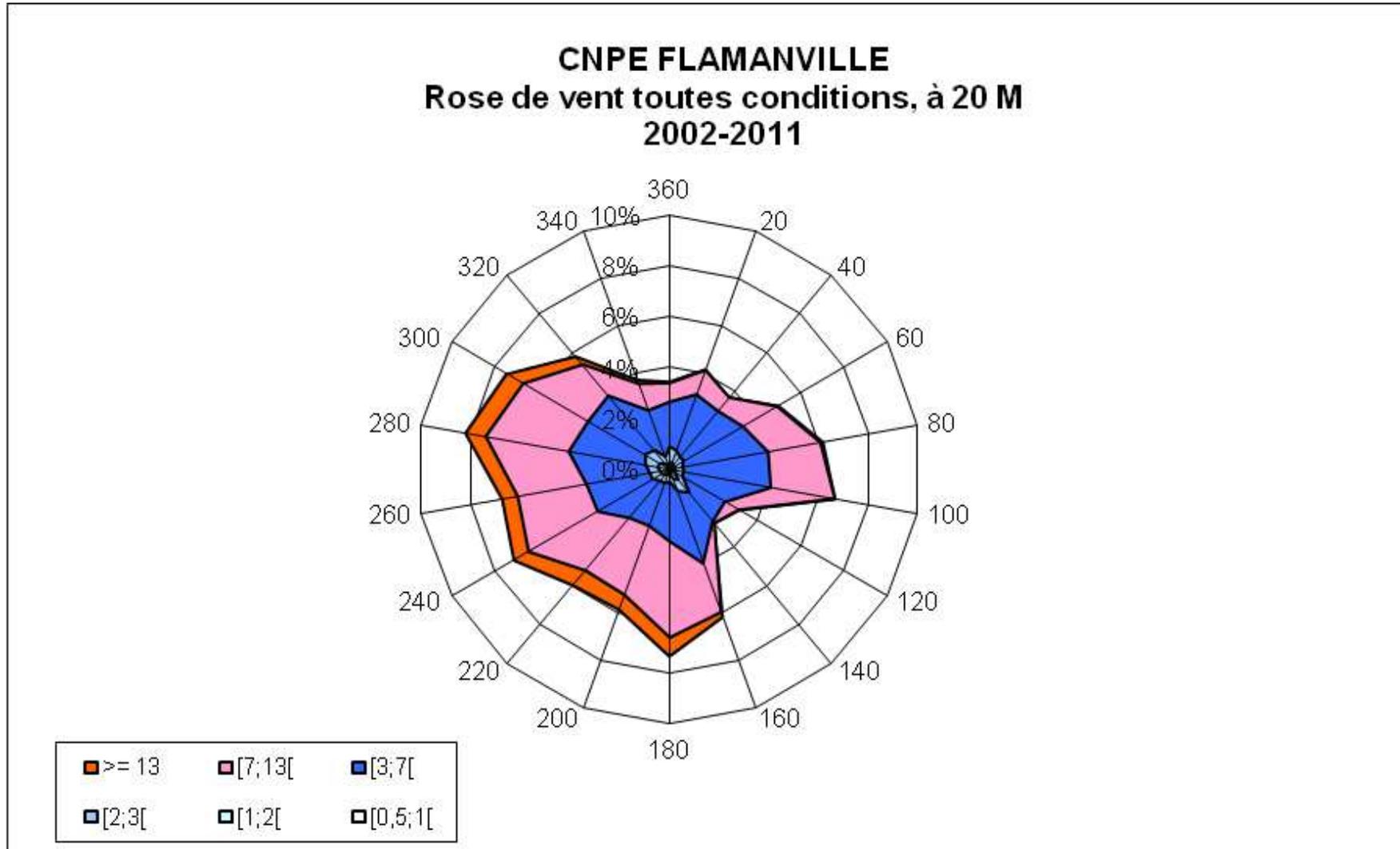
TAB-2.3.10 INSOLATION MENSUELLE CUMULÉE EN
HEURES – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DE
CHERBOURG

Insolation	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Durées mensuelles (en heures)	49,7	78,1	115,4	183,5	185,8	220,5	211,2	192,7	169,8	101,8	64,6	54,6

**TAB-2.3.11 NOMBRE MOYEN DE JOURS DE BROUILLARD,
DE NEIGE ET DE GEL – PÉRIODE 2002-2011 – STATION DU
CAP DE LA HAGUE**

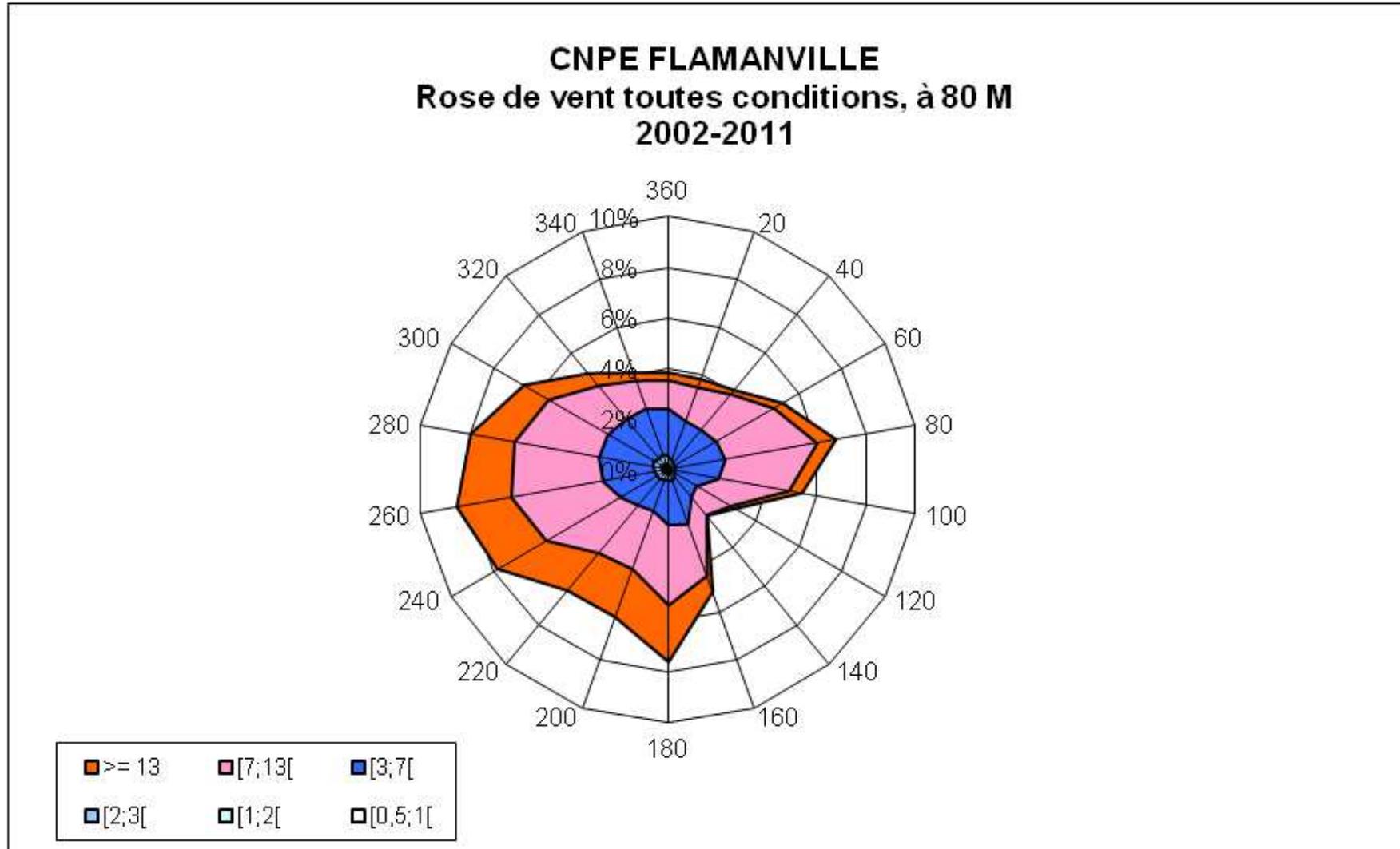
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Brouillard	1,3	1,0	3,1	1,8	3,2	1,9	2,5	2,3	0,7	0,2	0,4	0,5	18,9
Neige	1,1	1,6	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,8	4,4
Gel	1,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	2,3

FIG-2.3.1 ROSE DES VENTS - SITE DE FLAMANVILLE - TOUTES CONDITIONS À 20 M (PERIODE 2002-2011)



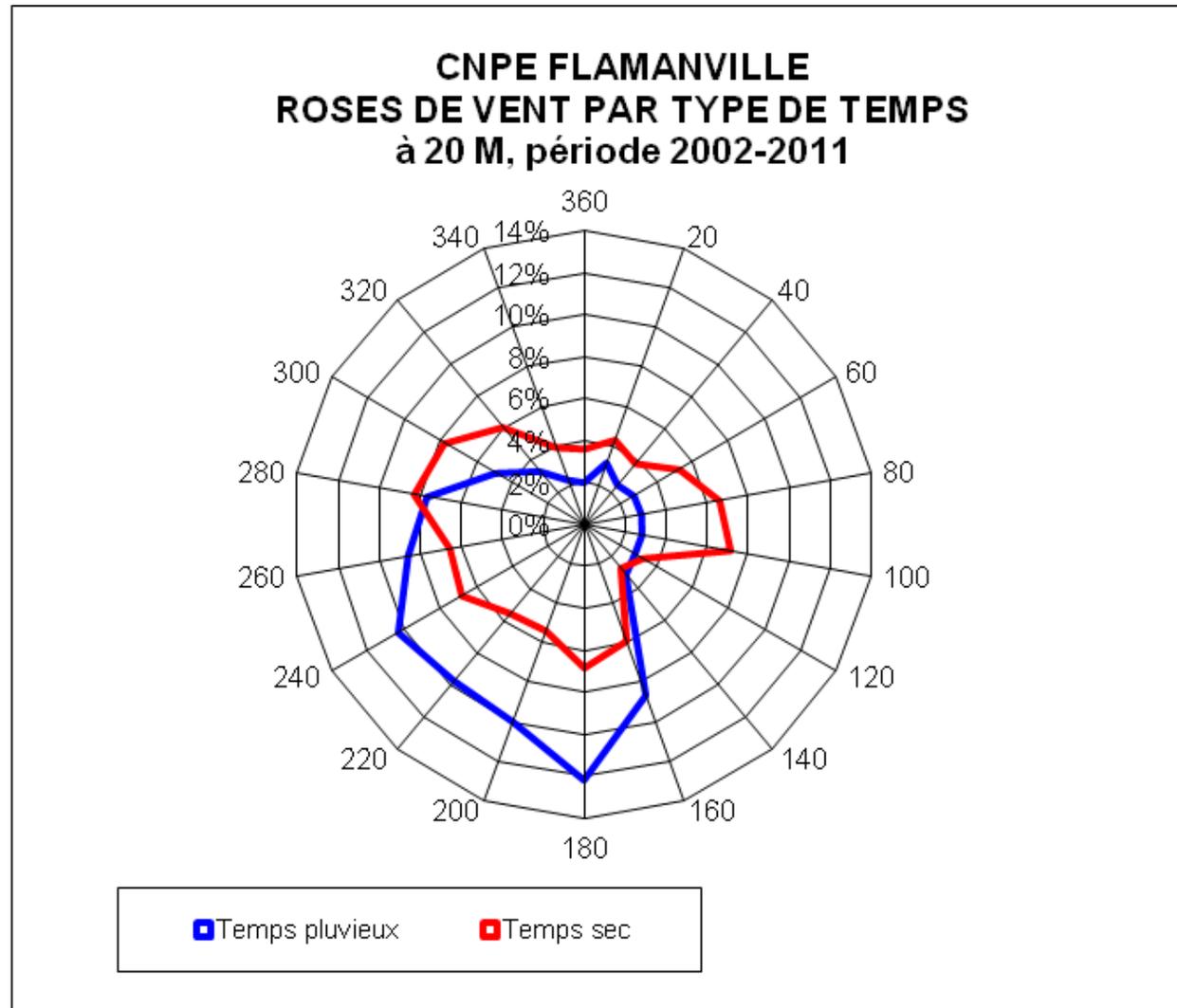
Hauteur : 20 m	Fréquence (pour 1000)								Vitesse moyenne par secteur (en m/s)
	Classe de vitesse de vent (en m/s)								
	Secteur (en °)	Calmes	[0,5;1[[1;2[[2;3[[3;7[[7;13[>= 13	
20		0	2	5	24	10	0	42	5,3
40		0	2	4	24	7	0	37	5,0
60		0	2	4	28	15	1	50	5,9
80		0	2	3	35	21	1	62	6,3
100		0	2	4	35	26	0	67	6,2
120		0	2	3	20	6	0	32	5,1
140		1	4	7	14	1	0	28	3,4
160		1	3	6	30	21	2	62	6,2
180		0	2	3	23	38	7	73	8,2
200		0	2	4	18	29	6	59	8,0
220		0	2	4	18	27	7	59	8,1
240		0	3	5	25	32	7	71	7,6
260		1	3	5	25	28	6	68	7,4
280		1	4	5	31	34	8	82	7,5
300		1	4	7	26	30	8	75	7,4
320		0	3	7	28	16	4	58	6,3
340		0	1	3	20	11	2	37	6,2
360		0	2	6	18	7	1	34	5,1
Nb Observations	288	655	3554	6885	35611	28963	4835	80791	6,7
Repartition	0,4%	0,8%	4,4%	8,5%	44,1%	35,8%	6,0%		(Moyenne tous secteurs)

FIG-2.3.2 ROSE DES VENTS - SITE DE FLAMANVILLE - TOUTES CONDITIONS À 80 M (PERIODE 2002-2011)



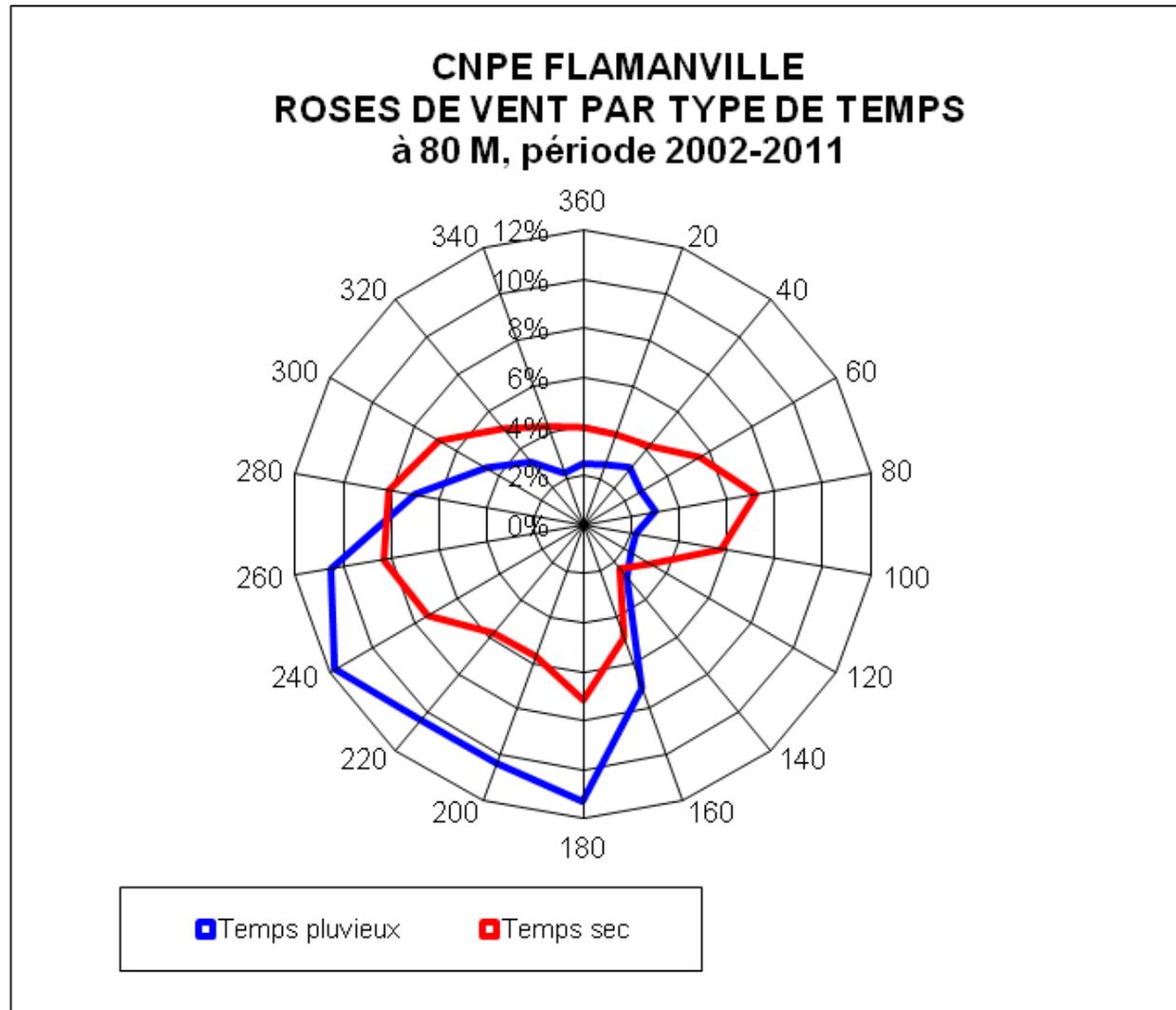
Hauteur : 80 m	Fréquence (pour 1000)								Vitesse moyenne par secteur (en m/s)
	Classe de vitesse de vent (en m/s)								
	Secteur (en °)	Calmes	[0,5;1[[1;2[[2;3[[3;7[[7;13[>= 13	
20		0	1	2	17	14	3	38	7,2
40		0	1	2	17	18	2	41	7,2
60		0	1	2	19	26	4	52	7,8
80		0	1	2	20	37	8	68	8,5
100		0	1	2	17	28	5	54	8,3
120		0	1	1	10	16	2	31	7,9
140		0	1	2	10	9	0	24	6,3
160		1	2	2	18	22	7	51	8,1
180		0	1	2	18	32	22	76	10,2
200		0	1	2	13	25	20	62	10,4
220		0	2	3	13	25	19	63	10,2
240		0	2	3	17	35	22	79	10,2
260		0	2	3	21	37	22	86	9,8
280		1	2	4	22	34	18	80	9,3
300		0	2	4	21	27	11	66	8,4
320		0	2	3	21	17	6	49	7,5
340		0	2	4	19	11	3	41	6,5
360		0	2	4	19	11	3	38	6,5
Nb Observations	212	519	2221	3904	25367	34596	14381	81200	8,7
Repartition	0,3%	0,6%	2,7%	4,8%	31,2%	42,6%	17,7%		(Moyenne tous secteurs)

FIG-2.3.3 ROSE DES VENTS PAR TYPE DE TEMPS À 20 M - SITE DE FLAMANVILLE (PERIODE 2002-2011)



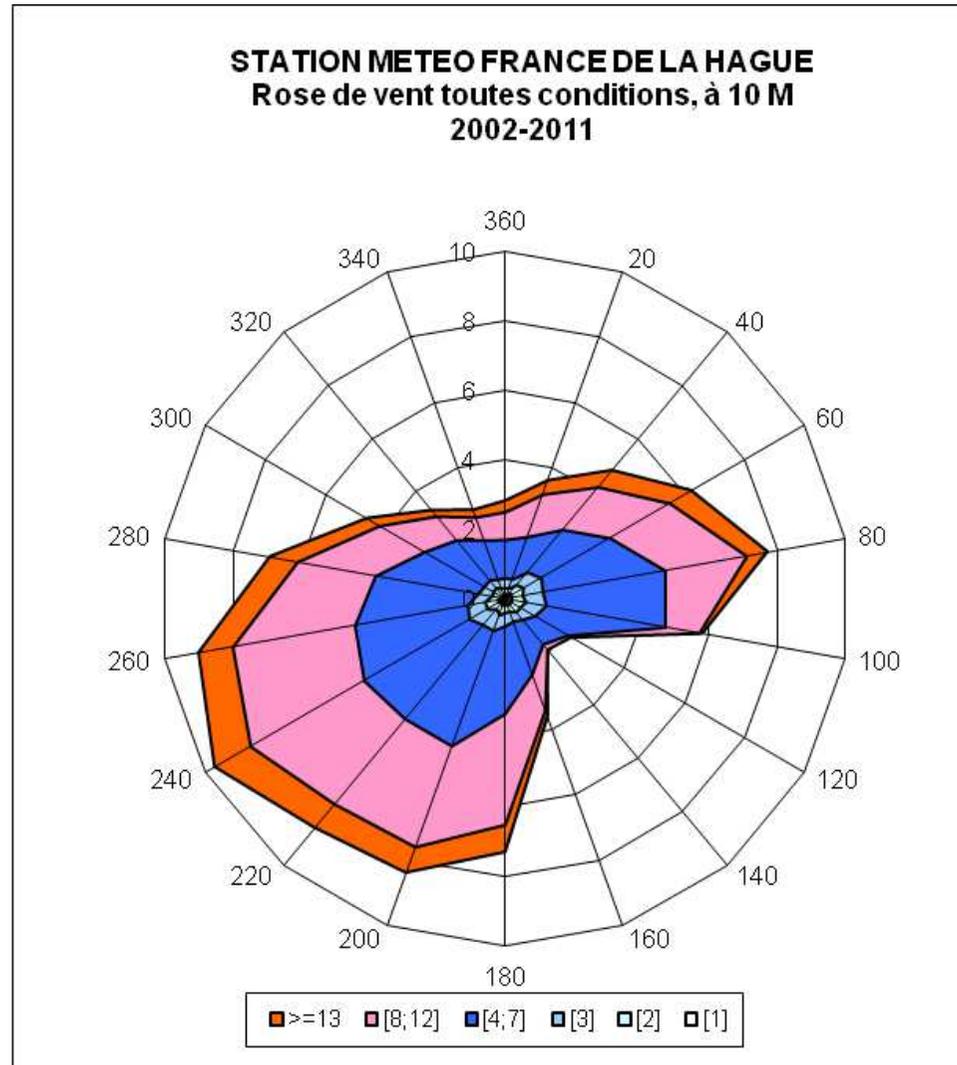
Hauteur : 20 m	Temps sec		Temps pluvieux	
	Secteur (en °)	Fréquence (pour 1000)	Vmoy (en m/s)	Fréquence (pour 1000)
20	43	5,3	32	6,2
40	38	5,0	25	6,0
60	53	5,9	28	6,1
80	66	6,3	28	6,2
100	71	6,2	28	5,7
120	32	5,1	28	5,4
140	27	3,3	31	4,2
160	59	5,8	87	8,3
180	68	7,8	122	10,4
200	54	7,5	100	10,2
220	55	7,6	97	10,6
240	68	7,2	103	10,0
260	65	7,1	86	9,7
280	83	7,2	77	10,1
300	78	7,2	49	9,7
320	61	6,2	33	8,8
340	39	6,1	23	8,3
360	36	5,0	20	6,9
Vents calmes	4		2	
Nb observations	71391	6,4	8407	8,9
Répartition	89,5%		10,5%	

FIG-2.3.4 ROSE DES VENTS - PAR TYPE DE TEMPS À 80 M - SITE DE FLAMANVILLE (PERIODE 2002-2011)



Hauteur : 80 m	Temps sec		Temps pluvieux	
	Secteur (en °)	Fréquence (pour 1000)	Vmoy (en m/s)	Fréquence (pour 1000)
20	39	7,0	26	9,4
40	42	7,1	30	8,5
60	55	7,8	27	8,7
80	72	8,5	30	8,3
100	58	8,4	22	7,9
120	32	7,8	23	8,3
140	23	6,1	28	7,5
160	49	7,6	71	10,9
180	72	9,5	113	13,6
200	57	9,8	104	13,3
220	58	9,5	104	13,3
240	74	9,6	118	13,1
260	83	9,4	105	12,9
280	81	9,0	70	12,4
300	69	8,2	46	11,0
320	51	7,3	33	9,8
340	43	6,4	22	8,6
360	40	6,4	25	8,6
Vents calmes	3		2	
Nb observations	72307	8,3	8482	11,6
Répartition	89,5%		10,5%	

FIG-2.3.5 ROSE DES VENTS RÉGIONALE TOUTES CONDITIONS À 10 M (PÉRIODE 2002-2011)



Hauteur 10 m	Fréquence (pour mille)								Vitesse moyenne par secteur
	Secteur en degré	Classes de vitesses de vent (m/s)							
		Calmes	[1]	[2]	[3]	[4;7]	[8;12]	>=13	
20		1	2	3	13	13	4	37	7,4
40		2	3	5	16	16	6	47	7,5
60		2	4	6	23	20	7	61	7,5
80		2	3	6	36	24	6	78	7,1
100		2	4	6	35	10	1	58	5,4
120		2	3	5	11	1	0	23	4,0
140		2	3	3	9	2	0	20	4,3
160		2	2	3	16	11	2	36	6,6
180		1	3	4	25	32	8	73	8,0
200		2	3	5	35	31	8	84	7,5
220		1	3	6	35	32	9	88	7,6
240		2	4	6	35	38	12	97	8,0
260		2	4	5	33	36	10	89	7,9
280		1	3	4	30	23	8	69	7,6
300		1	3	3	20	15	4	47	7,2
320		1	3	3	15	9	2	34	6,6
340		1	2	3	12	7	2	28	6,3
360		1	2	3	11	8	3	28	6,9
Nb Observations	399	2226	4605	6666	34083	27377	7717	83073	7,2
Repartition	0,5%	2,7%	5,5%	8,0%	41,0%	33,0%	9,3%	100,0%	moyenne tous secteur

SOMMAIRE

.2.4	HYDROGÉOLOGIE – HYDROLOGIE	4
1.	HYDROGÉOLOGIE	4
1.1.	CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE AVANT TRAVAUX	4
1.1.1.	NAPPE DE L'ARÈNE	4
1.1.2.	NAPPE DU GRANITE	5
1.1.3.	NAPPE DES CORNÉENNES	5
1.2.	HYDROGÉOLOGIE DU SITE DE FLAMANVILLE 3	5
1.2.1.	MODIFICATIONS APPORTÉES PAR LES TRAVAUX DE LA TRANCHE 3	5
1.2.2.	RELATIONS HYDROGÉOLOGIQUES ENTRE L'ARRIÈRE PAYS ET LE SITE	7
1.3.	PHYSIONOMIE PRÉVISIONNELLE DE LA NAPPE APRÈS TRAVAUX	8
1.3.1.	CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ESTIMÉES DES AQUIFÈRES	8
1.3.2.	COMPORTEMENT PRÉVISIONNEL DE LA NAPPE PHRÉATIQUE	11
2.	HYDROLOGIE CONTINENTALE	13
2.1.	ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS	13
2.2.	UTILISATION DE L'EAU	14
3.	OCÉANOGRAPHIE	14
3.1.	ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS	14
3.2.	PARAMÈTRES NÉCESSAIRES AUX ÉVALUATIONS DE LA SÛRETÉ	15
3.2.1.	LES MARÉES	15
3.2.2.	LES COURANTS	16
3.2.3.	LA HOULE	17
3.2.4.	LA SÉDIMENTOLOGIE	18
3.3.	PHYSICO-CHIMIE MARINE	18
3.3.1.	GÉNÉRALITÉS	18



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 4

PAGE 2/33

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

3.3.2. SUIVI HYDROÉCOLOGIQUE ANNUEL DES TRANCHES 1 ET 2 (2005 À 2012)	19
3.4. UTILISATION DE L'EAU DE MER	19
3.5. RÉGIME THERMIQUE	20
LISTE DE RÉFÉRENCES	21

TABLEAUX :

TAB-2.4.1 DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DU GRAND DOUET, DU PETIT DOUET ET DE LA DIÉLETTE	22
TAB-2.4.2 PRÉLÈVEMENTS EN EAU POTABLE, EN EAU INDUSTRIELLE ET EN EAU D'IRRIGATION DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNÉE 2007)	23
TAB-2.4.3 NIVEAUX DES MARÉES AU PORT DE DIÉLETTE.....	25
TAB-2.4.4 STATISTIQUES DES SURCOTES EXTRÊMES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE	26
TAB-2.4.5 STATISTIQUES DES DÉCOTES EXTRÊMES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE	27
TAB-2.4.6 HAUTEURS STATISTIQUES DE HOULE SUR LE SITE DE FLAMANVILLE	28
TAB-2.4.7 COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE (% POIDS SEC) DES MESURES EFFECTUÉES SUR L'ESTRAN	29

FIGURES :

FIG-2.4.1 ÉTAT ACTUEL DES ENCEINTES GÉOTECHNIQUES.....	30
FIG-2.4.2 COUPES TYPES DES DIGUES DE PROTECTION	31
FIG-2.4.3 RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE	32
FIG-2.4.4 POINTS DE SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE DU SITE DE FLAMANVILLE	33

.2.4 HYDROGÉOLOGIE – HYDROLOGIE

1. HYDROGÉOLOGIE

1.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE AVANT TRAVAUX

Le massif granitique de Flamanville présente une couverture meuble et arable (arène granitique formée de sables plus ou moins argileux), d'une épaisseur de plusieurs mètres, issue de l'altération en place du granite.

Les aquifères potentiels sont par conséquent de deux types :

- Un aquifère superficiel constitué par l'arène, de type « granulaire », l'eau occupant les vides interstitiels (pores existant entre les grains de sables),
- Un aquifère plus profond constitué par le massif granitique proprement dit, de type « fissural », l'eau circulant à travers les discontinuités du massif rocheux (fissures, diaclases et failles).

Il n'existe pas de nappe réellement importante, tant dans le granite que dans l'arène, et par conséquent aucune carte n'a été établie à ce sujet.

En mer affleurent les cornéennes de l'auréole de métamorphisme de contact du batholite.

1.1.1. Nappe de l'arène

Un inventaire réalisé à l'époque de la construction des tranches 1-2 (1979-1980) a recensé une centaine de puits sur la commune de Flamanville. Ces puits sont pour la plupart situés dans une bande parallèle à la côte. Cette bande de terrain est délimitée :

- à l'Ouest par la ligne de partage des eaux superficielles, en retrait de 500 m environ par rapport à la côte,
- à l'Est par la route départementale D4, en retrait de 1,5 km par rapport à la côte.

Ces puits avaient une profondeur de quelques mètres (maximum 14 m).

L'existence de ces puits prouve donc la présence d'une certaine quantité d'eau exploitable dans la couche d'arène. Cette nappe est située principalement dans la zone de transition, entre l'arène et le granite. Elle se développe à la faveur de niveaux sableux d'extension et de productivité limitées. Le granite franc, moins perméable, constitue le plancher de cette nappe.¹

La nappe contenue dans l'arène est principalement alimentée par les eaux de surface. Les écoulements souterrains se font vraisemblablement dans des directions semblables à celles des eaux superficielles : à moins de 500 m de la côte, l'eau s'écoule vers la mer ; au-delà, elle s'écoule vers le Nord-Est en direction de la Diélette. Située plusieurs dizaines de mètres au-dessus des plus hautes eaux de la marée, cette nappe ne communique pas directement avec la mer.

Notons que la nappe de l'arène, bien que limitée vers le bas par le toit du granite sain (moins perméable en comparaison), contribue dans une faible mesure à l'alimentation de cet aquifère.

Sur le plateau surmontant le site, l'épaisseur d'arène varie entre 2,5 et 7,5 m d'épaisseur selon les emplacements des sondages.

1. L'altération d'un massif granitique aboutit classiquement à un profil où se succède, de haut en bas :
* l'arène (sensu stricto) composée de sables grossiers plus ou moins argileux,
* une zone de transition, composée de boules de granite altéré, dans une matrice d'arène,
* le granite altéré,
* le granite sain.

1.1.2. Nappe du granite

La nappe fissurale contenue dans le massif granitique trouve son exutoire dans la mer par l'intermédiaire des criques découpant la falaise granitique du cap de Flamanville. Dans la future zone du CNPE de Flamanville, le toit de cette nappe fissurale s'abaissait donc régulièrement du plateau vers la mer.

La base de cette nappe, qui se développe dans les fissures, failles et filons du rocher, correspond à l'interface entre le rocher décomprimé de subsurface, et le rocher sain et fermé situé plus en profondeur.

Du fait de la perméabilité et de la porosité faibles de cet aquifère, aucune source pérenne et significative, c'est-à-dire ayant un débit supérieur à plusieurs dizaines de litres par heure, n'a été recensée avant ni pendant les travaux de terrassement principaux des tranches 1 à 4.

1.1.3. Nappe des cornéennes

Au droit du site, compte tenu de la forte pente du toit rocheux (de l'ordre de 3 à 4 %), les cornéennes correspondaient au platier rocheux, partiellement dégagé à marée basse.

Le contact granite / cornéennes correspondait grossièrement à la ligne moyenne du rivage (courbe de niveau 0 NGF). Le platier était dégagé à marée de mortes eaux jusqu'à une distance correspondant à la terminaison occidentale de la salle des machines de la tranche 3.

Compte tenu de sa fracturation et de sa stratification, ce massif de cornéennes présente une perméabilité de fissure. La nappe fissurale qui s'y développait était en équilibre avec les marées.

1.2. HYDROGÉOLOGIE DU SITE DE FLAMANVILLE 3

1.2.1. Modifications apportées par les travaux de la tranche 3

1.2.1.1. Travaux de terrassement

Les travaux se sont déroulés en deux phases :

- 1) Les terrassements principaux des tranches 1 à 4 dans les années 1978/1979, comportant le déroctage en masse de la falaise granitique et la construction d'une plate forme gagnée sur la mer à 0 NGF.
- 2) Les terrassements secondaires des tranches 1 à 4, visant à atteindre la cote de fondation des ouvrages. Ces terrassements secondaires ont été étalés sur deux périodes : 1993-1994, dans l'optique de la construction avortée de deux tranches N4 2^{ème} train, et 2006-2008, pour la construction la tranche EPR.

1.2.1.1.1. Terrassements principaux

Les terrassements principaux des tranches 1 à 4 ont consisté à araser la falaise et à gagner une plate-forme sur la mer en réutilisant les déblais issus du minage de la falaise.

La falaise naturelle a été entaillée sur une surface d'environ 10 ha (130 m de large en moyenne, et environ 800 m de long), une partie des déblais de granite servant à gagner environ 40 ha sur la mer (approximativement 400 m de large et 1000 m de long). Six millions de m³ de granite ont ainsi été déroctés.

Les travaux de terrassement principaux ont ainsi abouti à la réalisation d'une plate-forme abritant les tranches 1-2 existantes, ainsi qu'un emplacement dédié aux futures tranches 3-4.

La falaise actuelle, constituant la limite Est des terrassements, présente une hauteur moyenne d'environ 60 m.

1.2.1.1.2. Terrassements secondaires

Le début des terrassements secondaires des fouilles des tranches 3-4 eut lieu en 1993 pour un projet de construction de deux nouvelles tranches du palier « N4 2^{ème} train ». Après la décision de suspendre ce projet de construction, les travaux de terrassement ont été arrêtés en 1994.

Les terrassements secondaires de la tranche EPR ont repris à l'été 2006. Compte tenu de la forte pente du toit rocheux (correspondant au platier naturel) vers la mer, ils ont consisté en :

- Le décapage des matériaux meubles (tout venant d'abattage de la falaise granitique) recouvrant l'emprise de la tranche, afin de mettre à nu le toit rocheux (229 000 m³ de déblais meubles),
- Le déroctage à l'explosif du granite, permettant d'atteindre les cotes de fondation des ouvrages de l'îlot nucléaire, d'une partie de la salle des machines HM et du BLNC HF et la partie orientale des galeries et ouvrages enterrés,
- Le décapage de la frange altérée des cornéennes et la mise en œuvre de béton de blocage pour atteindre la cote de fondation des ouvrages : les deux tiers occidentaux de la salle des machines HM, et la partie occidentale des galeries et ouvrages enterrés,
- Le déroctage des cornéennes pour atteindre la cote de fond de fouilles des ouvrages de la station de pompage (HP HC), du bâtiment de collecte et de traitement des effluents HX et des conduites CRF.

Le volume de déblais rocheux a été de l'ordre de 330 000 m³, réparti comme suit ;

- Ilot nucléaire : 76 000 m³,
- HM : 67 000 m³,
- HP HC : 119 500 m³,
- Fouilles et galeries diverses : 65 000 m³.

Hormis le POE (HB), la plate forme d'évacuation d'énergie (HTP, HTE, HTS) et les bâtiments de stockage de gaz (HZ), aucun bâtiment n'a donc été fondé sur du remblai. Tous les bâtiments classés de sûreté reposent sur un béton de comblement ou sont directement fondés au rocher.

Les remblais de masse ont donc été limités aux fondations des ouvrages pré-cités : HB, HTP, HTE, HTS et HZ, ainsi qu'aux espaces inter bâtiments. Ils ont été obtenus par concassage des déblais du site (819 000 t) et ont permis la création d'une plate-forme à \square NGF sur l'emprise de la tranche 3 et à l'emplacement d'une future tranche 4.

Ces remblais ont été disposés de la façon suivante :

- Sous la cote \square NGF, mise en place de remblais perméables et auto-filtrants. Il s'agit d'un remblai granulaire 4/80 mm obtenu par concassage. Par conception, ce remblai permet d'éviter tout risque d'évolution par entraînement des fines lors des inversions bi-quotidiennes de gradients, liées à la marée dans le chenal de prise,
- Au-dessus de la cote \square NGF, mise en place de remblais moins perméables, de divers types : remblai granulaire 0/70 mm et grave 0/50 mm traitée au liant routier.

1.2.1.2. Dispositifs d'étanchéité

La plate-forme du site, calée à \square NGF, est protégée de l'action de la houle par 1,5 km de digues.

Un dispositif d'étanchéité a ceinturé la tranche 3 pour permettre la mise hors d'eau des fouilles lors des travaux avec des débits d'exhaure acceptables.

La continuité de cette étanchéité a été détruite lors de la mise en eau du chenal (dépose du bouchon provisoire dit bouchon 2/3 qui fermait le chenal entre les tranches 2 et 3).

Ce dispositif consiste en (voir [FIG-2.4.1](#)) :

— Une étanchéité dans la digue à la mer, parallèle à la côte, qui sépare la tranche de la mer. L'étanchéité de cette digue est uniquement requise en phase travaux. En phase d'exploitation de la tranche la fonction de la digue à la mer se limitera à une protection du chenal de prise contre la houle.

— Deux branches en retour, plus ou moins perpendiculaires à la digue à la mer, se refermant vers la terre et englobées dans le remblai de la plate-forme :

- 1) Une branche Sud qui sépare les tranches 1-2 des tranches 3-4. Le bouchon provisoire 2/3 se situait à l'extrémité Ouest de cette branche,
- 2) Une branche Nord qui délimite au Nord l'enceinte des tranches 3-4.

L'étanchéité de ces digues est assurée par un noyau argileux (argiles dites de « Sainte-Croix ») entre [] et [] NGF (voir [FIG-2.4.2](#)). La mise en place du noyau et son compactage étant impossible sous [] NGF (terrains trop souvent immergés), l'étanchéité en profondeur a été obtenue au moyen d'un voile d'injection foré à travers la digue. Ce voile, pénétrant de 1 à 2 m dans le rocher était destiné à étancher :

- D'une part la portion de digue située entre la base du noyau ([] NGF) et la base de la digue (cote minimale vraisemblable [] NGF dans la zone aval de l'estran),
- D'autre part les premiers mètres du terrain de fondation, entre la base du remblai et le toit du rocher (rocher altéré, ainsi que les poches de sables et graviers situés entre les indentations du rocher).

Le voile d'étanchéité a été réalisé en 1979 (branche Sud) et en 1993 (digue à la mer et branche Nord), puis régénéré localement en 1993 (branche Sud) et 2006/07 (digue à la mer et branche Sud).

1.2.1.3. Dispositif de drainage

Le site de Flamanville ne comporte pas de drain en pied de falaise. En effet, du fait de la faible perméabilité et porosité du massif granitique, les venues d'eau douce provenant du plateau et pouvant trouver leur exutoire au niveau des fouilles des tranches 1 à 4 se sont avérées très faibles. Il n'a donc pas été jugé nécessaire de réaliser un drain situé en pied de falaise permettant de les intercepter.

1.2.1.4. Pompages permanents ou quasi-permanents sur le site

Il n'existe aucun pompage permanent de la nappe dans les enceintes géotechniques des tranches 1-2 et 3-4, ni aux abords immédiats du site de Flamanville.

1.2.2. Relations hydrogéologiques entre l'arrière pays et le site

- Compte tenu de la situation géographique de la tranche 3, ainsi que d'une manière générale du CNPE du Flamanville :
 - situé en pied de falaise (plate-forme calée à [] NGF, le niveau de l'arrière pays étant situé entre les [] NGF au Nord-Est du site, et [] NGF au Sud-Est du site),
 - situé à l'aval de la ligne de partage des eaux superficielles (ligne parallèle à la côte, située à 500 m environ à l'intérieur des terres),
 - fondé sur le granite sain dont on sait qu'il ne constitue pas un aquifère productif du fait de caractéristiques hydrauliques insuffisantes (porosité et perméabilité faibles à très faibles),
- Compte tenu de la profondeur maximale (14 m) des puits recensés en haut de la falaise, et de l'aquifère que ces derniers intéressent (aquifère superficiel des arènes),
- Compte tenu du sens d'écoulement de la nappe fissurale du granite qui s'effectue depuis la terre, en direction de la mer,

il n'existe aucun risque de pollution des captages situés à proximité du site, consécutif à un déversement accidentel d'un polluant au droit de la tranche EPR, ainsi que d'une manière générale du CNPE de Flamanville.

1.3. PHYSIONOMIE PRÉVISIONNELLE DE LA NAPPE APRÈS TRAVAUX

Préambule : les travaux ont fortement perturbé la physionomie de la nappe, en particulier par la mise hors d'eau des fouilles. La physionomie de la nappe après travaux décrite ci-dessous correspond à la physionomie attendue, à partir de la connaissance géologique du site et des résultats des études.

La configuration hydrogéologique de la tranche 3 est analogue à celle qui règne en tranches 1-2.

Toutefois, des différences existent entre la nappe baignant la plate forme des tranches 1 et 2 et la nappe qui baignera la tranche 3. Ces différences sont liées à des différences entre les plans masses, les niveaux de fond de fouilles des bâtiments et le mode de fondation de certains bâtiments des trois tranches.

Dans ce qui suit, on entend par nappe « phréatique », la nappe à surface libre, qui baigne les deux aquifères que sont le remblai et le massif rocheux (granite et cornéenne) servant de fondation aux ouvrages des îlots nucléaires.

Les conditions aux limites aval correspondent au niveau de la mer dans le chenal :

- Plus Hautes Eaux (PHE) : +5,88 NGF (correspondant à un coefficient de marée de 120 soit +10,80 Cote Marine). Une surcote de 75 cm destinée à prendre en compte l'effet de serre sur 60 ans conduit à une cote PHE de + 6,63 NGF.
- Plus Basses Eaux (PBE correspondant à un coefficient de marée de 120, sans intégration de la surcote atmosphérique) : -4,92 NGF (correspondant à 0 CM).
- PHES (Cote Majorée de Sécurité) : +8,54 NGF.
- PBES : -6,05 NGF.

Les conditions aux limites amont correspondent au débit d'apport en eau douce en provenance du plateau granitique, au travers des fractures du granite.

1.3.1. Caractéristiques hydrodynamiques estimées des aquifères

1.3.1.1. La nappe dans le granite

L'anticipation du comportement hydraulique du massif rocheux aurait nécessité un levé très particulier de la fracturation (soulignant les modes d'intersection des réseaux de fractures, la fraction circulante des fractures montrée par les suintements, les longueurs des traces de fractures,...) en fond de fouille. Ce levé aurait été incompatible avec les délais de réalisation des ouvrages et avec les conditions de chantier.

Quelques suintements ont été relevés sur les talus du chantier. L'évolution permanente de l'état de terrassement n'a pas permis d'effectuer un cumul précis des venues d'eau au travers le granite. En outre, les conditions de chantier étaient peu favorables au repérage des zones de venues d'eau. Dans tous les cas, les débits unitaires ne dépassaient pas quelques litres/minutes.

La perméabilité du granite est une perméabilité de fissures. Elle diminue très rapidement au-delà des quelques mètres de profondeur, ce qui correspond à la frange de rocher endommagé par les effets arrières de tirs de mine, en particulier les tirs de masse réalisés en 1979-80 lors de l'abattage de la falaise du site.

Compte tenu des limites vibratoires très strictes imposées par la proximité de la tranche 2 en fonctionnement lors des opérations de déroctage de la tranche 3, on peut raisonnablement penser que les effets arrières des tirs réalisés en 2006/2007 n'ont pas raisonnablement affecté la perméabilité du massif sain sous l'emprise des ouvrages de la tranche 3.

Seize essais Lugeon ont été réalisés sur quatre sondages carottés inclinés de 45° préalablement carottés et qui ont ensuite été équipés en piézomètres. Le choix des zones testées a été fait en fonction du levé géologique des fractures. Seules les zones fracturées ont été testées :

- Diaclases sèches : moyenne 0,4 UL (minimum : 0 UL, maximum 0,8 UL),
- Diaclases ouvertes et imparfaitement recristallisées (2 essais) : 3,75 et 6,3 UL,
- Diaclases montrant des signes plus ou moins flagrants d'altération hydrothermale : 0,64 UL (min = 0 UL, max = 2 UL).

Les zones ayant subi des phénomènes d'altération hydrothermale (apparaissant comme une passée de granite altéré et non plus comme une fracture) n'ont pas été testées. Leur cortège de phyllosilicates les rend étanches.

Le débit cumulé entrant par les fissures du talus rocheux Est de la tranche, situé en pied de falaise, a été estimé à quelques m³/h (avec le gradient hydraulique correspondant aux conditions du chantier, nappe rabattue par pompage). Ces venues d'eau étaient essentiellement localisées sur quelques rares joints peu pentés « décomprimés ».

Le mode de perméabilité du massif rocheux (perméabilité de fracture) rend délicate toute caractérisation de la perméabilité d'ensemble. L'effet d'échelle est très important entre la perméabilité d'une fracture et la perméabilité en grand équivalente sous l'ouvrage.

L'exercice a toutefois été effectué pour estimer la perméabilité du massif, dans le sens Est Ouest, à l'échelle décimétrique, en s'appuyant sur les informations issues du levé géologique du fond de fouille.

Cet exercice a été mené en considérant les hypothèses suivantes :

- Les joints et fractures du granite sont assimilés à des plans subverticaux,
- 1 UL est équivalent à 1,7.10⁻⁷ m/s, 0 UL à 1.10⁻⁸ m/s, de façon conservative.

Sur une distance de 10 m, on trouve la répartition suivante :

- Sur une largeur de 1 m, une diaclase ouverte et imparfaitement recristallisée, correspondant à une perméabilité de 9.10⁻⁷ m/s, paramétrée entre 6 et 11.10⁻⁷ m/s,
- Plusieurs diaclases sèches, correspondant à une bande de 5 m de perméabilité 0,7.10⁻⁷ m/s, paramétrée entre 0,1 et 1,4.10⁻⁷ m/s,
- Plusieurs diaclases montrant des signes plus ou moins flagrants d'altération hydrothermale, sur une bande de 3 m de largeur, avec une perméabilité de 1.10⁻⁷ m/s, paramétré entre 0,1.10⁻⁷ m/s et 3,4.10⁻⁷ m/s,
- Une bande avec altération hydrothermale riche en phyllosilicates de 1m de largeur, de perméabilité 1,7.10⁻⁷ m/s (paramétrée entre 0,1 et 2.10⁻⁷ m/s).

Selon ces hypothèses, la perméabilité équivalente au débit transitant à cette échelle décimétrique vaut 1,7.10⁻⁷ m/s, paramétrée entre 0,7 et 3.10⁻⁷ m/s.

Une forte anisotropie régit la perméabilité horizontale, puisque l'essentiel des fissures affectant le massif granitique correspond à des fractures verticales d'orientation grossièrement Est-Ouest. La perméabilité horizontale dans la direction Est-Ouest est donc supérieure à la perméabilité horizontale dans la direction Nord-Sud.

On retiendra donc les perméabilités horizontales à grande échelle suivantes pour le granite :

- de l'ordre de 10⁻⁵ m/s dans la frange décomprimée par les tirs (jusqu'à □ NGF en pied de falaise),
- 2.10⁻⁷ m/s en grand dans la masse et en profondeur et dans la direction Est Ouest,
- très faible dans le sens Nord-Sud.

Ces faibles valeurs de perméabilité limitent la mise en charge des fractures en sous face de radier des ouvrages. Les valeurs de sous-pressions sous les ouvrages sont donc pratiquement indépendantes des fluctuations du niveau de la nappe liées aux marnages des marées (de faible durée eu égard aux valeurs de perméabilité mesurées). Les niveaux piézométriques sous les radiers fluctuent donc très peu autour de la valeur moyenne de la nappe qui varie selon les ouvrages considérés.

Les niveaux statiques mesurés en pied de la falaise granitique du site sont compris entre \square et \square NGF. Ces mesures ont été effectuées avant le début des terrassements qui ont ensuite perturbé la piézométrie de la zone (par rabattement de la nappe). Les piézomètres ont ensuite été détruits ce qui ne permet pas de bénéficier d'un historique. Des piézomètres équivalents devront être reforés à l'issue des travaux.

Ce niveau est supérieur au niveau des Plus Hautes Eaux. Cela signifie que dans tous les cas de figure, les écoulements sont dirigés depuis la falaise (Est) vers la mer (Ouest).

1.3.1.2. La nappe dans les cornéennes

Les données disponibles sont des données très ponctuelles en sondages verticaux (essais Lugeon) et ne sont pas forcément représentatives de la perméabilité globale du terrain (données ponctuelles avec un nécessaire effet d'échelle, associé à un effet d'orientation car les forages verticaux investiguent très mal l'importante fracturation subverticale des cornéennes). Ces essais Lugeon sont en outre restreints à la zone du chenal :

- 1) Essais Lugeons réalisés au travers du bouchon en 1993 :
 - En dessus de -11 NGF (soit 5 m de couverture rocheuse) : les valeurs Lugeon varient entre 0 et 40 UL, moyenne 15 UL,
 - En dessous de -16 NGF, les valeurs Lugeon varient entre 0 et 13 UL, moyenne 3 UL (4 essais).
- 2) Essais Lugeon réalisés dans le sondage SC2005-7 dans l'axe du puits à terre :
 - 141 l/min à 6 bars de pression entre -10 et -15 NGF (soit 5 à 10 m de couverture rocheuse),
 - aucune absorption entre -20 et -25 NGF,
 - dans ce même sondage, la cote où disparaît l'altération des pyrites (c'est à dire la cote en dessous de laquelle l'eau ne circule plus) est globalement supérieure à -25 NGF.

Ces faibles valeurs de perméabilité ont été confirmées lors du creusement des ouvrages de démarrage du tunnelier forant la galerie de rejet en mer, où les venues d'eau étaient réduites à quelques venues d'eau localisées, en particulier sous le puisard chantier à l'intersection avec un filon d'aplite aux épontes très fracturées.

Compte tenu de l'orientation de la stratification, orientée $N30^\circ E$, c'est-à-dire parallèle au trait de cote et subverticale, on peut raisonnablement penser que la perméabilité en grand du massif présente une anisotropie horizontale marquée. La perméabilité est probablement supérieure dans la direction Nord Sud que dans la direction Est-Ouest.

Les cornéennes présentent une fracturation globalement plus importante et une altération plus marquée que le granite, ce qui leur confèrent probablement les caractéristiques hydrodynamiques suivantes :

- Perméabilité horizontale en grand 10^{-6} m/s dans la direction Nord-Sud et dans la frange de terrain située sous les ouvrages,
- Porosité efficace : 2 à 3 %.

Les niveaux piézométriques mesurés temporairement en 2006 au démarrage des travaux de terrassement, dans la frange décomprimée des cornéennes, étaient dépendants des niveaux de mer, par l'intermédiaire de la nappe des remblais.

1.3.1.3. La nappe des remblais

On distingue le tout venant d'abattage de la falaise granitique en 1978-79 des remblais mis en place en 2007-2009 autour des ouvrages de la tranche 3.

1.3.1.3.1. Remblais autour des ouvrages de la tranche 3

Trois types de remblai sont mis en place autour des ouvrages de la tranche 3 :

- 1) Remblai N1, mis en place sous la cote □ NGF. La granulométrie de ce remblai (4/80 mm) lui confère une perméabilité très élevée, de l'ordre de 10^{-1} m/s. Sa porosité totale est de l'ordre de 18 %,
- 2) Remblai de type N3, mis en place au-dessus de la cote □ NGF. Sa granulométrie et sa compacité lui confèrent une perméabilité de l'ordre de 10^{-3} m/s. Sa porosité totale est de l'ordre de 11 %,
- 3) Remblai N2t à base de stériles (0/50 mm) traités au liant routier. Par rapport aux autres remblais, ce remblai de contact est considéré comme étanche. Il a été mis en place contre les ouvrages (remblai de contact) ou en masse au-dessus de □ NGF (sauf sous HB).

1.3.1.3.2. Tout venant d'abattage de la falaise granitique

Ce matériau constitue le remblai de la plate-forme de la tranche 2, au moins à proximité de la limite avec la tranche 3. Il est également présent, de façon disparate, dans la plate-forme située à l'emplacement d'une hypothétique tranche 4.

Il s'agit d'un matériau mal gradué à granulométrie étalée, très hétérogène au sens granulométrique du terme et contenant une part non négligeable de gros éléments : 57 % des grains ont une taille supérieure à 60 mm. Certains blocs présentent un diamètre supérieur à 1,5 m. Des observations piézométriques, réalisées pour le dimensionnement d'ouvrages de soutènement provisoires de chantier, ont montré que ce remblai était extrêmement perméable (perméabilité localement supérieure à 10^{-1} m/s). En particulier, des mesures dans un piézomètre implanté dans la plate-forme de la tranche 2, au delà du retour Sud, ont montré que le niveau piézométrique suivait sans aucun amortissement et décalage temporel le niveau de la mer dans le chenal pourtant situé à 70 m plus à l'ouest.

1.3.2. Comportement prévisionnel de la nappe phréatique

Il faut en premier lieu remarquer qu'un ensemble de galeries et de bâtiments fondés au rocher, et orientés Nord Sud (galeries HGX HGL HGM HGC HGI : tronçons □ au Nord, HM en partie centrale et HF et galerie inter-tranche au Sud) constitue une sorte de « barrage » aux écoulements, séparant le site en deux zones hydrogéologiquement distinctes :

- la zone de l'îlot conventionnel, située à l'Ouest de ce « barrage »,
- la zone de l'îlot nucléaire, située à l'Est de ce « barrage ».

1.3.2.1. Physionomie attendue de la nappe autour de l'îlot conventionnel

Le niveau d'eau dans la zone de l'îlot conventionnel est conditionné :

- Par le niveau d'eau dans le chenal, qui suit directement le cycle des marées,
- Par la surface de berge du chenal qui est « imperméabilisée »,
- Par la perméabilité élevée des remblais en grande masse mis en place sous □ NGF.

Le front HCA-HCB-HP peut être considéré comme étanche, tous les bâtiments étant fondés au rocher, à grande profondeur, sur des cornéennes massives et serrées.

Le front du HX peut lui aussi être considéré comme étanche, même si ce bâtiment est fondé au toit des cornéennes, sur du rocher dans l'ensemble plus fissuré et plus ouvert.

L'extrémité du chenal côté tranche 4 (« bouchon 3 /4 »), ainsi que l'espace d'environ 2m entre HP et HX ont été « étanchés ».

Afin de limiter les fluctuations de la nappe des remblais dans la partie Sud de HM et sur les cotés Ouest et Sud de HF, la section de remblais située entre le voile Sud de HCA et le rideau d'étanchéité séparant la tranche 2 de la tranche 3 (dans l'axe de l'ancien bouchon 2/3) a été étanchée, afin de limiter les flux d'échanges par réduction de la section hydraulique utile.

Compte tenu des éléments ci-dessus, il apparaît donc que l'alimentation (à marée haute) et le drainage (à marée basse) de la nappe du remblai de la plate-forme de l'îlot conventionnel se font par les voies suivantes :

- Côté Nord : par le remblai de la zone Tr 4, perméable à très perméable, mais ne communiquant avec la mer que par les défauts d'étanchéité de la digue de protection du site : digue à la mer à l'emplacement de la tranche 4 et retour Nord, et par les défauts de l'étanchéité du bouchon 3-4, fermant l'extrémité Nord du chenal de prise.
- Côté Sud, l'alimentation et le drainage du remblai se font :
 - accessoirement depuis la tranche 2, par les défauts de l'étanchéité du retour Sud,
 - principalement par une section de tout venant d'abattage de la falaise (remblais anciens présents le long de la berge du chenal entre le voile Sud de HC et le rideau d'étanchéité du retour Sud).

Cette nappe suit avec décalage et amortissement les fluctuations de la marée dans le chenal de prise.

L'importance du décalage temporel et le taux d'amortissement seront fonction de la distance aux voies d'alimentation / drainage.

1.3.2.2. Physionomie attendue de la nappe autour de l'îlot nucléaire

Cette zone est une zone en déblai, gagnée sur la falaise initiale du site.

Le niveau de la nappe phréatique au contact des parties enterrées de l'îlot nucléaire est conditionné autant - sinon plus - par les propriétés du remblai de comblement de l'espace entre les talus de fouille et les ouvrages, que par le niveau de la nappe dans le massif rocheux.

Des arguments géologiques permettent en effet de considérer que le phénomène de mise en charge des fractures de la fondation granitique des ouvrages, par la falaise culminant environ 80 m au-dessus du fond de fouille de la majorité des ouvrages de l'IN ou par les eaux de pluie, est peu probable.

Le niveau d'eau dans la zone de l'îlot nucléaire est dicté par :

- Le niveau amont côté falaise, qui correspond au niveau piézométrique dans le massif granitique fissuré en pied de falaise, soit +8 NGF,
- Les flux entrants côté falaise, qui sont très faibles (estimés inférieurs à 5 m³/h),
- La perméabilité des matériaux remplissant les espaces entre les ouvrages (joints) ou entre les ouvrages et les talus rocheux (remblais),
- Le niveau aval, qui correspond au niveau de la nappe autour de l'îlot conventionnel,
- La cote des exutoires dans le remblai de la zone de l'îlot conventionnel, qui sont les suivants :
 - Au Sud : fond de fouille des tronçons 1 et 2 HGA, 3 HGB, soit +6,75 NGF,
 - Au Nord : fond de fouille HGQ : +4,36 NGF, puis fond de fouille tranche 4 : +4,7 NGF.

Compte tenu de ces cinq facteurs, des dispositions constructives ont été mises en place pour garantir un niveau de nappe compris entre +5 et +7 NGF.

Ces dispositifs mis en place sont la continuité d'une bande de remblais drainants contre les voiles de certains ouvrages et la mise en place de buses dans certains bétons de blocage.

La cote annoncée ci-après de +7 NGF correspond à l'hypothèse de disparition de l'exutoire Nord en cas de construction d'une éventuelle tranche 4. Dans ce cas, seul l'exutoire Sud assurerait la régulation du niveau de la nappe, à environ +7 NGF.

Les ouvrages de l'îlot nucléaire sont donc baignés en permanence par une nappe, indépendante des marées et peu soumise aux fluctuations liées aux précipitations.

1.3.2.3. Dispositif d'auscultation piézométrique

Un réseau piézométrique sera mis en place autour de la tranche 3 à la fin des travaux de construction. Ce réseau aura pour objectifs :

- De valider les conditions aux limites en terme de piézométrie, en particulier en restaurant l'auscultation piézométrique en pied de falaise, endommagée par les travaux,
- D'établir des cartes de nappe permettant de caractériser la piézométrie du site et en particulier l'effet du marnage, et de valider par calage la perméabilité des remblais,
- De valider les hypothèses de nappe retenues pour le dimensionnement des ouvrages.

2. HYDROLOGIE CONTINENTALE

2.1. ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS

Le réseau hydrographique de la région Nord-Cotentin, d'une densité exceptionnelle, est caractéristique d'un ruissellement intense car la rétention des terrains est peu importante.

En effet, les bassins versants sont formés de terrains anciens, cristallins ou métamorphiques, sauf dans la partie Sud-Est (bassin triasique de Sainte-Mère-L'Eglise).

Dans le voisinage du CNPE de Flamanville (voir figure [FIG-2.4.3](#)), différents cours d'eau se jettent dans la Manche sur la côte Ouest du Cotentin :

- Au Nord du site :
 - Le ruisseau de la Grand Vallée passant à Vauville,
 - Le Grand Douet,
 - Le Petit Douet,
 - La Diélette, drainant le massif granitique de Flamanville avec son affluent la Chanteraine, et dont l'embouche est située près du port de la Diélette.
- Au sud du site :
 - Le But du rozel.

Le régime hydrologique de ces différents cours d'eau, de type pluvial océanique, se caractérise par des saisons hydrologiques bien tranchées (période de hautes eaux concentrées en hiver et basses eaux particulièrement prononcées durant la période estivale). Les cours d'eau sont donc très réactifs aux volumes précipités. Les faibles qualités aquifères des nappes ne parviennent pas à lisser le débit moyen au cours de l'année.

Le Grand Douet, le Petit Douet et la Diélette servent aux prélèvements d'eau douce pour les besoins du site.

Les données de débits utilisées pour établir les caractéristiques de l'hydrologie influencée de ces trois cours d'eau sont les suivantes :

Station	Gestionnaire	Surface du bassin versant	Période	Nature des débits
Petit Douet	EDF-DTG	12,3 km ²	2002-2011	influencés
Grand Douet	EDF-DTG	18,9 km ²	2002-2011	influencés
Dielette	EDF-DTG	39,1 km ²	2002-2011	influencés

Les 3 stations sont situées en aval des prélèvements et dérivations. Il s'agit donc de données observées influencées.

Le tableau [TAB-2.4.1](#) présentent les débits caractéristiques de ces 3 cours d'eau, à savoir :

- les débits moyens : débits moyens mensuels et module interannuel ;
- les débits caractéristiques de l'étiage : QMNA5 : Débit mensuel minimum annuel de période de retour 5 ans et VCN3 : débit moyen de 3 jours consécutifs les plus faibles de l'année de période de retour 10 ans ;
- le débit caractéristique de crue : Q5 : Débit moyen journalier maximum de temps de retour 5 ans.

Ces données dénotent une faible ressource en eau douce.

2.2. UTILISATION DE L'EAU

Les prélèvements d'eaux dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville répondent pour l'essentiel de 3 types d'usage :

- eaux destinées à la consommation humaine ;
- eaux d'irrigation ;
- eaux à usage industriel.

Le tableau [TAB-2.4.2](#) présente les prélèvements en eau potable, en eau industrielle et en eau d'irrigation pour l'année 2007, à partir des données de l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

L'utilisation des eaux à proximité du site de Flamanville se fait essentiellement à partir de forage en nappe souterraine et par captage direct dans le milieu (cours d'eau ou étang).

Il n'y a pas de prélèvement d'eau directement dans les cours d'eau : le Petit Douet, le Grand Douet et la Diélette, en dehors de ceux réalisés par le site de Flamanville.

Au niveau des eaux souterraines (Cf. [§ 1.](#)), seule la nappe superficielle des arènes est exploitable, aucun ouvrage de captage profond dans le cœur du massif granitique n'ayant été recensé durant la construction des tranches 1-2. Plusieurs puits dans la nappe de l'arène sont déclarés et utilisés, sur les communes du Rozel et des Pieux, pour l'irrigation des cultures et la distribution publique d'eau destinée à la consommation humaine.

3. OCÉANOGRAPHIE

3.1. ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS

Le site est implanté sur la côte rocheuse du Cap de Flamanville, sur la façade ouest du Cotentin. Il est soumis aux régimes marins de la Manche occidentale, modifiés par l'influence des Iles anglo-normandes et de la presqu'île du Cotentin.

Le littoral du secteur côtier entre Vauville et Carteret est marqué par des étendues sableuses, bordées par de puissants cordons dunaires, interrompues par les pointements rocheux de Carteret (schistes et grès), du Rozel (schistes) et de Flamanville (granite et roches de métamorphisme de contact).

Les courants de marée dans cette zone sont très importants (proximité du Raz Blanchard), et conditionnent fortement l'environnement marin plutôt océanique. Le site est soumis à un régime de marée de type semi-diurne.

L'eau de mer est utilisée pour assurer le refroidissement de la centrale en fonctionnement normal. De plus, lorsque les tranches sont à l'arrêt (normal ou accidentel), la puissance résiduelle est évacuée par l'eau de mer au travers du circuit d'eau brute (SEC).

Les effluents liquides provenant des systèmes SEK et KER de la tranche EPR sont rejetés par les mêmes émissaires que ceux de la centrale de Flamanville 1-2 via des canalisations sous-marines de rejet d'eau de circulation débouchant en mer à environ 500 à 700 mètres de la côte.

La prise d'eau de mer est réalisée pour les trois tranches à la côte par l'intermédiaire d'un canal d'amenée d'eau protégé du large par une digue.

Le rejet d'eau chaude de la tranche EPR en fonctionnement est réalisé à 700 m de la côte par l'intermédiaire d'une galerie sous-marine.

Les fonds devant le site de Flamanville descendent très vite, puisqu'on atteint la ligne bathymétrique des -10 m CM² à environ 700 mètres et la ligne des -20 m CM à environ 4 kilomètres.

3.2. PARAMÈTRES NÉCESSAIRES AUX ÉVALUATIONS DE LA SÛRETÉ

3.2.1. LES MARÉES

1) Les niveaux de marées

Les marnages³ dans le golfe Normand-Breton sont parmi les plus élevés du monde, en raison notamment de la réflexion de l'onde de marée sur la presqu'île du Cotentin.

A Diélette, petit port situé juste au nord du site de Flamanville, les niveaux de marée, déterminés par le SHOM⁴ sont données dans le tableau [TAB-2.4.3](#).

Le niveau moyen de la mer est de 0,53 m NGFN⁵. Plus on se déplace vers le sud de la presqu'île du Cotentin, plus les marnages augmentent.

A ces niveaux liés à la marée, peuvent s'ajouter des surélévations (surcotes) ou des abaissements (décotes) liés aux conditions météorologiques (action du vent, gradient de pression atmosphérique).

2) Cote majorée de sécurité

La cote majorée de sécurité correspond, pour les sites en bord de mer, à la combinaison du niveau de pleine mer de coefficient 120 et de la surcote millénale calculée avec un intervalle de confiance à 70% .

- pleine mer de vive-eau exceptionnelle :
Le niveau de pleine mer de vive eau exceptionnelle (coefficient 120) correspondant au niveau maximal lié à la marée astronomique⁶ est, pour le port de Diélette (et par conséquent pour le site de FLAMANVILLE) de 5,94 m NGFN.
- surcote marine millénale :
Les ports de référence les plus proches du site de Flamanville sont ceux de Cherbourg et Saint-Malo pour lesquels existent de longues séries d'observations des hauteurs d'eau. La

2. CM = Cote Marine

3. Marnage : amplitude maximale du niveau de la mer entre la marée basse et la marée haute

4. SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

5. Nivellement Général de la France Normal

6. La marée astronomique est une manifestation de la loi de la gravitation universelle appliquée au système formé par la Terre, le Soleil et la Lune.

durée importante de ces observations permet une bonne estimation statistique et une bonne précision dans la détermination des événements extrêmes.

Une série de mesures de niveaux d'eau réalisées dans le Port de Diélette a, quant à elle, permis d'établir une bonne corrélation entre les niveaux marins dans les ports de référence et dans le Port de Diélette.

L'étude statistique des surcotes extrêmes effectuées en 2014 par EDF-R&D, à partir de combinaisons de données statistiques allant jusqu'à 2011, donne les valeurs de surcotes qui sont exposées dans le tableau [TAB-2.4.4](#).

La surcote millénale est donc de 1,58m, avec un intervalle de confiance à 70 % de [1,42m ; 1,74m].

Par ailleurs, pour Flamanville 3, il est retenu une évolution du niveau induit par le réchauffement climatique jusqu'en 2075 de 0,35 m (cf. section 3.3.5).

Pour le site de Flamanville 3, la cote majorée de sécurité (CMS) est donc fixée à $5,94 + 1,74 + 0,35 = 8,03$ m NGFN.

3) Plus Basses Eaux de Sécurité

Le niveau des PBES est défini comme la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 70 % de l'estimation statistique du niveau bas millennial, de laquelle on déduit une marge d'incertitude.

La marge d'incertitude est prise égale à 15% de l'écart entre le niveau de basse mer astronomique d'une marée maximale (de coefficient 120) et la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 70% de l'estimation statistique du niveau bas millennial.

- basse mer de vive eau exceptionnelle :
Le niveau de basse mer de vive eau exceptionnelle (coefficient 120) correspondant au niveau extrême lié à la marée est, pour le port de Diélette (donc également pour le site de Flamanville), de - 4,96 m NGFN.
- décote centennale :
L'étude statistique des décotes extrêmes effectuées en 2014 par EDF-R&D, à partir de combinaisons de données à Saint-Malo et à St-Servan allant jusqu'à 2013, donne les valeurs de décotes, exposées dans le tableau [TAB-2.4.5](#).
Pour Flamanville, le niveau des Plus Basses Eaux de Sécurité (PBES) est donc fixé à : - 5,82 m NGFN.

4) Conclusion

La réévaluation des niveaux extrêmes de la mer pour le site de Flamanville conduit aux résultats suivants :

- cote majorée de sécurité : 8,03 m NGFN ;
- plus basses eaux de sûreté : - 5,82 m NGFN.

3.2.2. LES COURANTS

3.2.2.1. COURANTS GÉNÉRAUX DE LA MANCHE

Les courants généraux de la Manche appartiennent au système nord-Atlantique du Gulf Stream. Une branche du Gulf Stream pénètre directement dans la Manche, avec une direction est/ nord- est et, de là, dans la Mer du nord.

Dans la Manche, il existe un courant permanent portant à l'est et dont les effets locaux sont masqués par les courants de marée. Ce courant renforce les courants de flot portant à l'est, et induit une dérive générale des masses d'eau vers l'est.

3.2.2.2. COURANTS DE MARÉE

3.2.2.2.1. INTENSITÉ ET DIRECTION

Les courants devant le Cap de Flamanville sont essentiellement dus à la marée. Ils sont conditionnés par le phénomène de remplissage et de vidange du golfe Normand-Breton. La présence des îles Anglo-Normandes provoque des tourbillons et des contre-courants qui perturbent le régime local, notamment près de la côte.

Des mesures ont été effectuées en plusieurs points aux alentours du Cap de Flamanville dans les études d'avant projet du site. Le maximum de courant de flot (dirigé vers le nord entre PM-2h et PM+4h⁷) est de 1,3 m/s. Le maximum de courant de jusant (dirigé vers le sud entre PM+4h et PM-2h) est de 1,1 m/s. Le courant de jusant est plus faible que le flot.

Les courants au niveau du site sont alternatifs et sensiblement parallèles à la côte. Ils sont dirigés vers le nord entre PM-2h et PM+4h et vers le sud entre PM+4h et PM-2h. Il faut noter la présence de contre-courants au sud du Cap de Flamanville en marée montante et au nord en marée descendante.

3.2.2.2.2. EXCURSION ET DÉRIVE

L'excursion⁸ des marées à l'ouest du Cotentin a été évaluée par l'observation sur modèle physique des mouvements de taches colorées lâchées au large de Flamanville à chaque renverse. Il a été possible de mesurer :

- pour une marée de coefficient 95, une excursion au jusant⁹ de 30 km et une excursion au flot¹⁰ de 35 km ;
- pour une marée de coefficient 45, une excursion au jusant de 13 km et une excursion au flot de 15 km.

Au jusant, l'excursion vers le sud aux fortes marées est importante en raison de l'accélération due à l'effet du Cap de Carteret, puis au passage sur les hauts fonds des Bancs Fêlés. Aux faibles marées, l'excursion n'atteint pas le Cap de Carteret. Plus au large (10 km), l'excursion du jusant de coefficient 95 est plus faible (20 km au lieu de 30) en raison de la diminution de l'effet du Cap.

Au flot, l'excursion vers le nord est plus grande que celle du jusant ; les eaux situées à 1 ou 2 km au large de Flamanville dépassent le Raz Blanchard pour les coefficients de marée supérieurs à 55, et sont alors brassées activement. A la renverse, on peut considérer que les eaux revenant par le Raz Blanchard ont été régénérées par cette dilution importante. Les eaux plus côtières longent l'Anse de Vauville plus lentement et n'atteignent pas le Raz Blanchard.

La résultante des courants de flot et de jusant constitue la dérive qui peut atteindre 2,8 km au cours d'une marée et qui est dirigée vers le nord-ouest à Flamanville.

3.2.3. LA HOULE

Les houles océaniques ont pour direction de provenance l'ouest (l'océan atlantique). Cependant la présence des îles Anglo-Normandes perturbe la propagation de ces houles et donc leurs directions de provenance à la côte.

Une campagne de mesures de houle (par un houlographe à pression non directionnel) a été réalisée entre septembre 1975 et octobre 1979, par une profondeur d'environ -13 m CM. Les résultats sont présentés dans le tableau [TAB-2.4.6](#).

La durée totale est de 944 jours d'observations donc seules les estimations des hauteurs de houle annuelle et décennale sont fiables statistiquement. La valeur centennale est donnée à titre indicatif. Les valeurs entre crochets correspondent aux intervalles de confiance à 70%.

Les périodes de houle, associées à ces hauteurs, présentent une forte dispersion des périodes associées aux vagues maximales avec deux groupements plus marqués :

- des périodes de 6 à 10s correspondant aux vagues générées par les vents locaux ;
- des périodes de 11 à 16s correspondant aux houles océaniques.

7. PM : Pleine Mer

8. L'excursion est la distance parcourue par une particule d'eau au cours d'une marée

9. Jusant : courant de marée généré par la marée descendante

10. Flot : courant de marée généré par la marée montante

On ne dispose pas de mesures de la direction de provenance des vagues sur le site de Flamanville. Vue la configuration locale du littoral, orientée suivant la direction sud-nord, ainsi que la répartition locale des vents (essentiellement vents d'ouest et sud-ouest) et du fait du fetch¹¹ limité par la présence des côtes bretonnes au sud-ouest, on peut estimer que les directions de provenance privilégiées se situent dans le secteur angulaire qui va de l'ouest au nord.

Les mesures montrent de plus qu'il y a une très nette prédominance de tempêtes d'Octobre à Mars et plus particulièrement de Novembre à Février.

3.2.4. LA SÉDIMENTOLOGIE

3.2.4.1. Morphologie

En bordure côtière, la houle a une action sélective sur la répartition des sédiments : on observe un raffinement des sédiments de la côte vers le large. La pente moyenne des fonds au droit du cap de Flamanville est de l'ordre de 2%. L'estran¹² a une faible largeur, d'environ 200m. Il est constitué essentiellement d'un platier rocheux, recouvert d'une faible épaisseur de sable dans sa partie supérieure, de l'ordre de quelques dizaines de centimètres.

Le Cap de Flamanville présente une saillie rocheuse, pointant vers le large, au milieu d'un littoral sableux, d'une trentaine de kilomètres. De part et d'autre, les massifs dunaires sont fortement développés. L'estran représente 300 à 500 m et peut aller jusqu'à 2 km de large au niveau de l'Anse de Vauville.

3.2.4.2. Granulométrie

Des mesures granulométriques ont été réalisées en différents points le long du littoral. Les résultats de ces mesures sont résumés dans le tableau [TAB-2.4.7](#).

On constate que les sédiments en présence sont essentiellement composés de sable grossier à fin, et que la proportion de fines est négligeable.

3.3. PHYSICO-CHIMIE MARINE

3.3.1. GÉNÉRALITÉS

Les études du milieu marin du site de Flamanville, réalisées par l'IFREMER peuvent être divisées en deux périodes :

- une période de 1976 à 1985 avant la mise en service des tranches 1 et 2 ;
- une période de 1987 à 2012 après la mise en service des tranches 1 et 2.

Après la mise en service de la centrale les études de surveillance, commencées dès 1983, se sont poursuivies avec une nouvelle stratégie d'échantillonnage issue du retour d'expérience de la première période. Les prélèvements sont réalisés en mars, juin et septembre de chaque année. La surveillance porte sur 3 stations : canal, rejet et référence (voir figure [FIG-2.4.4](#)).

L'unité utilisée dans l'ensemble du chapitre pour les matières azotées, les phosphates et les silicates est la microMole (μM). Le taux de conversion permettant de passer de μM en mg/L pour chaque paramètre est :

- ammonium : $1\mu\text{M} = 0,018 \text{ mg/L}$;
- nitrates : $\mu\text{M} = 0,062 \text{ mg/L}$;
- nitrites : $1\mu\text{M} = 0,046 \text{ mg/L}$;

11. Distance d'action du vent sur la mer

12. Portion du littoral comprise entre les plus hautes et les plus basses mers

- phosphates : $1\mu\text{M} = 0,095 \text{ mg/L}$;
- silicates : $1\mu\text{M} = 0,060 \text{ mg/L}$.

3.3.2. SUIVI HYDROÉCOLOGIQUE ANNUEL DES TRANCHES 1 ET 2 (2005 À 2012)

Les paramètres physico-chimiques suivis dans le cadre de la surveillance hydroécologique annuelle du CNPE de Flamanville de 2005 à 2012 (autre que la température présentée dans le paragraphe 6) sont :

- la salinité ;
- les nutriments : ammonium, nitrates, nitrites et phosphates ;
- les silicates ;
- les MES. La mesure des MES a été remplacée par une mesure de la turbidité néphélométrique à partir de 2012 suite à une évolution de l'arrêté de rejets du site de Flamanville ;
- les THM : trihalométhanes (bromoforme, dibromomonochloro-méthane, dichloromonobromo-méthane, chloroforme) et le bore. Pour ces deux substances, les mesures ont été arrêtées en 2011 suite à une évolution de l'arrêté de rejets du site de Flamanville ;
- l'hydrazine et l'éthanolamine, dont le suivi a débuté en 2011.

Les résultats de ce suivi sont synthétisés ci-dessous.

Pour la salinité, un gradient spatial croissant entre les côtes et le large est toujours observé sans qu'il soit en lien avec les rejets de la centrale. Son origine est certainement due à l'éloignement à la côte des stations qui détermine l'influence des précipitations sur celle-ci.

Les nutriments échantillonnés présentent des variations typiques des cycles biochimiques saisonniers en Manche. Les fluctuations observées avec la précédente phase de suivi notamment pour les composés azotés ne présentent aucun gradient clairement établi entre les stations et leur positionnement au rejet de la centrale. Elles sont donc liées à des phénomènes biologiques en lien avec l'activité phytoplanctonique de la zone. En effet, les nutriments sont la base de la chaîne alimentaire, ils présentent des cycles saisonniers caractéristiques avec un maximum en période hivernale (notamment les nitrates) et une baisse progressive jusqu'en été. Au printemps la consommation de ces composés par le phytoplancton peut conduire jusqu'à un épuisement de ces éléments (nitrates, ammonium, silicates).

Sur la période étudiée 2005-2012, ces variations saisonnières sont observées au droit des stations Référence et Canal. Aucun phénomène significatif comme une augmentation de ces paramètres n'apparaît à la station Rejet. Ceci met en évidence l'absence d'influence des eaux rejetées par la centrale sur la qualité du milieu marin.

Les analyses en THM ont été arrêtées en 2011 suite à l'évolution de l'arrêté de rejets du site de Flamanville. Jusqu'à l'arrêt des mesures, les trihalométhanes ont fait l'objet de très faibles quantifications dans l'aire d'influence de la centrale.

Des mesures de concentrations des composés chimiques hydrazine et éthanolamine ont été effectuées aux différentes saisons sur les différents points de surveillance. L'ensemble des mesures était inférieur aux limites de détection, à l'exception d'une mesure en hydrazine au point canal en automne 2012. Lors de cette mesure, l'hydrazine a été détectée à une concentration très proche de la limite de détection.

L'étude comparative des concentrations aux point canal, rejet et référence ne permet pas de mettre en évidence le rôle de la centrale dans ces tendances à long terme.

3.4. UTILISATION DE L'EAU DE MER

Les utilisations de l'eau de mer sur le littoral sont multiples dans le département de la Manche :

- pêches maritimes professionnelle et amateur ;
- aquaculture et conchyliculture ;
- loisirs nautiques.

Ces activités sont détaillées dans le sous-chapitre 2.7.

3.5. RÉGIME THERMIQUE

Le régime thermique de la Manche aux abords du CNPE de Flamanville est soumis à des **variations temporelles** notamment :

- une variation de la température influencée par les marées, d'une faible amplitude infra-journalière ($<1^{\circ}\text{C}$) ;
- une variation saisonnière/annuelle de la température, les valeurs extrêmes relevées allant de $6,5^{\circ}\text{C}$ à $19,2^{\circ}\text{C}$ sur la période 1988-2012 ;
- une augmentation des températures moyenne à la prise d'eau de $0,02^{\circ}\text{C}$ par an sur la période 1988-2012 ;

De plus, il est constaté des variations spatiales de la température :

- en surface : le panache thermique (échauffement $> 1^{\circ}\text{C}$) s'étend périodiquement, en fonction des courants de marées, sur une zone atteignant au maximum 5 km au nord, 8,5 km au sud et 2-3 km au large des rejets (pendant les marées de morte-eau). L'échauffement résiduel reste inférieur à 1°C à la prise d'eau ;
- un gradient naturel de température est visible proche des côtes ;
- en profondeur : la colonne d'eau est stratifiée dans la zone proche du rejet. L'homogénéisation est ensuite progressive en allant vers le large (différence de température entre la surface et le fond de $1,2^{\circ}\text{C}$ à 1500m au nord des rejets). Hors zone impactée par le rejet, l'homogénéité est observée (différence de température $<1^{\circ}\text{C}$ entre la surface et le fond).



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 4

PAGE 21/33

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DE RÉFÉRENCES

[1] Synthèse Ifremer «Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Flamanville» – DOP/LER/06-03 – Mars 2006

TAB-2.4.1 DÉBITS CARACTÉRISTIQUES DU GRAND DOUET, DU PETIT DOUET ET DE LA DIÉLETTE

	Débits moyens (m ³ /s)													Débits d'étiage (m ³ /s)		Débit de crue (m ³ /s)
	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Module	QMNA5	VCN3	Q5
Grand Douet	0.62	0.53	0.42	0.19	0.15	0.11	0.09	0.07	0.07	0.09	0.27	0.68	0.28	0.054	0.030	2.86
Petit Douet	0.26	0.24	0.21	0.15	0.11	0.09	0.07	0.06	0.06	0.07	0.15	0.27	0.14	0.045	0,035	1,85
Diélette	0.74	0.76	0.69	0.46	0.41	0.34	0.28	0.23	0.20	0.24	0.45	0.72	0.46	0,141	0,122	2,89

TAB-2.4.2 PRÉLÈVEMENTS EN EAU POTABLE, EN EAU INDUSTRIELLE ET EN EAU D'IRRIGATION DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE (ANNÉE 2007)

Type de prélèvement	Dép	Commune	Distance par rapport au CNPE (km)	Situation par rapport au CNPE	Nom du préleveur	Nature de la ressource	Volume prélevé (m ³ /an)
Collectivité	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	DISTRICT DES PIEUX	Nappe	521 854
Industrie	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	E.D.F - CENTRALE DE FLAMANVILLE	Surface	303 360
Industrie	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	E.D.F - CENTRALE DE FLAMANVILLE	Surface	3 584
Industrie	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	E.D.F - CENTRALE DE FLAMANVILLE	Surface	208 768
Industrie	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	E.D.F - CENTRALE DE FLAMANVILLE	Surface	115
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	3 520
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	5 460
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	10 802
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	5 121
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	4 679
Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	14 982

Irrigation	50	LE ROZEL	6,6	Sud-est	□	Nappe	5 723
Irrigation	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	□	Nappe	440
Irrigation	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	□	Nappe	524
Irrigation	50	LES PIEUX	5,7	Sud-est	□	Nappe	1 500

Distance : Il s'agit de la distance entre le CNPE et le centre de la commune concernée (borne repère).

Source : Agence de l'eau Seine Normandie, 2007

TAB-2.4.3 NIVEAUX DES MARÉES AU PORT DE DIÉLETTE

Diélette	Niveau de pleine mer (en m NGFN)	Niveau de basse mer (en m NGFN)	Marnage (en m)
Marée de vive eau exceptionnelle (coeff 120)	5,94	-4,96	10,9
Marée de vive eau moyenne (coeff 95)	4,83	-3,71	8,54
Marée de morte-eau moyenne (coeff 45)	2,53	-1,41	3,94

TAB-2.4.4 STATISTIQUES DES SURCOTES EXTRÊMES
SUR LE SITE DE FLAMANVILLE

Surcotes extrêmes	Borne inférieure (m)	Estimation ponctuelle (m)	Borne supérieure (m)
Surcote Décennale	0,95	1,00	1,04
Surcote Centennale	1,19	1,29	1,38
Surcote Millénaire	1,42	1,58	1,74

**TAB-2.4.5 STATISTIQUES DES DÉCOTES EXTRÊMES SUR
LE SITE DE FLAMANVILLE**

Décotes extrêmes	Borne inférieure (cm)	Estimation ponctuelle (cm)	Borne supérieure (cm)
Décote Centennale	51,9	49,5	47
Décote Millénaire	79,4	75,1	70,9

TAB-2.4.6 HAUTEURS STATISTIQUES DE HOULE SUR LE SITE DE FLAMANVILLE

Position du houlographe : 49°32'18" Nord 01°53'38" Ouest	Hauteur significative (en m)
Houle annuelle	4,3 [3,9 ; 4,7]
Houle décennale	6,3 [5,8 ; 7]
Houle centennale	8,3 [7,5 ; 9,3]

La hauteur significative de houle est la moyenne des hauteurs d'un tiers des plus fortes vagues.

TAB-2.4.7 COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE (% POIDS SEC) DES MESURES EFFECTUÉES SUR L'ESTRAN

Diamètre des grains (mm)	Gravier	Grossier	Moyen	Fin	Très fin	Fines
	>2	0,80 à 2	0,315 à 0,80	0,160 à 0,315	0,063 à 0,160	<0,063
Avant-port de Diélette Amont (2000)	0	3	28	59	10	-
Avant-port de Diélette Aval (2000)	0	2	14	65	19	-
Plage du Platé (2001)	0	3	28	61	8	-

La plage du Platé se situe devant la digue nord du Port de Diélette

FIG-2.4.1 ÉTAT ACTUEL DES ENCEINTES GÉOTECHNIQUES

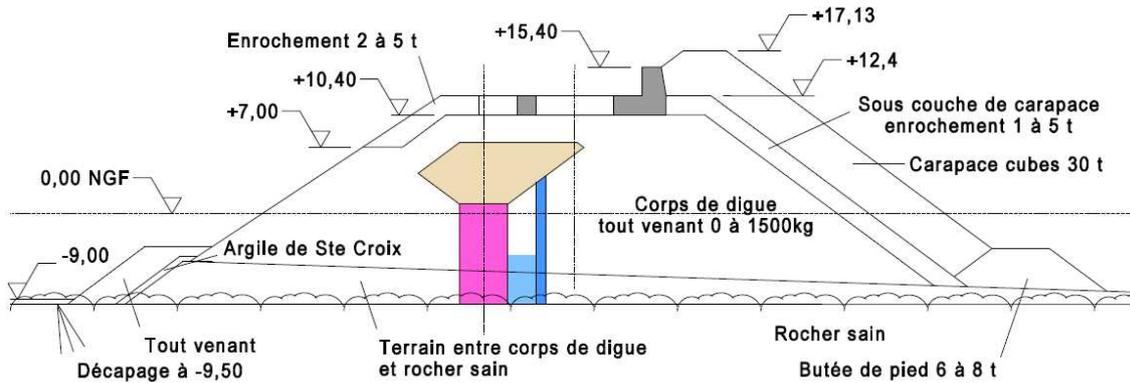
□

FIG-2.4.2 COUPES TYPES DES DIGUES DE PROTECTION

TRANCHES 1-2 (1979)

COUPE A-A'

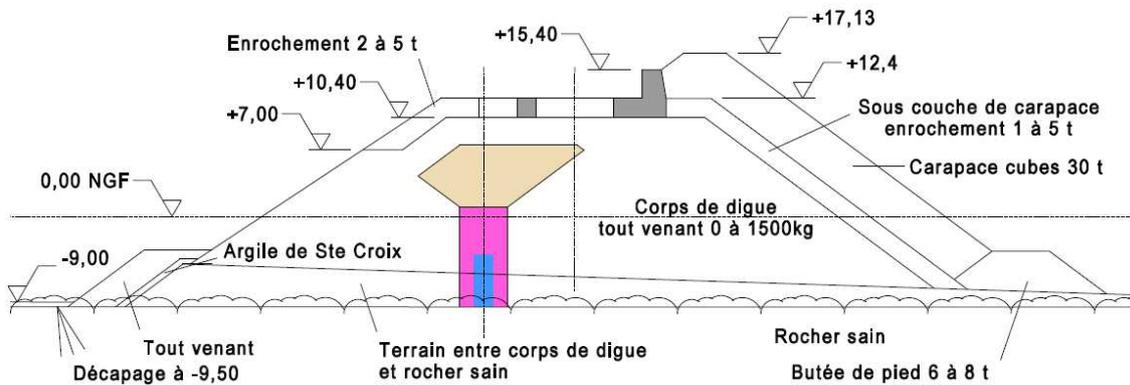
Traitement complémentaire par injection de gel de silice encagée par une ligne d'injection au coulis de bentonite-ciment



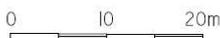
TRANCHES 3-4 (1993)

COUPE B-B'

Traitement par injection de coulis bentonite-ciment



- Ouvrages béton
- Noyau argileux en matériaux de Ste Croix de +1 à +7,5 NGF
- Zone traitée par injection de coulis bentonite-ciment



Implantation des coupes sur la figure 2.4 FIG.1

FIG-2.4.3 RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

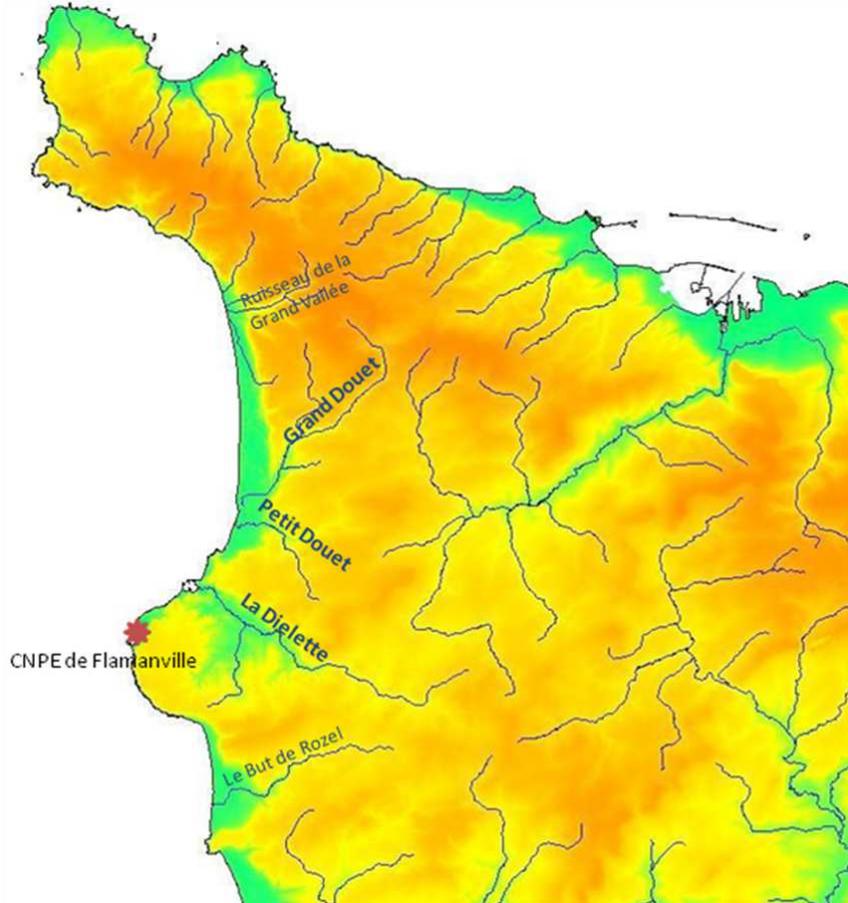
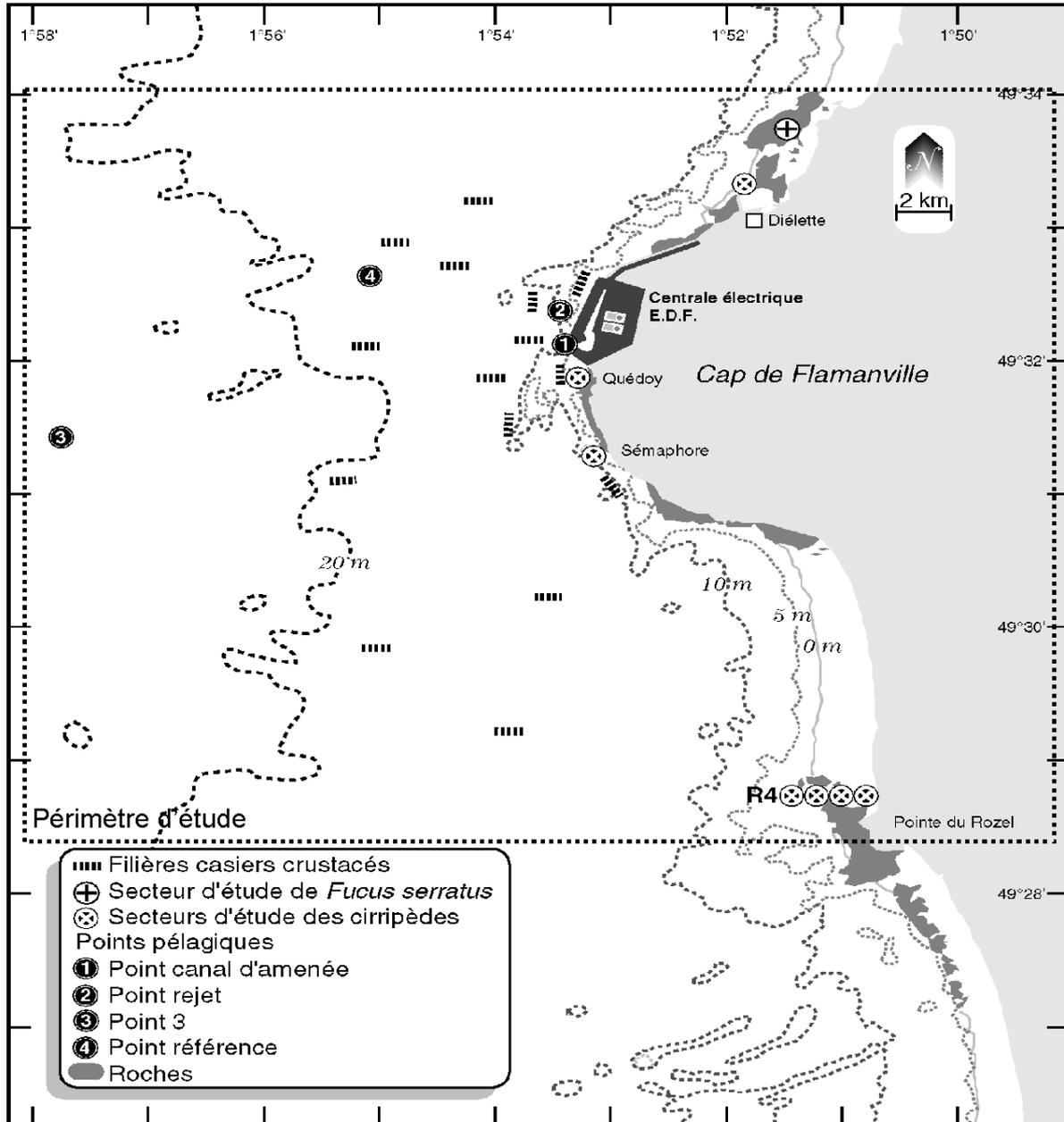


FIG-2.4.4 POINTS DE SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE DU SITE DE FLAMANVILLE



SOMMAIRE

.2.5 GÉOLOGIE GÉNÉRALE DU SITE – SISMICITÉ ET SISMOLOGIE	4
1. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	4
1.1. LES TROIS GRANDS DOMAINES DU MASSIF ARMORICAIN	4
1.1.1. LE DOMAINE NORD-ARMORICAIN	4
1.1.2. LE DOMAINE CENTRE-ARMORICAIN	5
1.1.3. LE DOMAINE SUD-ARMORICAIN	5
1.2. CADRE TECTONIQUE RÉGIONAL	5
2. CADRE GÉOLOGIQUE LOCAL	6
2.1. LE GRANITE DE FLAMANVILLE	6
2.1.1. PÉTROGRAPHIE	6
2.1.2. FRACTURATION	7
2.1.3. ALTÉRATION	8
2.1.4. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DU MASSIF GRANITIQUE	9
2.1.5. TRAITEMENT DU MASSIF DE FONDATION DES OUVRAGES .	10
2.1.6. STABILITÉ DE LA FALaise SURPLOMBANT LE SITE	11
2.2. LA ZONE DE CONTACT GRANITE/CORNÉENNES	11
2.3. LE SYNCLINORIUM DE DIÉLETTE	11
2.3.1. STRUCTURE GÉOLOGIQUE	11
2.3.2. PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE	12
2.3.3. GÉOLOGIE DU MASSIF DE FONDATION DE LA TRANCHE 3 .	13
2.4. LES FILONS	18
2.5. LES REMBLAIS	18
3. ÉTUDE SISMOTECTONIQUE	19
3.1. SISMICITÉ HISTORIQUE	19
3.2. SISMICITÉ INSTRUMENTALE	26
3.3. NÉOTECTONIQUE	27
3.3.1. INDICES DU MASSIF ARMORICAIN	27
3.3.2. INDICES DE LA MANCHE	28
3.4. DÉCOUPAGE SISMOTECTONIQUE	29

**RAPPORT DE SURETE****— DE FLAMANVILLE 3 —****Version Publique**

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 5

PAGE 2/54

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

3.4.1. ZONE SISMOTECTONIQUE MANCHE (1)	29
3.4.2. ZONE SISMOTECTONIQUE « DOMAINE DOMNONÉEN » (2) .	29
3.4.3. ZONE SISMOTECTONIQUE « DOMAINE MANCELLIEN (CADOMIEN ALLOCHTONE)» (3)	30
3.4.4. ZONE SISMOTECTONIQUE « DOMAINE CADOMIEN AUTOCHTONE » (4)	30
3.4.5. ZONE SISMOTECTONIQUE « DOMAINE CENTRE-ARMORICAIN » (5)	31
3.4.6. ZONE SISMOTECTONIQUE SEINE (6)	31
3.4.7. FAMILLE D'ACCIDENTS NNW-SSE	31
4. SYNTHÈSE SISMOTECTONIQUE	32
4.1. DÉTERMINATION DU SÉISME MAXIMUM HISTORIQUEMENT VRAISEMBLABLE	32
4.2. DÉTERMINATION DU SÉISME MAJORÉ DE SÉCURITÉ	33
4.3. SPECTRES DE SOL	33
LISTE DES REFERENCES.	34

TABLEAUX :

TAB-2.5.1 CARACTÉRISTIQUES DES SÉISMES HISTORIQUES D'INTENSITÉ ÉPICENTRALE SUPÉRIEURE À VI MSK (EXTRACTION DANS UN CARRÉ DE 600 KM DE CÔTÉ CENTRÉ SUR LE SITE)	39
TAB-2.5.2 INDICES DE QUALITÉ UTILISÉS DANS LA BASE DE SISMICITÉ HISTORIQUE SISFRANCE.....	40
TAB-2.5.3 SYNTHÈSE SISMOTECTONIQUE DES SÉISMES DE RÉFÉRENCE POUR LE SITE DE FLAMANVILLE.	41

FIGURES :

FIG-2.5.1 CARTE GÉOLOGIQUE.....	42
FIG-2.5.2 CEINTURE CADOMIENNE NORD ARMORICAIN	43
FIG-2.5.3 LIMITES STRUCTURALES DU MASSIF ARMORICAIN.....	44
FIG-2.5.4 DÉCOUPAGE STRUCTURAL DU COTENTIN.....	45
FIG-2.5.5 MODÈLE SISMOTECHNIQUE RÉGIONAL	46
FIG-2.5.6 SCHÉMA GÉOLOGIQUE DANS LA ZONE DU CAP DE FLAMANVILLE	47
FIG-2.5.7 LEVER GÉOLOGIQUE DES FONDS DE FOUILLE	48
FIG-2.5.8 FRACTURATION DU GRANITE SOUS L'ÎLOT NUCLÉAIRE	49
FIG-2.5.9 DÉCOUPAGE SISMOTECTONIQUE ET SISMICITÉ HISTORIQUE.....	50
FIG-2.5.10 PROFILS DE SISMIQUE PROFONDE SWAT 9, 10 ET 11	51
FIG-2.5.11 COUPE À L'ÉCHELLE CRUSTALE DU MASSIF VARISQUE.....	52
FIG-2.5.12 SISMICITÉ INSTRUMENTALE LDG 1962-2008.....	53
FIG-2.5.13 SPECTRES DE RÉPONSE DE SOL SMHV ET SMS.....	54

.2.5 GÉOLOGIE GÉNÉRALE DU SITE – SISMICITÉ ET SISMOLOGIE

1. CADRE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

D'un point de vue géologique, le site de Flamanville appartient au Massif Armoricaïn (voir figure [FIG-2.5.1](#)), essentiellement constitué par un socle granitique et métamorphique d'altitude modérée dont la topographie est marquée par un ensemble de plateaux incisés par l'érosion.

Le Massif Armoricaïn, tel qu'observé aujourd'hui, a été façonné essentiellement par deux orogénèses successives : l'orogénèse cadomienne (620-540 Ma) et l'orogénèse hercynienne (440-290 Ma). Depuis les derniers épisodes d'extension au Permien, seuls quelques petits ajustements intraplaques sont survenus, mais aucun événement tectonique majeur n'a été enregistré.

C'est au cours de l'orogénèse cadomienne (structures N50-60° E) que se structure le socle actuel sur lequel est probablement bâtie la plus grande partie du Massif Armoricaïn. L'orogénèse hercynienne (structures N110-130° E) vient ensuite reprendre les structures cadomiennes, avec de puissants cisaillements dextres E-W à WNW-ESE et un réseau de fractures conjuguées NW-SE dextres et NE-SW sénestres, générées à la fin de l'Hercynien par une compression NS.

Le Massif Armoricaïn apparaît comme une succession de zones synclinoriales au sein desquelles sont conservés les terrains paléozoïques et des zones anticlinoriales, mettant en évidence des terrains initialement plus anciens (Précambrien) ou plus profonds (séries métamorphiques). Il affiche ainsi une structure en éventail de plis hercyniens (voir figure [FIG-2.5.2](#)), pincés vers l'Ouest, ouverts vers l'Est et séparés par des bandes métamorphiques et granitiques.

1.1. LES TROIS GRANDS DOMAINES DU MASSIF ARMORICAÏN

On distingue classiquement trois grands domaines : les domaines Nord-, Centre- et Sud-Armoricaïn, séparés par deux accidents décrochants d'âge carbonifère : le Cisaillement Nord-Armoricaïn et le Cisaillement Sud-Armoricaïn.

1.1.1. Le domaine Nord-Armoricaïn

Le domaine Nord-Armoricaïn ou « ceinture cadomienne nord-armoricaïne » se situe entre l'accident de la Manche et le cisaillement Nord-Armoricaïn. Il est constitué de différentes unités (voir figure [FIG-2.5.2](#)), séparées par d'importantes failles liées à la tectonique cadomienne et réactivées durant l'orogénèse hercynienne. Ces unités sont regroupées en deux domaines : le domnonéen et le mancennien, séparés par le contact cadomien majeur, interprété comme un décro-chevauchement à vergence Sud ([Réf \[38\]](#)).

Le domaine domnonéen (ou domaine orogénique) est constitué principalement d'un socle précambrien polymétamorphique et polyorogénique. Il est interprété comme une marge continentale active avec une croûte peu épaisse.

Le domaine mancennien (ou domaine continental), est caractérisé par un Précambrien jeune, le Briovérien, plissé lors de l'orogénèse cadomienne et percé de granites antérieurs au dépôt épicontinental des séries primaires. Il est interprété comme un bassin d'avant-arc ([Réf \[42\]](#)) et est également appelé « bloc cadomien autochtone » en opposition au « bloc cadomien allochtone ».

Le « chevauchement majeur cadomien » (MCT) définit la limite entre ces deux domaines. Il s'agit de la faille de Belle-Isle-la Fresnaye ([Réf \[37\]](#), [Réf \[41\]](#), [Réf \[43\]](#)), orientée N060° E. Elle correspond à un changement brutal de conditions métamorphiques ainsi qu'à une différence de topographie. Elle limite plus précisément les unités de St-Brieuc et Saint-Malo, composées de migmatites de différentes densités. Les modèles gravimétriques, en accord avec ces observations, permettent de définir la faille comme étant sub-verticale de la surface jusqu'à 1-2 km de profondeur puis fléchissant avec un pendage vers le Nord ([Réf \[46\]](#), [Réf \[57\]](#)).

Pour Baize ([Réf \[35\]](#)), cette faille a pour nom « faille de Coutances » et souligne le découplage tectonique entre le Sud-Cotentin et le Centre Cotentin. Ce découplage semblerait actif depuis la fin du Pliocène et la faille de Coutances jouerait en décrochement dextre avec une composante verticale. Au Nord de l'accident, la région serait en extension selon la direction NE-SW, compatible avec les failles normales N130°E qui limitent les bassins subsidents. La zone subsidente semble s'amortir à l'Ouest le long du prolongement vers le Nord du décrochement senestre d'Avranches, à l'Est de Jersey. Elle serait actuellement bloquée par le prolongement septentrional de la faille de la Mayenne qui longerait la côte orientale du Cotentin (voir figure [FIG-2.5.4](#)). Dans ce schéma, le Nord Cotentin en surrection serait situé dans un relais compressif de deux décrochements WSW-ENE. Ce schéma présenté dans la figure est en accord avec les mécanismes au foyer analysés dans la région ([Réf \[32\]](#)).

1.1.2. Le domaine Centre-Armoricain

Le domaine Centre-Armoricain possède une couverture paléozoïque qui a été soumise à des déformations hercyniennes et des intrusions granitiques d'importance croissante vers le Sud-Ouest et vers l'Ouest. Sur sa bordure septentrionale, ce domaine vient s'appuyer contre le bloc Nord-Armoricain, puis est limité par la zone du Menez-Belair et par le Cisaillement Nord-Armoricain (ZCNA).

La limite méridionale est constituée en partie par le Cisaillement Sud-Armoricain (ZCSA) depuis la pointe du Raz jusqu'aux environs de la Roche-Bernard, relayé ensuite vers l'Est par une portion de la faille de Nort-sur-Erdre et le bassin carbonifère d'Ancenis. Les caractéristiques principales de ce domaine découlent d'une évolution intracontinentale à un niveau relativement peu profond de la croûte par comparaison avec le domaine Sud-Armoricain.

1.1.3. Le domaine Sud-Armoricain

Le domaine Sud-Armoricain, tout comme le domaine Nord-Armoricain, se divise en deux grands domaines : le domaine ligérien et le domaine de l'Anticlinal de Cornouaille, séparés obliquement par une puissante zone de cisaillement (la zone broyée sud-armoricaine). Le socle métamorphique et la couverture primaire sont encore bien identifiables dans le domaine ligérien, alors que la distinction devient difficile dans le domaine de l'Anticlinal de Cornouaille.

Les témoins sédimentaires paléozoïques sont rares et les granitoïdes sont très nombreux et d'âges variés. Les métamorphismes de haut grade atteignant la fusion de la croûte continentale ou associés à la haute pression (schistes bleus de l'île de Groix, éclogites de Champtoceaux) et affectant parfois d'anciens témoins océaniques, soulignent l'originalité de ces régions méridionales.

Ainsi, par comparaison, il semble que le domaine Sud-Armoricain représente une région beaucoup plus complexe que les autres régions armoricaines, le Léon mis à part.

1.2. CADRE TECTONIQUE RÉGIONAL

La situation actuelle du Massif Armoricain et plus particulièrement celle du Cotentin, est celle d'un socle cristallin situé en dehors d'une marge active de la zone européenne. Dans un tel contexte intraplaque, les déformations sont le plus souvent localisées sur les discontinuités tectoniques préexistantes, réactivées maintes fois au cours de l'histoire tectonique du massif, en fonction de l'évolution du champ de contraintes. Il s'agit d'une tectonique de blocs stables, délimités par de grands accidents (ZCNA, ZCSA, Faille de Quessoy, etc.). En effet, au cours des 2 derniers millions d'années, les accidents vieux de 200 à 300 Ma, tels la ZCSA ou la faille de Quessoy, sont associés à des basculements de blocs en liaison avec un bombement suite à une compression NE-SW ([Réf \[39\]](#)). La ZCSA apparaît comme une structure profondément enracinée dans la lithosphère, contrairement à la ZCNA ([Réf \[49\]](#)), ce qui peut expliquer l'activité sismique plus forte. De plus, la trace topographique très nette du Cisaillement Sud-Armoricain, associée à un abaissement relatif du compartiment Sud, entre Nantes et Lorient, suggère une activité de cette faille pendant le Quaternaire.

Le modèle sismotectonique actuel de la région correspond à un régime de contraintes en décrochement avec une compression globalement orientée NW-SE, s'exerçant sur un socle affecté par de nombreux accidents hérités de la longue histoire tectonique du massif (voir figure [FIG-2.5.5](#)).

Malgré les difficultés à déterminer avec précision les mécanismes au foyer de la région, les récentes études sismotectoniques semblent être en accord sur le régime de contraintes du Massif Armoricaïn.

En Normandie, les petits séismes affichent des déformations assez diverses, avec toutefois une prédominance de failles normales et décrochantes orientées NW-SE.

En Bretagne, la tendance est au mouvement décrochant sénestre sur les structures N60°E à N85°E associé à une composante inverse, alors que dans la ZCSA, ils montrent un mouvement normal décrochant dextre sur des structures N90°E à N130°E (voir figure [FIG-2.5.5](#)).

Dans le Nord du Massif Armoricaïn, la compression maximale horizontale est orientée NNW-SSE à NW-SE alors qu'au Sud du Massif, le régime correspond à une zone d'extension orientée NE-SW (voir figure [FIG-2.5.5](#)).

2. CADRE GÉOLOGIQUE LOCAL

Le site de Flamanville se trouve sur la bordure occidentale du batholite granitique de Flamanville (voir figure [FIG-2.5.6](#)), intrusif dans une série sédimentaire paléozoïque (Dévonien) plissée, qu'il métamorphise et refoule à son contact (synclinorium de Diélette).

A l'échelle du site, il convient de distinguer (voir figure [FIG-2.5.7](#)) :

- La partie orientale où le substratum rocheux est constitué de granite,
- La partie occidentale, où le substratum est constitué de terrains métamorphisés, dénommés abusivement cornéennes.

Par conception lors de l'ouverture du site de Flamanville en 1979, l'îlot nucléaire est entièrement fondé sur le massif granitique. Sur la tranche 3, le contact granite / cornéennes recoupe la salle des machines à son tiers oriental.

La particularité géologique tient à la présence dans les terrains métamorphiques de couches riches en fer (hématite et surtout magnétite apparaissant plus ponctuellement mais en quantité importante). La présence de ces couches a généré une exploitation minière sous-marine s'étendant devant la tranche 3 et dans une moindre mesure devant la tranche 2.

2.1. LE GRANITE DE FLAMANVILLE

Le batholite granitique a une forme régulière voisine d'une ellipse dont le grand axe est orienté E-W, sa longueur est de 7 Km environ, et le petit axe N-S mesure 4,5 Km (voir figure [FIG-2.5.6](#)). La surface totale du massif est de l'ordre de 25 km² environ.

Le granite de Flamanville demeure l'exemple d'un diapir syntectonique dont la mise en place s'exerce postérieurement au paroxysme orogénique mais demeure contemporaine des stades ultimes de la déformation régionale. La mise en place de ce granite s'effectue à l'emporte pièce au sein d'une croûte superficielle froide dans laquelle il développe un thermométamorphisme atteignant le faciès des cornéennes à pyroxène. Elle est associée à des injections tardives de filons de microgranite et d'aplite.

Le granite de Flamanville pourrait tirer son origine d'une fusion de la croûte inférieure en liaison avec une éventuelle remontée du manteau s'effectuant le long du chevauchement majeur cadomien.

2.1.1. Pétrographie

Le granite de Flamanville est un monzogranite sub-alkalin, à grains équants.

Il se compose de quartz (entre 28 et 36 %) de feldspaths (environ 60%) de micas (5 à 11 %), d'amphiboles (1 à 11 %) et de minéraux accessoires (<1 %).

Le quartz se présente sous la forme de cristaux grenus de 0,3 à 0,4 mm.

Les feldspaths alcalins sont majoritaires (30 à 32 %). Ils se présentent sous la forme d'orthose perthitique ou microcline en cristaux de 3 à 6 mm. Les feldspaths plagioclases correspondent principalement au pôle sodique (albite / oligoclase). Ils apparaissent sous la forme de cristaux maclés et zonés d'environ 2 mm. Des myrmékites sont également présentes.

Les micas apparaissent sous la forme de biotite automorphe. Ils sont accompagnés de hornblende verte (amphibole) en petits cristaux de 0,2 à 0,5 mm.

Les minéraux accessoires sont le sphène (nésosilicate, souvent altéré en xanthane), l'apatite, l'aégyrine (clinopyroxène alcalin), la chlorite, le zircon et la magnétite.

Les fractures du granite sont parfois tapissées, surtout à l'approche du contact avec les cornéennes par des épidotes fibro-radiées et des sulfures (pyrite et chalcopyrite).

2.1.2. Fracturation

La rosace des discontinuités (voir figure [FIG-2.5.8](#)), établie à partir du comptage des familles relevées sur le fond de fouilles de l'îlot nucléaire de la tranche 3, montre l'existence de plusieurs familles, sans hiérarchisation directe puisqu'en général très bien exprimées dans certaines zones et pratiquement absentes ailleurs.

Ce sont des familles globalement très pentées, sauf localement où les pendages peuvent s'abaisser jusqu'à 45°. Une famille (famille A) apparaît toutefois très largement prédominante, autant par sa fréquence que par sa persistance.

Cette famille A correspond probablement aux fissures de retrait thermique du granite. D'orientation globale N110°E, son orientation est en fait rayonnante par rapport au batholite, variant dans le détail entre N105°E et N130°E dans l'emprise de la tranche. Elle est subverticale, avec un pendage variant entre 70°N et 70°S. Ces fractures ont une extension très fréquemment décamétrique. Certaines se suivent parfois sur près d'une centaine de mètres.

Leur espacement est très variable, typiquement de l'ordre de 2 m, en variant en réalité entre 5 m en de rares endroits et 10 cm dans les faisceaux de fractures.

Ce sont en général des fractures sèches, à lèvres jointives et de surface très peu rugueuse, sauf bien entendu lorsqu'elles sont l'objet d'une altération hydrothermale. Certaines diaclases de la famille A sont apparues ouvertes avec un remplissage incomplet par de la calcite ou du quartz.

Par leur mode d'apparition (fissures de tension lors du retrait thermique), cette famille correspond également à la direction des filons d'aplite ainsi qu'aux grandes zones d'altération hydrothermale. On peut en effet penser que les fluides tardifs (magmas ou eau) sont préférentiellement remontés par ces discontinuités offrant peu de résistance à la traction.

Une seconde famille est également bien représentée : la famille B, d'orientation globale N35°E et de pendage très redressé. L'extension de ces fractures est moindre que celle de la famille A, mais leur espacement est typiquement de l'ordre du mètre, rarement supérieur à 2 m et fréquemment de l'ordre de 20 cm (surtout à l'Est de la tranche). Ce sont également des diaclases sèches, à lèvres jointives. Elles font par contre exceptionnellement l'objet d'une altération de type hydrothermal.

La troisième famille est représentée essentiellement dans la partie Nord de la tranche (HN, HLI HLD, HDC HDD). Il s'agit de diaclases d'orientation globale N150°E, à pendage vers le Sud. Leurs lèvres sont jointives et leur surface très ondulée. Leur persistance est plurimétrique, avec un espacement variable entre 0,5 et 2 m.

Les autres familles sont moins bien représentées. Il s'agit en général de fractures très locales, comme par exemple :

- Talus Nord de HDC et HDD, où la direction prédominante de diaclase est N70°E, avec un pendage variant entre 45 et 65°SE, et une persistance plurimétrique,

- Un grand joint plongeant vers le Sud, d'orientation N90°E, plongeant de 20 à 30° vers le Nord et d'extension pluri-décamétrique, a affecté la fondation de la tour d'accès HW,
- Quelques rares joints subhorizontaux ont été observés en partie supérieure des fouilles. Exacerbés par les effets arrière des anciens tirs de déroctage en masse, ces joints subhorizontaux ont été observés dans l'emprise de HQA HQB, et ont été attribués à la décompression du massif. Leur maille demeure faible (0,5 / m environ).

2.1.3. Altération

L'altération du granite est essentiellement une altération hydrothermale. L'altération météoritique ne concerne en effet pas les niveaux de fondation des ouvrages de la tranche, eu égard à la couverture rocheuse qui préexistait avant les terrassements en grande masse de 1979/80 à l'ouverture du site.

Cette altération hydrothermale affecte de façon spectaculaire les joints les plus continus du massif granitique, c'est-à-dire essentiellement, à l'échelle de la tranche, les joints de retrait thermique qui rayonnent depuis le centre du batholite vers l'extérieur (famille A). Les autres joints sont nettement moins affectés, même si des relais en « Z » peuvent localement exister (voir figure [FIG-2.5.7](#)).

L'altération hydrothermale montre clairement une progression depuis les lèvres de la fracture vers l'intérieur du massif, altérant les minéraux sur des largeurs typiquement inférieures au mètre. Les zones altérées de largeur supérieure au mètre résultent en fait la coalescence de plusieurs fractures.

Cette altération hydrothermale est clairement visible par le nuancier de couleurs qu'elle engendre. Le nuancier est le suivant, depuis le massif sain vers le centre de la fracture :

- Rosé,
- Rouge,
- Blanc.

Le nuancier évolue ensuite au cœur de la fissure selon une logique qu'il est difficile d'appréhender, car la couleur paraît plus liée à la présence ou à l'absence de tel ou tel élément trace qu'à la présence en masse de minéraux particuliers :

- Vert, probablement lié à la présence de magnésium ; la couleur verte n'a jamais été rencontrée associée à la couleur jaunâtre ou à la calcite,
- Jaunâtre à ocre, probablement lié à la présence de titane, qui est la couleur la plus souvent représentée et est parfois accompagnée en son centre par un filonnet de calcite,
- Remplissage plus ou moins complet par de la calcite ou du quartz.

Les analyses effectuées montrent que :

- les premiers stades d'altération (passage du stade granite sain à granite légèrement altéré dans la masse) se traduisent par une séricitisation des feldspaths plagioclases et par une pigmentation par les oxydes de fer (rubéfaction par altération des micas),
- Les stades ultérieurs (passages du stade granite légèrement altéré dans la masse à granite totalement altéré, en gore sableux ou argileux) se traduisent par une altération marquée des plagioclases (altérés en smectites, donnant l'aspect blanchâtre à la matrice rocheuse), des micas (illitisation) et des feldspaths potassiques (altérés en kaolinite),
- Le remplissage argileux correspond à la présence de smectites et de kaolinite, sauf dans quelques rares cas car certains échantillons ont montré de très faibles proportions de smectites ou de kaolinite, qui pourraient alors avoir été lessivées.

Cette altération hydrothermale s'accompagne également de minéralisations simples (sans altération de la matrice rocheuse) des diaclases du granite : épidotes fibroradiés, sulfures,...

Cette altération hydrothermale peut également se traduire par la présence de montmorillonite sous forme de microfissures intra ou inter-cristallines au sein même de la matrice du granite en dehors de toute discontinuité. Des paillettes microscopiques de phyllosilicates sont visibles au cœur des feldspaths.

S'agissant d'une altération per ascencum, le degré d'altération des discontinuités verticales ne s'atténuant pas avec la profondeur à l'échelle des fouilles. On peut estimer que la surface concernée par cette altération hydrothermale à la cote des fonds de fouille (voir figure [FIG-2.5.7](#)) varie entre 6 % (sous l'ensemble du radier commun de l'IN) et 21 % (sous HF, où elle semble exacerbée par la proximité du contact avec les cornéennes).

2.1.4. Caractéristiques géotechniques du massif granitique

2.1.4.1. Caractéristiques dynamiques

Les caractéristiques dynamiques ont été établies à partir des données recueillies sur site lors des études de Flamanville 1-2 (1979-1980) et lors des études de Flamanville 3-4 en 1993.

Des essais down-hole, un essai cross-hole, des profils de sismique réfraction et des essais de transparence sismique ont été réalisés. Ils ont mis en évidence l'anisotropie¹ du granite dans le plan horizontal, selon une direction cohérente avec la prédominance de la famille A.

Ces essais ont également mis en évidence une forte anisotropie (jusqu'à 1,5) des vitesses entre le plan horizontal et le plan vertical.

Compte tenu de l'anisotropie marquée du granite, les caractéristiques dynamiques dans les plans horizontaux (trajet H) et verticaux (trajet V) ont été individualisés et les valeurs retenues sont les suivantes :

	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Gd _{max} (MPa)	vd	Ed _{max} (MPa)
Trajét H	2100	4400	12 000	0,35	32 000
Trajét V	2500	5500	17 000	0,37	45 000

où

- Vp : vitesse de propagation des ondes de compression
- Vs : vitesse de propagation des ondes de cisaillement
- Gd_{max} : module dynamique de cisaillement aux très petites déformations
- Ed_{max} : module dynamique de compression aux très petites déformations
- vd : coefficient de Poisson dynamique

2.1.4.2. Caractéristiques statiques

L'analyse des tassements observés sous les bâtiments réacteurs des tranches 1 et 2 donne un module équivalent à long terme compris entre 10 000 +/- 4 500 MPa pour le BR1 et 5 100 +/- 1 500 MPa pour le BR2.

En accord avec les modules dynamiques, la valeur de module statique (à long et court termes) est de l'ordre de 10 000 MPa.

1. anisotropie : qualité d'un milieu dont les propriétés varient suivant la direction selon laquelle on les évalue.

2.1.4.3. Caractéristiques pressiométriques

2.1.4.3.1. Granite fracturé

Ce faciès correspondait au massif rocheux affecté par les effets arrières des tirs de masse de 1978-79. Il n'est plus présent sous les ouvrages de la tranche 3, où il a été décapé. L'épaisseur de ce faciès variait entre 1 et 2 m au droit de la tranche 3

Les 16 essais pressiométriques réalisés donnent les résultats suivants :

- PI^* : 3,75 MPa en moyenne géométrique (0,79 à 5,5 MPa),
- E_M : 110 MPa en moyenne harmonique (44 à 723 MPa),
- E_M/PI^* : 67 en moyenne.

2.1.4.3.2. Granite fermé

16 essais pressiométriques ont été réalisés dans le granite fermé constituant la fondation de l'îlot nucléaire. Ils permettent de caractériser les six premiers mètres de ce faciès, qui constitue la fondation des ouvrages.

- PI^* : 7,5 MPa en moyenne géométrique (4,6 à > 8 MPa),
- E_M : 925 MPa en moyenne harmonique (257 à 8852 MPa).

2.1.4.4. Essais en laboratoire

Des essais de caractérisation ont été réalisés en laboratoire, à partir d'un nombre très réduit d'échantillons.

Les valeurs moyennes obtenues sont les suivantes :

- Poids spécifique apparent sec : 2,67 t/m³,
- Teneur en eau : 0,15 %,
- Porosité : 0,24 %,
- Résistance à la compression (échantillons de diamètre 60 mm après module) : 103 MPa,
- Résistance à la traction indirecte : 8 MPa (sain) à 1,8 MPa (altéré),
- Module matriciel de l'ordre de 100 GPa.

2.1.5. Traitement du massif de fondation des ouvrages

Le massif granitique présentant d'excellentes caractéristiques géotechniques, seules quelques bandes correspondant à des zones d'altération hydrothermale ont été traitées par purge et substitution.

Le traitement de ces zones a été adapté au cas par cas au mode de fondation du bâtiment qui les surmonte.

Tous les bâtiments étant sur radier et compte tenu de l'extension limitée de ces zones, les traitements ont été très réduits et pratiquement nuls dans l'emprise du radier commun de l'îlot nucléaire.

Ils ont consisté en une purge du matériau jugé de mauvaise qualité et sa substitution par un béton dit de comblement. Ces traitements ont toujours concerné de faibles surfaces :

- Une zone de gore, transversalement à l'axe de la galerie HGG,
- Une bande altérée de gore dans la fosse de HF,
- Une bande de gore altéré dans l'emprise de HK,
- Une bande de gore dans la galerie de précontrainte.

Ces purges étaient limitées à quelques décimètres de profondeurs. Elles correspondaient à un matériau évolutif, évoluant vers un stade argileux soit parce que le fond de fouille avait été laissé ouvert trop longtemps avant mise en place du béton de propreté, soit parce que situé en point bas avec une très mauvaise gestion des eaux d'écoulement.

Effectué préalablement à tout relevé géologique, le nettoyage très soigné du fond de fouille permet de garantir une excellente accroche des radiers des bâtiments au massif rocheux de fondation.

2.1.6. Stabilité de la falaise surplombant le site

Cette falaise a été créée lors des déroctages en grande masse des années 1978/1979. La partie inférieure de la falaise (entre +12 et +42 NGF) a été pré-découpée afin de limiter la décompression associée aux effets arrières des tirs.

L'analyse structurale des discontinuités dans le granite conduit à écarter tout risque d'instabilité d'ensemble de la falaise du site. Le pendage moyen des discontinuités pentées vers l'Ouest correspond grossièrement au fruit actuel de la falaise (englobant les risbermes, à savoir 1H/1V à 3H/2V au-dessus de +42 NGF et subvertical avec risberme entre +12,4 et +42 NGF).

La falaise était revêtue, entre les cotes +12,4 NGF (plate forme site) et +42 NGF (haut de la risberme) par un revêtement en gunite associé à un boulonnage ou un treillis soudé. Ce revêtement répond à une double exigence : stabiliser les dièdres et les blocs instables et protéger le granite de l'altération météoritique.

Ce revêtement a été intégralement régénéré en 2008-2009, avec purge des zones fissurées et des plaques de gunite décollées, puis revêtement total de la falaise entre +12,4 et +42 NGF par un treillis soudé associé à un béton projeté d'une épaisseur de 15 cm sur pointes, l'ensemble étant ancré au granite par des boulons à raison d'un boulon tous les 5 m².

2.2. LA ZONE DE CONTACT GRANITE/CORNÉENNES

Cette zone se distingue par une complexité tectonique accrue et un degré avancé d'altération dans les cornéennes.

D'une manière générale, le contact granite / cornéennes n'est pas régulier, mais il est toujours apparu comme sec et fermé.

Ce contact correspond majoritairement à une couche de minéral de fer (voir figure [FIG-2.5.7](#)). Lorsqu'il a été observé sur les talus, le contact est apparu vertical.

De multiples granitoïdes (aplite, microgranite, granite,...) jalonnent cette zone de contact, rendant la surface très tourmentée. Les avancées de granitoïdes se présentent sous la forme d'apophyses, de flammèches et de filons. Ces granitoïdes sont en général très altérés.

2.3. LE SYNCLINORIUM DE DIÉLETTE

2.3.1. Structure géologique

Cette série constitue le flanc Sud du synclinal de Siouville, vaste structure d'extension régionale durant la phase dévonienne de l'orogénèse hercynienne (voir figure [FIG-2.5.6](#)). Il s'agit d'un pli dissymétrique et déversé vers le Sud, et affectant des terrains d'âge cambrien à dévonien inférieur (= Siégénien). L'axe de ce synclinal est orienté ENE-WSW ; il est faiblement penté vers le WSW.

A proximité du site de Flamanville, la structure de la série sédimentaire est en relation avec la mise en place du batholite.

La mise en place « à l'emporte pièce » du pluton granitique syntectonique au sein du flanc Sud du synclinal de Siouville s'est accompagnée de plusieurs phénomènes affectant grandement la structure de la série sédimentaire (voir figure [FIG-2.5.6](#)) :

- Refoulement des couches sédimentaires par l'intrusion du pluton granitique, d'où l'apparition de nouveaux plis (moulés sur la bordure occidentale du pluton, c'est-à-dire présentant des axes grossièrement parallèles à la côte) au sein des terrains les moins compétents de la série. Ces plis, d'amplitude hectométrique, sont en général faiblement déversés. Toutefois, à proximité immédiate du massif, c'est à dire dans les premières centaines de mètres à partir du rivage, ces plis peuvent avoir évolué en plis-failles et apparaître assez fortement déversés. Ce vaste ensemble de synclinaux, anticlinaux, plis-failles est nommé « synclinorium² de Diélette ». Sa forme générale est concave, tournée vers l'Est et son axe est orienté parallèlement au rivage. Se développant essentiellement dans le domaine marin, il est fermé à ses deux extrémités Sud et Nord. Le point bas du synclinal semble se situer sensiblement au centre de la structure à la hauteur du grand axe du batholite granitique. Dans le détail, les synclinaux élémentaires peuvent néanmoins avoir des plongements inversés par rapport au plongement principal. Les principales failles recoupent le synclinorium selon une direction sub-parallèle à la côte, parallèlement à l'axe des plis élémentaires du synclinorium.
- Apparition de vastes zones cisailantes accommodant cette déformation plicative au large, avec une orientation N20°E et N110°E.
- Ouverture et injection de filons de microgranite de plusieurs mètres de large, dans des directions préférentielles perpendiculaires à la côte.
- Apparition d'une schistosité dans les formations les moins compétentes.

2.3.2. Pétrographie et minéralogie

Ce métamorphisme de contact a engendré une grande variabilité lithologique, fonction des lithologies de la série sédimentaire originelle, d'âge siégenien et geddinien : schistes et calcaires de Néhou (grès calcaires et grès à gangue phylliteuse), Grès de May et schistes.

Dans ces faciès, un litage est parfois observé à l'œil nu. Cependant la correspondance de ce litage avec une stratification n'est pas évidente, le métamorphisme développé par l'intrusion granitique étant polyphasé. Le flux thermique a précédé le gonflement et la mise en place du pluton granitique. Il y a donc eu une première recristallisation « statique » qui a précédé un métamorphisme « dynamique » synchrone du développement des plis et de la schistosité associée.

L'évolution des foliations ainsi que des paragenèses peut se résumer comme suit :

- 1) Tout d'abord, le métamorphisme statique se surimpose à la stratification des roches sédimentaires. Les minéraux qui caractérisent ce voile thermique croissent librement dans le plan de stratification sous forme de tâches allongées mais sans orientation préférentielle. Il y a donc « fossilisation » de la stratification (foliation 1 bien visible à l'œil nu).
- 2) Puis la paragenèse dynamique se développe, formée de minéraux ayant poussé sous pression et de manière orientée. Bien souvent cette foliation 2 est également parallèle à la stratification mais elle se différencie très bien à la faveur des plis : on observe ces minéraux dans les plans de schistosité de plan axial des charnières des plis présents dans l'auréole, et contemporains de la mise en place du granite.
- 3) Une troisième paragenèse statique (chlorite) peut apparaître (rétrométamorphisme lors du refroidissement) à la fois dans la foliation 1 et la foliation 2. Le développement de chlorite, par rétométamorphisme ne peut, sensu stricto, pas être considéré comme un phénomène d'altération.

Sur le site de la tranche 3 de Flamanville, on distingue :

- 1) Les cornéennes micacées de couleur noire, plus ou moins bleuâtres. Elles ne présentent aucun aspect de foliation ou de schistosité. La biotite est le minéral dominant, en association avec le quartz et les feldspaths potassiques. Ce faciès est en général riche en magnétite. La roche mère correspond probablement à un grauwacke plus ou moins alumineux ou calcaire, voire localement à des schistes.

2. Synclinorium : structure synclinale complexe plus ou moins faillée, constituée par des synclinaux élémentaires.

- 2) Les cornéennes à pyroxènes de couleur vert pâle à blanchâtre, à gris clair. Le diopside est le minéral dominant, en association avec le quartz et des feldspaths plagioclases (albite et oligoclase) Le principal minéral accessoire est le sphène. Ce faciès est en général riche en sulfures (pyrite, marcassite, pyrrhotite, chalcopyrite, mispickel) et pauvre en minéraux opaques (magnétite et oligiste). La roche mère correspond probablement à un quartzite calcique ou un calcaire silico-alumineux et ferrugineux. De nombreuses variantes existent au sein de ce faciès : grenatifère, à épidote (pistachite,) ou à wollastonite (donnant un aspect nacré à la cornéenne).
- 3) Les cornéennes à amphiboles de couleur variable selon le minéral prédominant : vert foncé pour l'actinote, vert pour la hornblende ou gris verdâtre pour la trémolite. La hornblende et la trémolite actinote sont prédominants, en association avec le quartz et des plagioclases. Plusieurs variantes sont identifiées : à épidotes, à grenats ou rubanées à diopside.

Intercalés dans la série, on trouve :

- Des quartzites,
- Des épidotites (pistachite donnant une couleur vert pistache caractéristique), intercalées sous forme de minces bandes dans les cornéennes à pyroxène,
- Des grenatites sous forme de couches denses de couleur rose à brun clair, altérées en brun rougeâtre,
- Des cipolins.

La particularité géologique tient à la présence de couches riches en fer (hématite et surtout magnétite apparaissant plus ponctuellement mais en quantité importante). Le minerai originel correspond à une oocalcarénite contenant des oolithes d'oxydes de fer et de calcite de taille maximale 0,5 mm prise dans une gangue pouvant être constituée soit de calcite, soit de pyroxène, soit d'amphibole.

Les informations géologiques issues du dossier de fermeture de la mine ([Réf \[60\]](#)) sont parfaitement cohérentes avec les informations recueillies lors du levé géologique de fond de fouilles (positionnement des couches de minerai, des filons d'aplite, des failles).

La direction des couches est N30° E (grossoirement parallèles à la ligne de rivage). Cette direction correspond grossoirement à la direction de l'axe des plis.

Dans l'emprise de la tranche, les couches sont toujours très redressées, avec un pendage variant entre 70°NW et 70°SE.

2.3.3. Géologie du massif de fondation de la tranche 3

Les ouvrages concernés par une fondation sur le massif métamorphique sont les deux tiers occidentaux de la salle des machines, la quasi totalité du Pole Opérationnel d'Exploitation, le bâtiment de collecte et de traitement des effluents, la station de pompage et les bassins de rejet et pré-rejet ainsi qu'une partie des ouvrages enterrés.

On distingue les horizons suivants, depuis le contact avec le granite à l'Est vers la mer à l'Ouest, sur une transversale correspondant grossoirement à l'axe de la tranche. La numérotation correspond à la numérotation sur le tracé de coupe de la figure [FIG-2.5.7](#) :

- 1) **Couche de minerai** au contact avec le granite, avec apophyses et filons : minerai riche en biotite et renfermant parfois des grenats. Sa largeur maximale (non corrigée de l'effet du pendage) est de l'ordre de 5 m,
- 2) **Cornéennes micacées** sur une largeur de 11 m environ. Dans le détail :
 - Cornéennes micacées : 2 m environ,
 - Fine bande de quartzites : 0,5 m,
 - Cornéennes pyroxéniques, avec un peu d'épidote : 1 m environ,
 - Couche de quartzites riches en feldspaths : 1m environ,

- Cornéennes rubanées (bandes pyroxéniques à épidote et bandes micacées) : 3 m environ,
- Grenatites, avec diopside et un peu d'épidote : 1 m environ,
- Cornéennes pyroxéniques à wollastonite : 0,5 m environ,
- Cornéennes micacées sur une largeur de 2 m environ.

3) Sur une largeur de 28 m : **cornéennes rubanées** à alternances de bandes :

- Pyroxéniques à wollastonite et parfois à grenat, formant le faciès prédominant de cette alternance,
- Micacées,
- Grenatifères,
- Quartzitiques riches en feldspaths.

Cet horizon présente des zones très altérées et une faille de largeur plurimétrique, conforme à la stratification : F1.

4) Sur une largeur de 20 m : **quartzites** clairs.

5) **Minerai** : sur une largeur de 8 m en englobant un intercalaire de cornéennes rubanées, cette couche est répertoriée « ensemble de la 5^{ème} couche, de la 4^{ème} couche Banc du Mur et de la 4^{ème} couche Banc du Toit » dans les plans du fond de la mine.

6) Sur une largeur de 26 m :

- Sur 12 m **alternance** de cornéennes, présentant des zones très altérées :
 - Pyroxéniques avec épidotes, grenats et calcite ; c'est le faciès prédominant de l'alternance,
 - Micacées (biotite),
 - Bandes quartzitiques,
- Sur 1 m environ : **cornéennes rubanées** pyroxéniques riches en pyrite,
- Sur 9 m environ : **alternance** de bandes de 5 à 50 cm d'épaisseur de cornéennes micacées grenatifères et de cornéennes pyroxéniques riches en épidotes,
- Sur 2,5 m environ : **cornéennes rubanées** pyroxéniques avec grenats, épidotes et pyrite.

7) **Minerai** : cette couche est répertoriée « 6^{ème} couche » dans les plans de fond de la mine. Sa largeur est environ 6 m (en empiétant très probablement sur une couche de cipolins pyroxéniques, riches en magnétite et pyrite, avec des enclaves de grenatites) avec lequel la distinction n'est pas aisée.

8) sur une largeur de 29 m environ : **alternance** de cornéennes micacées et amphibolitiques et moins fréquemment pyroxéniques à pyrite. Cet horizon contient également une zone de brèches et micro brèches recristallisées par de la calcite et jalonnée de concentrations de galène, sur une largeur pouvant localement atteindre 7 m. C'est la faille F2.

9) **Couche de minerai** : correspondant à la « 7^{ème} couche » dans les plans du fond de la mine, elle apparaît sous la forme de deux étroites bandes séparées par des intercalaires de cornéennes micacées, sur une largeur 1,5 m environ.

10) sur une largeur supérieure à 36 m : **cornéennes micacées et cornéennes à amphiboles** avec axe synclinal (inversion du pendage des couches). Cet horizon est découpé par une petite faille (F3 largeur 1 m) avec microbrèches, jalonnée de calcite, de pyrite et de chlorite.

2.3.3.1. Altération

La distribution de l'altération dans les cornéennes est hautement plus complexe que dans le granite.

Contrairement au granite, pour lequel la couverture verticale existant avant les terrassements était importante, l'altération superficielle météorique peut affecter le massif de cornéennes sur une épaisseur de quelques mètres. Cette altération superficielle se surimpose à l'altération hydrothermale.

L'altération hydrothermale des cornéennes affecte principalement deux zones de la série :

- Les cornéennes rubanées entre le contact et la faille F1 (couche n°3 sur la figure [FIG-2.5.7](#)),
- Les cornéennes rubanées (couche n°6 sur la figure [FIG-2.5.7](#)), entre les deux couches de minerai de fer (couches n°5 et 7 sur la figure [FIG-2.5.7](#))

Cette altération hydrothermale semble donc se concentrer sur les faciès de cornéennes rubanées ou des cornéennes pyroxéniques.

Elle se traduit sous des formes très variées, s'étendant entre deux pôles :

- 1) Bandes argileuses bien localisées, souvent associées aux zones de failles sur des largeurs métriques, mais également jalonnant les joints stratigraphiques sur des largeurs d'ordre centimétrique,
- 2) Microfissuration remplie de calcite ou de phyllosilicates, plus ou moins imperceptibles à l'œil, mais rendant le rocher très « cassant ».

Les zones argileuses analysées par diffractométrie aux rayons X ont montré la prédominance des smectites et des interstratifiés illite-smectites, la richesse en illite et la faible teneur (relative par rapport à la roche initiale) en quartz et feldspaths. Les diagrammes de diffraction montrent de larges pics traduisant une faible cristallinité (dégradations de la cristallinité initiale et mélange entre différents phyllosilicates).

2.3.3.2. Fracturation

Les joints les plus persistants des cornéennes sont sans contexte les joints de stratification de direction N30° E, à fort pendage. Au sein d'une même couche ces joints demeurent ténus et ne peuvent être suivis à l'œil, sauf lorsqu'ils sont jalonnés par un matériau d'altération (typiquement phyllosilicates). Les contacts entre les couches sont par contre très bien marqués.

La principale famille de fracturation correspond à la famille A, d'orientation N110° et de fort pendage. Comme dans le granite cette fracturation est parfois associée à des filons d'aplite. Sa maille varie entre 1 et 10 / m.

Ce sont en général des fractures sèches, sauf localement où elles peuvent être associées à des filonnets de calcite.

Dans certaines zones, l'intersection entre des joints de stratification serrés et une importante maille de fracturation sur la famille A a donné lieu à un débit cubique du massif rocheux.

Plusieurs failles ont été rencontrées dans les cornéennes. Ce sont, depuis l'Est (contact avec le granite) vers l'Ouest :

- Faille F1, parfaitement conforme à la stratification, donc présentant une direction globale de N30° E. Cette faille argileuse a une largeur de l'ordre de 2 à 4 m. Elle se présente sous la forme d'un cortège très coloré de différentes argiles. Elle recoupe la Salle des Machines en son milieu. Elle a été purgée et substituée totalement dans l'emprise de la Salle des Machines, notamment dans l'emprise du Groupe Turbo-Alternateur.
- Faille F2, qui affecte la station de pompage et les ouvrages de rejet et qui a été à l'origine d'un fort hors profil sur le talus rocheux provisoire de la fouille de la station de Pompage. Cette faille, qui présente localement un faciès argileux gris et localement un faciès bréchique à dominante de calcite, est responsable de l'implantation du puits de rejet à terre à l'extérieur de HC,

- Faille F3, de direction N45°E qui recoupe la stratification avec un angle fermé (de l'ordre de 15°). Elle affecte la fondation de la station de pompage, sur une épaisseur de l'ordre du mètre. Elle se présente sous la forme d'une micro-brèche avec de la calcite et avec localement de la chlorite.

2.3.3.3. Traitement du massif de fondation des ouvrages

Le massif rocheux de l'auréole de métamorphisme présente de bonnes caractéristiques géotechniques lorsqu'il est sain.

Les traitements par purges et substitutions par du béton de comblement ont concerné les zones altérées dont la largeur était incompatible avec les structures de génie civil qui les surmontaient. Dans le détail, deux zones ont été traitées :

- La faille F1 à sa traversée de la galerie HGI HGH, sous l'emprise du mur poids n°6 de HM, sous la traversée des CRF amenée et sous l'emprise du GTA, soit un volume d'environ 300 m³.
- Une bande altérée de l'horizon n°6 (cornéennes rubanées et cornéennes pyroxéniques), à sa traversée des CRF rejet, sous les murs poids Ouest de HM et à sa traversée avec les CRF amenée.

De plus, devant l'altération des premiers mètres de cornéennes dans l'emprise de HM, une purge anticipée a été réalisée (jusqu'à refus de la pelle) entre les deux tranchées des CRF.

Effectué préalablement à tout relevé géologique, le nettoyage très soigné du fond de fouille permet de garantir une excellente accroche des radiers des bâtiments au massif rocheux de fondation.

2.3.3.4. Caractéristiques géotechniques du massif de cornéennes

2.3.3.4.1. Caractéristiques pressiométriques

2.3.3.4.1.1. Cornéennes altérées

Ce faciès est éminemment variable autant en terme de localisation (correspondant aux bandes altérées d'orientation N30°E) qu'en terme de nature (essentiellement argileuse, mais dont l'apparence peut varier entre une large bande et un fin chevelu). Seuls deux essais pressiométriques ont permis de caractériser les cornéennes altérées :

- PI^* : 2,05 MPa en moyenne (2 à 2,1 MPa),
- E_M : 15 MPa en moyenne (13 à 18 MPa),
- E_M/PI^* : 7,6 en moyenne.

Ces faibles caractéristiques ont valu à ces faciès d'être substitués lorsque les contraintes exercées par les structures de génie civil étaient jugées trop importantes.

2.3.3.4.1.2. Cornéennes fracturées

Un seul essai a permis d'identifier ce faciès :

- PI^* : 5 MPa,
- E_M : 95 MPa,
- E_M/PI^* : 19.

2.3.3.4.1.3. Cornéennes saines et fermées

6 essais ont permis de caractériser sans aucune ambiguïté les cinq premiers mètres des cornéennes saines et fermées :

- PI^* > 8 MPa,
- E_M : 1385 MPa en moyenne harmonique (729 à 27160 MPa).

2.3.3.4.2. Essais en laboratoire**Masse volumique**

Les essais en laboratoire effectués sur les échantillons prélevés sur site ont donné les statistiques suivantes :

- Nombre de valeurs : 33,
- Moyenne : 2,86 t/m³,
- Ecart type : 0.29 t/m³,
- Valeur minimale : 2.76 t/m³,
- Valeur maximale : 4.47 t/m³ (couche de minerai de fer).

Modules d'Young de la matrice rocheuse

La matrice rocheuse est extrêmement raide, sauf évidemment dans les zones altérées. 16 mesures sur 9 échantillons ont donné les moyennes suivantes :

- perpendiculairement à la stratification, sur éprouvettes de 60 mm de diamètre : 88 GPa,
- parallèlement à la stratification, sur éprouvettes de 60 mm de diamètre : 115 GPa,
- sur éprouvettes de 85 mm de diamètre : 67 GPa.

Résistance à la compression

La résistance matricielle des cornéennes est extrêmement élevée. Les essais en laboratoire effectués sur les échantillons prélevés sur site ont donné les statistiques suivantes :

- Nombre de valeurs : 100,
- Moyenne : 213 MPa,
- Ecart type : 129 MPa,
- Valeur minimale : 21,5 MPa,
- Valeur maximale : 507 MPa,
- 25 % des valeurs sont supérieures à 310 MPa.

En distinguant les échantillons prélevés «à terre » c'est-à-dire à proximité du contact avec le batholite de granite et les échantillons prélevés « en mer » dans la zone du puits de rejet en mer, on obtient respectivement :

- Nombre de valeurs : 61 / 32,
- Moyenne : 273 / 73 MPa,
- Ecart type : 98 / 42 MPa,
- Valeur minimale : 47 / 21,5 MPa,
- Valeur maximale : 507 / 169 MPa.

Cette distinction permet de constater que la résistance matricielle du massif décroît avec l'éloignement au batholite, ce qui est cohérent avec la décroissance du degré de métamorphisme.

Résistance à la traction indirecte R_{tb} :

- Nombre de valeurs : 9,
- Moyenne : 17 MPa,
- Ecart type : 5.1 MPa,

- Valeur minimale : 5,3 MPa,
- Valeur maximale : 25,6 MPa.

2.3.3.5. Incidence de la présence de la mine de Diélette sous la tranche

Les couches de minerai de fer ont été exploitées dans la mine sous-marine de Diélette, qui concerne les premières centaines de mètres du massif métamorphisé. La présence de cette mine est responsable du tracé courbe de la galerie de rejet qui évite soigneusement les quartiers exploités par la méthode chambre et magasins se développant devant la tranche 3 (c'est-à-dire à l'Ouest) entre les cotes -70 et -130 NGF.

Le niveau supérieur de la mine (situé à -70 NGF) a été vidangé et visité en mars 1980. Un relevé topographique a été réalisé à cette occasion, ce qui permet de superposer, avec une précision relative estimée à quelques mètres, le plan de fond de la mine et le plan masse de la tranche 3. Il apparaît ainsi qu'une galerie secondaire, dont le radier se situe à la cote -75 NGF, chemine sous l'emprise ouest de la salle des machines (en coordonnées site, $X < 1845$ m) et sous les ouvrages de rejet et pré-rejet de la tranche. La cote du toit de ces galeries est d'environ -72 NGF.

Compte tenu des très bonnes caractéristiques des cornéennes, de la section réduite des galeries et de la bonne épaisseur de couverture, ces galeries n'ont aucune incidence sur les ouvrages de surface.

2.4. LES FILONS

Ces filons sont intrusifs dans le massif granitique et dans l'auréole métamorphique. Moyennant quelques relais, leur continuité est kilométrique.

Ce sont des structures de direction globale N100° E, donc conformes à la principale famille de fracturation (famille A). Leur pendage est très redressé, de l'ordre de 80 à 90°. Leur épaisseur varie entre quelques décimètres et 4 m.

Il s'agit sauf exception d'un rocher sain (altération limitée aux fissures), mais intensément fracturé (maille globale de l'ordre de 10 / m).

D'un point de vue pétrographique, ce sont essentiellement des filons d'aplite. Les filons de microgranite porphyroïde (microdiorite quartzitique à amphiboles) ont été très rares.

Dans quelques zones particulières ces filons sont altérés dans la masse avec des couleurs rouges typiques (par damouritisation des feldspaths plagioclases), en liaison avec leur richesse en feldspaths. Il s'agit dans ce cas de zones où les fluides hydrothermaux ont suivi les épontes même de ces filons, digérant l'aplite du filon mais également son encaissant granitique ou de cornéennes.

2.5. LES REMBLAIS

La totalité du tout venant d'abattage de la falaise granitique qui recouvrait l'emprise de la tranche 3 avant le démarrage des travaux a été décapé. L'ensemble des bâtiments a été fondé soit directement sur le massif rocheux, après que la qualité géomécanique du fond de fouille ait été jugée conforme aux hypothèses de dimensionnement, soit sur un béton dit de blocage, permettant de rattraper la cote de fond de fouille de l'ouvrage par rapport à un toit du substratum rocheux trop bas.

La particularité topographique du site était le plongement très rapide du toit rocheux vers l'Ouest, limitant les volumes de déblais dans les cornéennes mais imposant, pour atteindre la cote du fond de fouille, de mettre en œuvre des hauteurs importantes de bétons de blocage

Seuls quelques bâtiments sont fondés sur remblais. Il s'agit essentiellement du POE (HB), ainsi que des ouvrages fondés superficiellement : plate-forme d'évacuation d'énergie (HTP, HTE, HTS) et bâtiments de stockage de gaz (HZ).

Ces choix de conception ont été retenus afin de s'affranchir du risque de tassements différentiels pouvant se développer dans le temps par entraînement des fines dans le remblai. En outre, les remblais mis en oeuvre sous nappe possèdent, par leur granulométrie et leur compacité, la capacité de résister à l'entraînement de fines.

3. ÉTUDE SISMOTECTONIQUE

3.1. SISMICITÉ HISTORIQUE

Le tableau [TAB-2.5.1](#) présente la liste des séismes historiques d'intensité épacentrale supérieure à VI MSK obtenue par extraction dans un carré de 600 km de côté centré sur le site de la base SISFRANCE version 2008.

La figure [FIG-2.5.9](#) illustre les résultats de l'extraction. Le tableau [TAB-2.5.2](#) présente les indices de qualité utilisés dans la base de sismicité historique SISFRANCE

Basé sur l'extraction du fichier SISFRANCE, ce paragraphe se limite à la description des principaux séismes historiques d'intensité supérieure ou égale à VI MSK dans un rayon de 150 km autour du site, ainsi que certains séismes d'intensité supérieure mais plus éloignés.

Ces séismes sont présentés par ordre chronologique, sans préjuger de leur rattachement à une structure ou à un domaine tectonique. Les intensités sont données dans l'échelle MSK.

11/09/1275 Somerset (Glastonbury)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150106	VII (E)	VII (C)	5

Ce séisme est très mal connu car très ancien. Il a été ressenti à St Michael Church avec une intensité VII (qualité incertaine) et dans plusieurs autres villes (Londres, Canterbury, Winchester) sans indication de l'intensité ressentie.

14/02/1291 : Caen

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations	nombre de références
140003	VI (E)	V (A)	2	2

On ne dispose que de deux observations relatives à ce séisme, dont une seule avec une intensité établie (V MSK à Caen).

14/05/1497 : Basse vallée du Loir (Tiercé)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
490019	VII (C)	VII (B)	3

Le séisme de 1497 apparaît dans la base SISFRANCE avec des indices de qualité C (« incertaine ») pour l'intensité et D (« probable ») pour la localisation de l'épicentre. En effet, il n'a été ressenti que

dans trois communes (Tiercé, Beaufort-en-Vallée et Angers) avec des intensités assez sûres respectives de VII MSK, VI-VII MSK et V-VI MSK.

Si l'on considère que l'épicentre se situe au sein du secteur compris entre Tiercé et Beaufort, l'intensité épacentrale serait effectivement au moins égale à VII MSK.

Un ajustement des observations sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 11 km.

12/11/1584 : Mont-Saint-Michel

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
500013	VI (I)	VI (B)	1

On ne dispose que d'une observation relative à ce séisme : VI MSK ressentie au Mt-St-Michel (avec un indice de qualité B [assez sûre]).

06/07/1640 : Bocage Normand (Coutances)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
500013	VI (E)	V (A)	11

Ce séisme a été ressenti dans 8 localités différentes (Argentan, Mt-St-Michel, Vire, Le Plessis-Grimoult, Jersey, Taden, Dinan et Caen) avec une intensité de V MSK. La zone de perception de l'intensité V MSK étant assez étendue, c'est ce qui a conduit à affecter l'intensité épacentrale de VI MSK à ce séisme, dont l'épicentre devait se situer dans les environs de Coutances.

15/02/1657 : plateau de Sainte-Maure

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
370007	VII-VIII (C)	VII-VIII (A)	4

Cet événement est mal connu. La base SISFRANCE propose un épicentre probable (indice D) à Sainte Maure de Touraine, avec une intensité épacentrale peu fiable (indice C) de VII-VIII MSK.

Seules 4 observations sont disponibles pour ce séisme dans la base SISFRANCE, dont 2 avec une intensité : Sainte-Maure (VII-VIII MSK avec un indice de qualité A) et Ports (VI MSK avec un indice de qualité A).

Une étude a été menée en 1981 (Deroch & Mailhé) avec consultations des archives départementales et des registres paroissiaux de 194 communes situées dans un rayon de 40 km autour de Sainte Maure. Depuis, aucun élément nouveau susceptible d'en modifier les conclusions n'a été apporté. Cette étude tend à ramener l'intensité épacentrale à VI MSK, du fait du peu de confiance attribuée aux documents rapportant les effets du séisme à Sainte Maure (VII-VIII MSK), et de la validité au contraire affirmée du témoignage concernant la localité de Ports-sur-Vienne (VI MSK), située à proximité. Par ailleurs, plusieurs dizaines de registres paroissiaux, retrouvés complets pour cette période dans le voisinage de Sainte Maure (20 à 40 km), ne font état d'aucun événement important, confirmant le caractère relativement modéré de la secousse.

L'intensité en zone épacentrale est donc vraisemblablement plus proche de VI MSK que de VII-VIII.

02/05/1699 : Bocage Normand (Vire)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
140005	VI (I)	VI (C)	1

Ce séisme est simplement signalé à titre indicatif, sa localisation et son intensité sont très douteuses compte-tenu du peu d'informations s'y rattachant.

L'épicentre de ce séisme a été fixé arbitrairement dans les environs de Vire à 105 km au SSE du site.

07/09/1706 : vallée de la Loire (Langeais)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
490035	VII (C)	VII	3

L'intensité épacentrale de ce séisme est incertaine. Il est caractérisé par des indices de qualité C (« incertaine ») pour l'intensité et D (« probable ») pour la localisation de l'épicentre.

On ne dispose que de trois observations, dont deux seulement avec une intensité établie : il a été ressenti avec une intensité de VII MSK à Langeais, V MSK à Vivy (35 km de l'épicentre) et simplement ressenti sans indication d'intensité à Ste Radegonde près de Tours.

05/11/1734 : Manche (S. Ile de Wight)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150009	VI (C)	V-VI (A)	24

Ce séisme est situé à 88 km au NE du site, en pleine mer au Sud de l'île de Wight. La base Sisfrance 2008 propose 29 observations, dont 4 qualifiées de sûres et 11 qualifiées d'assez sûres.

Comme la majorité des séismes ayant eu lieu au large, il est très mal connu et la localisation de son épicentre est très imprécise (indice de qualité E). L'intensité épacentrale selon SISFRANCE serait de l'ordre de VI MSK.

Compte tenu de l'incertitude sur cette valeur, on envisagera qu'elle puisse se situer entre VI et VII MSK. Les caractéristiques sismologiques de ce séisme sont estimées à 5,5 pour la magnitude et à 19 km pour la profondeur.

05/03/1752 : Devon (Dartmoor)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
760015	VI-VII (C)	VI-VII (C)	3

Ce séisme est mal connu, car une seule observation fait l'objet d'une intensité de qualité incertaine.

28/10/1757 : Estuaire de la Seine (Le Havre)

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
760015	VI (C)	VI (A)	7

Ce séisme a été ressenti de manière peu étendue dans la région du Havre et de Fécamp (Intensité maximale ressentie au Havre avec un indice de qualité sûr).

01/12/1769 : Pays de Caux (Veules)

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
760019	VI-VII (A)	VI-VII (A)	19

Son épiscopentre est situé à Veules-les-Roses dans le pays de Caux avec une intensité de VI-VII MSK. Il a été ressenti jusqu'en région parisienne, soit un rayon de perception de l'ordre de 160 km.

Un calage des observations selon une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 13 km.

30/12/1775 : Plaine de Caen (Caen)

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
140007	VII (B)	VII (A)	40

L'épiscopentre de ce séisme se situe dans la région de Caen à environ 120 km au Sud-Est du site. Il a été ressenti avec une intensité VII MSK à Caen et dans les villages voisins. Son rayon de perception est d'environ 200 km (ressenti à Paris).

Un calage sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 14 km.

23/09/1804 : Manche (Golfe de St-Malo)

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
350011	VI (E)	V-VI (A)	7

Ce séisme présente un épiscopentre à 70 km du site, dans la baie de St-Malo.

Plusieurs secousses ont été ressenties dont la plus violente à St-Servan (St-Malo) avec une intensité V-VI MSK.

02/01/1827 : Perche – Le Mele-sur-Sarthe

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
610006	VI (B)	VI (B)	3

Ce séisme est rapporté uniquement dans trois localités entre Alençon et Mortagne. Il s'agit donc vraisemblablement d'un événement de faible magnitude. L'intensité maximale non négligeable (VI MSK) semble indiquer une faible profondeur.

Ces paramètres sismologiques sont estimés à 4,3 pour la magnitude et 5 km pour la profondeur focale.

18/09/1833 : Sussex (Chichester)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150083	VI (E)	VI (C)	2

La base de données SISFRANCE localise l'épicentre de ce séisme en mer, à 40 km au SE de l'île de Wight (avec un indice de qualité de localisation : présumée).

22/12/1843 : Guernsey

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150016	VI (B)	VI (B)	12

Le fichier SISFRANCE indique que ce séisme a été ressenti à Guernesey avec une intensité de VI MSK (assez sûre) et une localisation épacentrale à Guernesey probable.

Ce séisme a été ressenti à Cherbourg avec une intensité de III-IV MSK.

01/04/1853 : Bocage Normand (Coutances)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
500023	VI-VII (B)	VI-VII (A)	84

Ce séisme a été largement ressenti dans les îles anglo-normandes et dans toute la Normandie, le Maine, l'Anjou, la Touraine et dans le Sud de l'Angleterre. Il est connu par 84 observations dont 48 avec intensité précisée.

Il a été ressenti à Coutances avec une intensité VI-VII MSK (qualité sûre), à Jersey avec une intensité de VI MSK (qualité assez sûre) et V MSK à Guernesey (qualité sûre). La position de l'épicentre proposée par la base Sisfrance (sur la cote à l'Ouest de Coutances) ne prend peut être pas suffisamment en compte l'aspect marin du séisme. De même, l'intensité épacentrale retenue par Sisfrance (VI-VII MSK) peut paraître peu conservative eu égard au faible nombre d'observations en mer.

Avec ces caractéristiques, le calage sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 18 km.

15/05/1888 : Mene (St-Méen-Le-Grand)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
350025	VI (A)	VI (A)	21

L'épicentre de ce séisme se situe dans la région de St-Méen-le-Grand à environ 155 km au Sud du site.

Un calage sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 20 km.

30/05/1889 : Manche (N. Cherbourg)

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150019	VI (B)	VI (B)	253

Ce séisme a atteint l'intensité VI MSK à Cherbourg (chute d'un chapiteau de l'église de la Trinité) et V-VI MSK dans 7 autres localités (Octeville, Valognes, Bricquebec, Reville, St-Vaast-La-Hougue, Alderney et Grandcamp-Maisy). Il a été ressenti à Noyon et Compiègne, villes distantes de plus de 320 km de l'épicentre supposé avec une intensité de III MSK et des indices de qualité respectivement B et A.

L'épicentre est situé en mer, et donc avec une localisation et une intensité imprécises. L'ensemble des observations s'accorde bien avec une magnitude 5,4 à 18 km de profondeur, pour un épicentre d'intensité VII MSK situé à une quarantaine de km au large de Cherbourg. Nous envisagerons que ce séisme puisse avoir une intensité VI à VII MSK.

05/08/1909 : pays de Brest

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
290022	VI (B)	VI (C)	37

Ce séisme a été ressenti dans la région de Brest. L'intensité VI MSK a été rencontrée sur deux observations, de qualité sûre et incertaine respectivement.

Un ajustement sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 20 km.

30/07/1926 : Jersey

numéro	Intensité épacentrale	I max	nombre d'observations
1150020	VI-VII (B)	VI-VII (A)	300

Le tremblement de terre du 30 juillet 1926 a notamment été ressenti à Caen, Rouen et par quelques personnes à Paris. Une seule observation (à Jersey) atteint l'intensité de VI-VII MSK.

Ce séisme a fait l'objet de nombreuses études, notamment les études de Karnik (1969, [Réf \[68\]](#)) et d'Ambraseys (1985 et 1988, [Réf \[61\]](#), [Réf \[62\]](#)), basées sur les données instrumentales et conduites à l'échelle européenne, dans un objectif d'homogénéisation des catalogues de sismicité. Il a également fait l'objet d'une étude spécifique conduite par Amorèse (2011, [Réf \[66\]](#)), prenant en compte les données instrumentales, mais également les données macrosismiques.

Ces études convergent vers des profondeurs focales comprises entre 2 et 14 km et des magnitudes Ms, déterminées à partir des enregistrements, comprises entre 5,1 (Ambraseys) et 4,7 (Amorèse). La magnitude indiquée par Karnik, Ms 5,6, est jugée non réaliste par Amorèse, qui propose une estimation des magnitudes sur la base des enregistrements jugée plus fiable et une estimation de Ms jugée plus robuste.

Sur la base de la décroissance des isoséistes, la base SISFRANCE propose un épicentre en mer, à environ 10 km au Sud de l'île de Jersey. Par conséquent, attribuer à ce séisme une intensité épacentrale égale à l'intensité maximale observée peut apparaître comme insuffisamment conservatif. On préférera donc majorer l'intensité épacentrale proposée par SISFRANCE d'un demi-degré. L'intensité épacentrale retenue sera donc plutôt de VII MSK. Avec ces caractéristiques, un ajustement sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 13 km et une magnitude de 5,2.

Nous retiendrons ce couple magnitude-profondeur (Ms 5,2, prof. 13 km) qui apparaît conforme aux données instrumentales (légèrement majorant en ce qui concerne la magnitude) et conforme aux observations macrosismiques.

Les chapitres ci-dessous synthétisent les données publiées sur les paramètres sismologiques associés au séisme de Jersey du 30 juillet 1926.

En 1969, Karnik publie un catalogue des séismes européens ayant eu lieu entre 1901 et 1955 en se basant sur le contenu des catalogues nationaux, les bulletins des stations sismologiques et d'éventuelles publications. Il recalcule les magnitudes des séismes européens en utilisant les temps de premières arrivées des ondes de surface définis dans les bulletins des stations sismologiques. Concernant les profondeurs, il se base sur les valeurs données dans les catalogues nationaux, ou fournies par d'autres auteurs. Karnik publie pour le séisme de 1926 une valeur de magnitude Ms 5,6 (estimée à partir des amplitudes indiquées dans les bulletins de 8 stations sismologiques seulement, c'est-à-dire qu'il écarte les données des stations françaises, d'une bonne partie des stations anglaises et celles des stations italiennes), tandis que la profondeur focale est indiquée de manière qualitative (dans la croûte, avec un hypocentre possiblement situé entre 5 et 50 km de profondeur). Il rapporte également les valeurs de magnitude (Ms 5,3) et profondeur (15 km) de Rothé et Peterschmitt ([Réf \[72\]](#)), calculées à partir des relations de Gutenberg et Richter ([Réf \[67\]](#)) sur la base des données macrosismiques.

[Ambraseys \(1985a,b et 1988\)](#) reprend ce travail d'uniformisation en retournant à la donnée de départ chaque fois où des incertitudes ou des incohérences pesaient sur les données rapportées par les catalogues ou les bulletins des stations. Le résultat est un catalogue de sismicité homogène pour l'Europe nord-occidentale, mis à jour et couvrant la période comprise entre 1903 et 1984.

Ambraseys publie pour le séisme de 1926 une magnitude Ms 5,1 et une profondeur focale de 12 km, en utilisant les enregistrements de 17 stations sismologiques européennes. Il montre en effet que l'extraction des données des bulletins des stations sismologiques comporte de nombreuses incertitudes, notamment dans la définition de l'amplitude (qui très souvent n'est pas explicitée), dans l'interprétation des différentes phases (les symboles L ou S sont utilisés de manière indiscriminée pour identifier les ondes S, les ondes de Love et les ondes de Rayleigh, ainsi que leurs modes supérieurs). Il rapporte également des erreurs occasionnelles associées aux amplitudes du mouvement, en particulier pour les phases à courte période. Pour toutes ces raisons, Ambraseys souligne l'importance de revenir aux enregistrements plutôt que de se fier aux bulletins des stations.

Dans la publication posthume de Karnik (1996†, [Réf \[69\]](#)), l'éditeur a voulu rendre hommage à Karnik en publiant la version étendue de ses travaux dans l'état au moment de son décès. Dans cet ouvrage, le séisme de Jersey du 30 juillet 1926 est rapporté avec l'estimation datant de 1969, accompagnée de celle d'Ambraseys de 1985 et 1988. Aucune conclusion sur la qualité respective des résultats n'est disponible dans cet ouvrage. Le séisme de Jersey de 1926 est donc noté ici avec une magnitude Ms 5,6 et une profondeur comprise entre 5 et 50 km suite à l'étude de 1969, et avec une magnitude Ms 5,1 et une profondeur de 12 km suite aux études d'Ambraseys de 1985 et 1988.

Amorèse (2011, [Réf \[66\]](#)) reprend le séisme de 1926 dans le détail pour déterminer les paramètres de la source :

Le séisme est relocalisé en utilisant différentes méthodes :

- 1) En utilisant les intensités macrosismiques retraitées selon l'échelle EMS (Gruntal, 1998). L'épicentre est localisé au barycentre de l'isoséiste V EMS. La localisation ainsi obtenue se situe à une dizaine de kilomètres à l'Est de Jersey. Aucune profondeur n'est précisée dans ce cadre.

- 2) En utilisant les temps d'arrivée à 21 stations sismologiques suivant la formulation « Equal Differential-Time » (EDT). Les temps d'arrivée sont obtenus à partir de bulletins sismologiques (2 stations espagnoles, 1 station Tchèque), de l'article de Jeffreys 1927 (1 station à Vienne), de l'étude de Rothé et al., 1928 (13 stations en Europe, dont 7 en Espagne, 2 en Italie, 3 en Russie et 1 en Hongrie) et des lectures faites directement sur les signaux scannés et digitalisés (4 stations en Allemagne). L'article souligne que la relocalisation de cet événement par cette méthode est faiblement contrainte le long de l'axe vertical. Les localisations en surface faites avec ces premières deux méthodes sont cohérentes. D'après Amorese, cette localisation est également cohérente avec la position de la sismicité enregistrée par le LDG entre 1970 et 2010.
- 3) Par analyse des formes d'onde. Cela devait permettre à l'auteur d'affiner sa localisation de l'événement en profondeur via l'inversion du tenseur de moment (i.e. la forme d'onde complète). Seule une des stations disponibles réunit les critères d'amplitude, connaissance des paramètres et exactitude temporelle, celle de Zurich. Une deuxième station (Utrecht) est également utilisée puisque adaptée à la gamme de distances du cas considéré. L'inversion du tenseur de moment avec seulement deux stations sismologiques (à des telles distances de l'épicentre) touche aux limites de la méthode, comme l'auteur même l'affirme. Les résultats sont donc de faible qualité. La profondeur focale estimée est de 14 km, mais cette valeur ne peut pas être considérée fiable à cause du faible nombre de stations utilisé dans l'inversion. Quand seule la station d'Utrecht est utilisée, la profondeur est estimée à 2 km.

La magnitude est estimée :

- à partir des temps d'arrivée des ondes aux stations sismologiques : $M_s = 4,7$,
- par inversion du tenseur de moment à partir de données différentes en inversant les formes d'onde complètes, ce qui permet de prendre en compte le pattern de radiation des ondes de surface, utilisées pour calculer la magnitude. La prise en compte du pattern de radiation rend plus réaliste l'analyse par rapport à l'analyse des temps de première arrivée des ondes : M_w compris entre 5,02 et 5,22³.

Amorèse arrive à la conclusion que la magnitude du séisme de Jersey de 1926 peut être estimée de manière suffisamment robuste à partir des données instrumentales, tandis que le faible nombre d'enregistrements de bonne qualité fait obstacle à la possibilité d'estimer avec confiance une profondeur focale (fourchette comprise entre 2 et 14 km).

19/11/1927 : Bocage Normand (Flers)

numéro	Intensité épiscopentrale	I max	nombre d'observations
610009	VI (A)	VI (A)	586

L'épicentre de ce séisme très bien documenté se situe à 130 km au SSE du site.

Un ajustement sur une loi de Sponheuer conduit à une profondeur de 22 km.

3.2. SISMICITÉ INSTRUMENTALE

La figure [FIG-2.5.12](#) illustre la sismicité instrumentale enregistrée dans le Nord-Ouest de la France par le réseau du LDG.

On constate que dans un rayon de 100 km autour du site de Flamanville, 213 événements sont recensés et tous présentent une magnitude inférieure à 4. Seuls 24 séismes présentent une magnitude supérieure à 3.

3. En utilisant les stations de Zurich et Utrecht il obtient une valeur de M_w 5,02. En utilisant seulement la deuxième station il obtient M_w 5,22.

Ailleurs dans la région, la sismicité est diffuse et la majorité des séismes ont une magnitude inférieure à 3. Seule une dizaine de séismes a dépassé la magnitude $M_L = 4$.

Trois séismes ont une magnitude supérieure à 5, dont un se situe en Angleterre (13/05/1979), un autre au Sud de Brest (05/11/1982) et le plus connu étant le séisme de Lorient (30/09/2002) ([Réf \[56\]](#)), sur le cisaillement Sud-armoricain. C'est d'ailleurs sur cette zone cisailante que l'activité sismique s'avère être la plus importante.

Le contraste d'activité est très fort avec les bassins aquitain et parisien où la sismicité est quasi inexistante.

La sismicité instrumentale reste globalement à l'image de la sismicité historique, excepté en mer, où depuis l'existence des stations sismologiques, il est possible d'enregistrer les mouvements lointains. Toutefois, du fait de l'absence de stations en mer, il est probable qu'un certain nombre de séismes de faible magnitude ne pouvait pas être détecté.

3.3. NÉOTECTONIQUE

La base NéoPal ne fait pour l'instant mention d'aucun indice néotectonique dans la région de Flamanville, toutefois la bibliographie fait mention de certains mouvements tertiaires ou quaternaires.

3.3.1. Indices du Massif Armoricaïn

3.3.1.1. Presqu'île du Nord Cotentin

La faille de Jobourg constitue la limite Sud de la presqu'île du Nord Cotentin. Elle appartient à la zone varisque N°110E et présente localement des escarpements de plusieurs dizaines de mètres de haut. Un rejeu de cette faille a été envisagée au Plio-Quaternaire sur la base d'arguments géomorphométriques et sismotectoniques ([Réf \[31\]](#), [Réf \[50\]](#))

3.3.1.2. Plateau de La Pernelle

Le plateau de La Pernelle se situe au NE du Cotentin, à environ 25 km à l'Est de Cherbourg. Dans ce secteur, à la faveur de tranchées, un cordon littoral marin a été découvert en position surélevée à plusieurs cotes altimétriques (+114 et +90 m). « Il s'agirait d'une formation synchrone des sables dits pliocènes ou plus vraisemblablement du Quaternaire ancien. La position élevée de ce cordon littoral et son décalage par failles probables impliquerait l'existence de mouvements verticaux quaternaires » (Doré et al. 1977, ([Réf \[45\]](#))).

Concernant cet indice, les failles supposées responsables de ce décalage n'ont pu être directement observées, et ce décalage d'une vingtaine de mètres pourrait également s'expliquer par d'autres phénomènes (glissement gravitaire, remaniement,...).

3.3.1.3. Région d'Arromanches

Bassompierre et al. (1975) ([Réf \[36\]](#)) interprètent le pendage des couches du Bathonien inf. et la présence d'une faille cisailante dans la région d'Arromanches (à environ 25 km au NW de Caen), en liaison avec l'existence de directions de fractures importantes du socle : un rejeu isostatique se serait produit suivant la direction N120° et un cisaillement antépliocène suivant la direction N70° (sénestre). Selon les auteurs, la mobilité de cette dernière direction se serait manifestée au moins jusqu'au Flandrien (Quaternaire récent).

Cependant, il convient d'insister sur le fait qu'il n'existe pas de preuve directe d'un rejeu quaternaire de cet accident, l'hypothèse des auteurs étant basée sur une répartition complexe des terrains quaternaires : « il serait plus aisé de rendre compte de la répartition des formations quaternaires par un nouveau rejeu de cet accident ».

De plus, un rejeu sénestre selon une direction N70°E est difficilement compatible avec le champ de contraintes actuel.

3.3.1.4. Bassin de Carentan

La localité de Carentan se situe à environ 20 km au NW de Saint-Lô. Le bassin de Carentan, globalement d'orientation E-W, marque la limite entre la Normandie et le Cotentin. Pareyn ([Réf \[55\]](#)) relève plusieurs indices de néotectonique. Il montre que « l'axe Carteret-Montebourg au Nord et Coutances-Isigny a été le siège de vastes transgressions marines pliocènes et quaternaires. La communication entre le Golfe normano-breton et la baie de Veys a été interrompue au cours du Pléistocène par le relèvement de la côte NW du Cotentin, ce qui a entraîné la disparition de la couverture néogène, qui reste cependant conservée dans la dépression de Carentan ».

La position d'accidents à fort rejet est déduite d'arguments géologiques, comme par exemple, l'interruption brutale de la formation des marnes d'Aubigny. La formation de Pierrepont, attribuée au Pléistocène inf., constitue un dépôt de 80 à 100 m de puissance, localisé dans un sillon étroit considéré jadis comme une invasion de ria, mais interprétée par Pareyn comme une manifestation de tectonique pléistocène postérieure au dépôt.

En fait, toutes ces formations se seraient déposées sur une étendue beaucoup plus large que leur localisation actuelle, mais déblayées par l'érosion, seuls quelques lambeaux auraient été conservés à la faveur de rejeux récents de failles.

3.3.1.5. Vallée du Gesvres

Affluent de rive droite d'Erdre inférieure, le Gesvres est l'un des affluents de la Loire qui drainent le plateau situé au NW de Nantes. Se basant sur des critères morphologiques, sédimentologiques et hydrographiques, Bousquet et Sellier (1975) ([Réf \[40\]](#)) mettent en évidence le détournement du Gesvres et sa capture par un réseau hydrographique de direction NNW-SSE. Selon les auteurs, ce détournement aurait été provoqué par des rejeux d'accidents tectoniques de même orientation, d'âge Plio-Quaternaire.

3.3.1.6. Indice de Periers

Ce site est situé 47 km au Sud du site. Au niveau d'une sablière (sablière de la Lande de Millières) des déformations quaternaires sont observables. Elles correspondent à une série de failles normales subverticales, d'orientation WNW-ESE à NNW-SSE, à proximité des bordures de socle (Cambrien). Les failles affectent des sables estuariens et fluviaux (Quaternaire inférieur), piégés dans un étroit graben de plus de 40 m de profondeur. Selon les auteurs ([Réf \[34\]](#)), l'ensemble des observations permettrait d'attribuer une origine néotectonique aux déformations principales de Periers. Cependant, aucune structure sismogénique majeure n'est connue à l'aplomb du site.

3.3.2. Indices de la Manche

La Manche Orientale paraît s'être ébauchée au Pliocène, formant un sillon subsident dans lequel pénètre la mer redonienne ([Réf \[58\]](#)).

La formation du détroit du Pas-de-Calais à partir de la fin du Pléistocène inférieur ne paraît pas être liée à un phénomène purement climatique.

Etant donné le contraste entre la subsidence marquée de la Manche orientale tout au long du Paléogène (près de 500 m de sédiments accumulés de l'Yprésien au Bartonien) et la tendance à la surrection de la Somme et la Picardie dès la fin du Paléocène, Colbeaux et al. ([Réf \[44\]](#)) proposent de rattacher la formation du détroit du Pas-de-Calais à l'influence d'une zone faillée du Pas de Calais qui aurait induit une structure de graben dans la couverture. D'autres explications purement géomorphologiques sont aussi proposées pour expliquer l'ouverture du détroit.

Dans le reste de la Manche, comme dans toute mer, les indices néotectoniques sont difficiles à relever. On a néanmoins observé du Miocène vertical à l'île de Wight ; de la tectonique récente aurait donc affecté cette région.

Ces éléments montrent que le Massif Armoricaïn a été le siège de mouvements « récents ». Ces mouvements, qui restent d'ampleur modeste, sont attestés par l'exhaussement général du massif et la

subsidence de petits bassins sédimentaires le long d'accidents préexistants. Aucun indice néotectonique ne peut être attribué avec certitude au Quaternaire. Il n'existe pas de faille active ayant pu être étudiée directement. Le rejeu récent des failles est déduit d'observations géologiques indirectes et aucune datation précise des mouvements n'a pu être réalisée.

3.4. DÉCOUPAGE SISMOTECTONIQUE

La sismicité du Massif Armoricaïn est modérée et les épïcètres présentent une répartition assez diffuse, sans grande corrélation avec les accidents structuraux de la région. La sismicité a cependant tendance à être plus importante dans la partie méridionale où la fréquence des événements est la plus forte. Toutefois, selon Arroucau ([Réf \[33\]](#)), les séismes apparaissent plus nombreux et plus densément distribués dans les zones où l'épaisseur crustale, déduite de l'interprétation des cartes d'anomalies gravimétriques, est de l'ordre de 34 km.

Globalement, les séismes qui se produisent dans la région affichent très rarement des magnitudes supérieures à 5.

Les zones sismotectoniques susceptibles de générer un séisme dimensionnant pour le site de Flamanville sont les suivantes (voir figure [FIG-2.5.9](#)) :

- La zone Manche (1),
- La zone Domnonéen (2),
- La zone Mancellien (ou Cadomien allochtone) (3),
- La zone Cadomien autochtone (4),
- La zone Centre-Armoricaïn (5),
- La zone Seine (6),

La famille d'accidents NNW-SSE, englobant les failles de Nort-sur-Erdre/St-Brieuc (ou faille de Quessoy), la faille de Chateaubriand/St-Malo, la faille de Vitré/Segré (ou faille d'Avranches) et la faille de Mayenne.

3.4.1. Zone Sismotectonique Manche (1)

Cette zone correspond à un domaine marin, limité au Nord par le chevauchement de Lizard-Start Point, et au Sud par l'accident Aurigny-Ouessant.

La structure de la Manche occidentale et centrale a pu être précisée en partie par les profils sismiques SWAT (voir figure [FIG-2.5.10](#)). Le bassin de Manche occidentale dessine un périsynclinal de Crétacé supérieur-Tertiaire. Son flanc Nord remonte en pente douce, et son flanc Sud est accidenté par un faisceau d'accidents de direction ENE-WSW (Faille d'Aurigny-Ouessant) qui s'étend jusqu'en Manche centrale. Ce faisceau est lui-même bordé, au Nord-Ouest, par une anomalie magnétique majeure.

Du fait de sa localisation en mer, on dispose de peu de données historiques ou instrumentales précises s'y rattachant.

D'après Lagarde et al. (2003) ([Réf \[51\]](#)), malgré la faible sismicité de la zone, la Manche est susceptible d'être le siège de séismes de magnitude supérieure à 5.2 avec une période de retour de 100 ans.

On retiendra donc de façon conservatrice comme séismes de référence de la zone sismotectonique Manche les séismes du 5/11/1734, d'intensité épïcentrale VI MSK, et du 30/05/1889, d'intensité épïcentrale VI-VII MSK (majoration de un demi degré MSK par rapport à la base Sisfrance pour prendre en compte les incertitudes liées à son positionnement en mer).

3.4.2. Zone Sismotectonique « Domaine Domnonéen » (2)

C'est le domaine du site de Flamanville.

Une grande partie de ce domaine est immergée et n'est pas connue avec autant de détails que les parties émergées.

Il est délimité au Nord par l'accident Aurigny-Ouessant et au Sud par la faille de Coutances. Il présente certaines caractéristiques particulières :

- il est essentiellement constitué de Briovérien inf. de nature volcanogénique,
- il a subi des conditions de métamorphisme et de déformations plus intenses durant le cycle cadomien,
- les phénomènes de granitisation ont eu une ampleur moindre, excepté dans la presqu'île de la Hague.

Une majorité des séismes de ce domaine sont situés pour une part en mer dans le secteur de Jersey / Guernesey, et pour l'autre part à proximité de la Zone de Cisaillement Nord-Armoricaine (ZCNA). Il ne semble pas exister pour autant de structure prépondérante à l'intérieur de ce domaine, il sera donc considéré comme domaine tectonique surfacique.

Les séismes historiques les plus importants atteignent l'intensité VI-VII MSK dans la base SISFRANCE : séismes des 01/04/1853 et 30/07/1926, pour lesquels nous considérons par conservatisme une intensité épiscopale de VIII MSK, pour couvrir les incertitudes liées à leur épiscopale en mer.

3.4.3. Zone Sismotectonique « Domaine Mancellien (Cadomien allochtone) » (3)

Ce domaine est situé au Sud-Est de la précédente zone et est donc limité au Nord par la faille de Coutances et au Sud par la ZCNA (branche Nord).

Le Domaine Mancellien présente quelques singularités par rapport au Domaine Domnonéen :

- il est constitué essentiellement de Briovérien sup. (flysch briovérien terrigène),
- il a subi des conditions de métamorphisme et de déformations modérées durant le cycle cadomien,
- l'histoire cadomienne s'est achevée par une importante phase d'anatexie, avec mise en place d'un important batholite granodioritique,
- il a été peu réactivé pendant l'orogénèse hercynienne.

Il correspond à une zone de socle recoupée par des contacts anormaux, visibles dans les profils de sismique grand angle prolongeant le profil ECORS Nord de la France (voir figure [FIG-2.5.11](#)).

En effet, le Sud de la faille de Bray est caractérisé par un contraste entre la croûte supérieure relativement transparente et la croûte inférieure très réfléchive. Cette limite n'est pas horizontale et certains auteurs ([Réf \[52\]](#)) interprètent l'ensemble des réflecteurs comme un chevauchement majeur qui constituerait la base d'une unité allochtone représentée par les terrains précambriens du bloc mancellien. Cette unité chevauchante constituerait la nappe de Bray.

Il est caractérisé par une sismicité historique assez diffuse, dont le séisme le plus important (séisme du 30/12/1775) a atteint l'intensité VII MSK.

3.4.4. Zone Sismotectonique « Domaine Cadomien autochtone » (4)

Ce domaine est situé au Sud-Est de la précédente zone et est donc limité au Nord par le ZCNA (branche Nord) et au Sud par la branche Sud de la ZCNA.

Le bloc cadomien autochtone correspond à une série en place recoupée par les cisaillements verticaux ductiles tardi-hercyniens de la ZCNA.

Contrairement au précédent bloc cadomien, ce domaine a une sismicité réduite, tant sur le plan historique qu'instrumental.

3.4.5. Zone Sismotectonique « Domaine Centre-Armoricain » (5)

C'est une zone complexe, limitée au Nord par la zone de cisaillement nord-armoricaine ZCNA et au Sud par la faille de Nort-sur-Erdre/Thouarcé (ou faille de Nort-sur-Erdre / Doué-la-Fontaine).

Elle se caractérise par des déformations d'âge hercynien parsemées d'intrusions granitiques. Elle est, en effet, dominée par des structures d'orientation WNW-ESE à E-W, bien visibles dans les zones d'affleurement du socle et par de petites failles normales d'orientation NNW-SSE.

La croûte supérieure y est essentiellement métamorphique avec une foliation à pendage Sud. Quelques batholites granitiques recoupent ces séries métamorphiques.

Cette zone sismotectonique englobe la faille sismogène de Quimper-Angers.

Il s'agit d'une zone de sismicité historique diffuse. Les séismes maximaux potentiels de cette zone sont des séismes d'intensité VII MSK (1497, 1706, 1888). De même, nous rattacherons également le séisme du 15/02/1657 qui est très mal connu et que l'on attribue également à la faille de Quimper-Angers.

3.4.6. Zone Sismotectonique Seine (6)

C'est la zone qui correspond au système de failles de la Seine et à la moitié Nord de la grande anomalie magnétique du Bassin de Paris qui pourrait correspondre à un grand couloir de cisaillement lors de la fin de l'orogénèse hercynienne et qui correspondrait à un sillon légèrement subsident au Lias puis au Pliocène.

Peu d'épicentres de séismes historiques sont localisés à l'intérieur de ce domaine, on y rattachera cependant le séisme du 01/12/1769 d'intensité épiscopale VI-VII MSK.

3.4.7. Famille d'accidents NNW-SSE

Dans le Massif Armoricain, la notion de famille d'accidents pourrait s'appliquer à certaines failles de direction NNW-SSE.

Cette famille comprendrait les failles affectant le socle suivantes (voir figure [FIG-2.5.9](#)) :

- Faille de Nort-sur-Erdre/St-Brieuc ou faille de Quessoy,
- Faille de Chateaubriand/St-Malo,
- Faille de Vitré/Segré,
- Faille de Mayenne.

Ces failles ne correspondent pas en fait à une fracture unique et continue, mais plutôt à une succession de petites fractures (entre 10 et 20 kilomètres de long) en recouvrement, et présentant souvent un décalage vers l'Ouest.

3.4.7.1. Faille de Quessoy

La faille de Quessoy ou faille de Nort Sur Erdre – Saint Brieuc ne présente pas de signature continue en surface. C'est à partir de l'alignement de petits bassins tertiaires coïncidant avec une série d'anomalies gravimétriques qu'elle a été déduite ([Réf \[48\]](#)). « Elle traverse toute la Bretagne du Nord au Sud, sur une distance de 300 à 400 km, depuis l'Est de l'île de Bréhat où elle longe la côte jusqu'en Baie de St-Brieuc, jusqu'à la Loire dans la région de Champtoceaux. » ([33]).

Elle constitue la limite entre le bloc Ouest et les blocs Est et Centre du Massif Armoricain ([Réf \[53\]](#)). Cet accident est l'expression de la fracturation post-hercynienne. Il présente les signes d'une activité

tectonique tertiaire et peut-être quaternaire. Le rejet total est faible, comparé à la période d'activité supposée (plusieurs millions d'années).

Cette faille marque la différence entre une sismicité plus importante à l'Ouest et une sismicité plus faible à l'Est. Tout comme le Cisaillement Sud-Armoricain, cette faille est jalonnée de petits essais sismiques ([Réf \[33\]](#)). Toutefois, les magnitudes affichées par ces séismes sont plus faibles que celles des séismes de la ZCSA, de magnitudes supérieures ou égale à 3.5. Ceci peut probablement s'expliquer par les contrastes rhéologiques plus importants de part et d'autre de la ZCSA, offrant ainsi une possibilité de propagation de rupture sur une plus grande longueur de faille ([Réf \[33\]](#)).

Le séisme que nous retiendrons pour cette faille celui du 15/05/1888 d'une intensité épiscopale VI MSK. Le séisme du 30/08/1975, de magnitude ML = 4.2, a eu lieu sur la partie septentrionale de la faille. Cependant, ce séisme dispose d'un mécanisme au foyer ([Réf \[23\]](#)) qui indique qu'il est davantage lié au système de failles E-W, situé juste à l'Ouest de la faille ; il serait donc plutôt attribué au domaine domnonéen. Nous ne le rattacherons donc pas à la faille de Quessoy.

3.4.7.2. Faille de la Mayenne

La Faille de la Mayenne est également une ancienne faille hercynienne soulignée par une anomalie gravimétrique ([Réf \[47\]](#)). Elle s'étend de la branche centrale de la ZCNA jusqu'à sa rencontre avec la faille de St-Sever ([Réf \[35\]](#)). Il s'agit d'une anomalie topographique N170°E qui guide le cours inférieur de la Vire ([Réf \[35\]](#), [Réf \[50\]](#), [Réf \[54\]](#)). Elle joue un rôle morphostructural en constituant la bordure orientale des fossés de Céaucé et de Gilles-des-Marais, remplis de sédiments éocènes à plio-quaternaires. Etant indépendante de la lithologie, cette anomalie peut s'interpréter en terme de mouvements verticaux d'origine tectonique ([Réf \[35\]](#)). Toutefois, contrairement à la faille de Quessoy, aucun séisme historique ne semble rattaché à cette faille, qui par conséquent, ne peut se justifier en terme de zone sismotectonique. Si, comme Lagarde et al. (2000) ([Réf \[50\]](#)), une sismicité lui était attribuée, il semblerait que ce soit davantage liée à l'activité de la faille de Vire, qui se trouve dans le prolongement Nord de la faille de la Mayenne ([Réf \[35\]](#)).

3.4.7.3. Conclusion sur la famille d'accidents NNW-SSE

Ces accidents présentent plusieurs particularités, qui conduiraient à leur appliquer la notion de famille d'accidents :

- même orientation, sensiblement NNW-SSE, dans un champ de contraintes homogène à grande échelle,
- certains éléments attestent de leur activité récente (tertiaire) : au niveau géologique, des sédiments tertiaires ont été préservés à leur niveau attestant du rejeu tardif de ces accidents,
- les données de sismicité instrumentale semblent montrer des alignements parallèles à leur direction (cependant sans se calquer sur leur position).

Il existe dans le Massif Armoricain, bien d'autres failles tardi-hercyniennes de même direction, qui auraient également rejoué ultérieurement. Nous limitons cependant arbitrairement cette notion aux failles principales marquées par des bassins tertiaires. L'absence de ces bassins sur les autres structures de même direction, correspondrait soit à une activité tectonique moindre, soit à l'absence ou disparition des terrains de couverture.

On retiendra pour cette famille d'accidents NNW-SSE un séisme de référence correspondant au séisme du 15/05/1888 d'intensité VI MSK, qui apparaît comme étant le plus pénalisant.

4. SYNTHÈSE SISMOTECTONIQUE

4.1. DÉTERMINATION DU SÉISME MAXIMUM HISTORIQUEMENT VRAISEMBLABLE

Pour chacune des zones sismotectoniques, nous retiendrons le séisme le plus pénalisant en terme d'intensité induite sur le site afin de déterminer le niveau sismique dimensionnant.

La synthèse sismotectonique est présentée dans le tableau [TAB-2.5.3](#).

Les séismes les plus pénalisants en terme d'intensité induite sur le site sont les séismes du 01/04/1853 et du 30/07/1926, situés dans le domaine du site, à l'Ouest du Cotentin. Ils peuvent donc être translatés à la verticale du site et sont donc susceptibles de causer des désordres de l'ordre de VII MSK.

Les caractéristiques des SMHV sont par conséquent les suivantes :

	01/04/1853	30/07/1926
Intensité épacentrale	VII MSK	VII MSK
Magnitude (M_L)	5.4	5.2
Profondeur	18 km	13 km

4.2. DÉTERMINATION DU SÉISME MAJORÉ DE SÉCURITÉ

Les caractéristiques des SMS sont par conséquent les suivantes :

	01/04/1853	30/07/1926
Intensité épacentrale	VIII MSK	VIII MSK
Magnitude (M_L)	5.9	5.7
Profondeur	18 km	13 km

4.3. SPECTRES DE SOL

Les spectres de sols sont calculés par les lois d'atténuation spectrales établies par l'IRSN, dans le cadre de la RFS 2001-01 ([Réf \[59\]](#)), en considérant que la magnitude M_L est égale à la magnitude M_S .

Les coefficients retenus sont ceux d'un « sol dur » ($V_S \leq 800$ m/s), conformément aux vitesses de cisaillement mesurées par les essais in-situ sur les trente premiers mètres ($V_{S30} > 2500$ m/s dans le granite).

Les effets de site sont supposés négligeables compte tenu du contexte rocheux du site, de la stratigraphie et de la topographie du batholite granitique de Flamanville.

Les spectres de réponses associés aux SMHV et aux SMS sont illustrés par la figure [FIG-2.5.13](#).

Le SMS (Séisme Majoré de Sécurité) du site conduit à une accélération horizontale au sol de 0,16 g (avec les caractéristiques du séisme de 1926). En ce qui concerne l'accélération verticale, on retient classiquement les 2/3 de l'accélération horizontale.

LISTE DES REFERENCES

[1] S. BAIZE et al. (2002) Inventaire des indices de rupture affectant le Quaternaire. Mém. de la Soc. Géol. De France, HS, 2002, n° 175.

[2] P. BASSOMPIERRE et al. (1968) Observations tectoniques dans la région d'Arromanches. Bull. de la Soc. Linéenne de Normandie, série 10, n° 9.

[3] A. BITRI et al. (1996) Structure crustale du bloc cadomien de Bretagne Nord (France) : sismique réflexion verticale et sondage magnétotellurique (projet Géofrance 3D - Armor) C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes, 1997, 325, pp. 171-177

[4] J.P. BLAIS (1996) Etude de la sismicité historique du Nord Cotentin Rapport EDF-EFT-GG-94.100C du 14/02/1996

[5] C. BOIS, O. GARIEL, J.C. SIBUET [coordinateurs] (1991) Programme ECORS / Etude de la croûte terrestre par sismique profonde / Mer Celtique - Manche et ses approches occidentales (Profils SWAT et WAM). Mém. SGF, 1991, n°159

[6] S. BONNET (1998) Tectonique et dynamique du relief : Le socle armoricain au Pléistocène Université de Rennes, Thèse

[7] P. BOUSQUET, D. SELIER (1975) Le rôle de la néotectonique dans le tracé de la vallée du Gesvres Norois, 87, pp. 466-473

[8] M. CAZES et G. TORREILLES [coordinateurs] (1988) Programme ECORS / Etude de la croûte terrestre par sismique profonde / Profil Nord de la France Ed. Technip, 1988

[9] J.J. CHAUVEL, M. ROBARDET, J.P. LEFORT (1980) Géologie des pays européens / Massif Armoricaïn Ed. Dunod, 1980

[10] J. COGNE (1974) Géologie de la France / Le Massif Armoricaïn J. Debelmas, Ed. Doin, t. 1, pp. 105-161

[11] J.P. COLBEAUX et al. (1980) Le détroit du Pas de Calais : un élément dans la tectonique de blocs de l'Europe nord-occidentale. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, vol. 4, pp. 41-54.

[12] L. COLLIN (1928) Tremblement de terre du 30 juillet 1926. Bull. Soc. Géol. et Min. de Bretagne, 1928, tome IX, fasc. 1-2-3-4, pp. 45-57 Géologie de la France, Ed. Doin - 1974

[13] F. DORE et al. (1977) Guide géologique de la Normandie Collection Guides géologiques régionaux. Ed. Masson.

[14] S. DURAND et J. ESTEOULE-CHOUX (1977) Sédimentation tertiaire et tectonique dans le Massif Armoricaïn 5ème Réunion. Ann. Sc. Terre, Rennes, pp. 212

[15] M. GAUTIER (1970) Des failles quaternaires sur la côte du pays de Retz (Loire-Atlantique) Bull. Ass. Géographes, 381, pp. 155-163

[16] B. GRELLET, P. COMBES, T. GRANIER et H. PHILIP (1992) Sismotectonique de la France métropolitaine. Mém. SGF, n° 164, 1993

[17] GRESSELIN (1990) Evolution varisque du Massif Armoricaïn Oriental Thèse, Université de Caen

[18] Y. GROS, O. LIMASSET (1984) Déformations récentes dans les socles cristallins. Exemple du Massif Armoricaïn Documents du B.R.G.M. n° 84

[19] C. LE CORRE et al. (1991) Les Massifs anciens de la France / Le Massif Armoricaïn Sciences géologiques Bull., tome 44, fascicule 1-2

[20] J.P. LEFORT (1975) Le socle periarmoricaïn / Etude géologique et géophysique du socle submergé à l'ouest de la France Thèse, Université de Rennes

[21] N. LENOTRE et al. (1997) Two comparative levelling methods for demonstrating current vertical movement and their application to Brittany (France) - Submitt to Tectonophys.

[22] G. LEROUGE, P. FREYTET (1988) Le Sud-Est du Massif Armoricaïn et le Nord-Ouest du Massif Central / Essai de reconstitution de la néotectonique par l'analyse structurale et géomorphologique. Géologie de la France, n°4, 1988*

[23] A. LEVRET, J.C. BACKE et M. CUSHING (1994) Atlas of macroseismic maps for French earthquakes with their principal characteristics. Natural Hazards, 10, pp. 19-46.

[24] C. PAQUIN et al. (1978) Mesures directes des contraintes tectoniques en France septentrionale. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), XX(5), pp. 727-731.

[25] C. PAREYN (1980) Mise en évidence d'une activité néotectonique pliocène et quaternaire dans le Cotentin, le bassin de Carentan et le Bessin (Manche et Calvados). Bull. Soc. Géol. Fr., 1980, n°4

[26] S. REBAÏ et al. (1992) Modern tectonic stress field in the Mediterranean region : evidences for stress deviations at different scale. Geophys. J. Int., 110, pp. 106-140.

[27] J. ROUX, S. LE BOURHIS, J. DALBERA (1995) Etude sismotectonique de La Hague Rapport COGEMA/BU/DRM - Section Géophysique

[28] B. VAN VLIET-LANOË et al. (1997) Le Mio-Pliocène du Massif Armoricaïn. Données nouvelles. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes, 1998, 326, pp. 333-340

[29] J.L. VIGNERESSE (1986) La fracturation post-hercynienne du Massif Armoricaïn d'après les données géophysiques. Géologie de la France, n°4, 1988

[30] R. WYNS (1977) Tectonique récente dans l'ouest du Bassin Parisien. Méthodes d'étude et bilan des déformations plio-quaternaires. Bull. Soc. Géol. Fr., vol. 5, pp. 1093-1103

[31] AMORESE, D., LAGARDE, J.-L. ET E. LAVILLE (1999). A point pattern analysis of the distribution of earthquakes in Normandy (France). Bull. Seism. Soc. Amer., 89, p. 742-749.

[32] AMORESE, D., WALKER, A., LAGARDE, J.-L., SANTOIRE, J.-P., VOLANT, P., FONT, M. ET M. LECORNU (2000). New sismotectonic data from an intraplate region : focal mechanisms in the Armoricaïn Massif (northwestern France). Geophys. J. Int., 143, p. 837-846.

[33] ARROUCAU, P. (2006). Sismicité du Massif Armoricaïn : relocalisations et interprétation tectonique. Thèse, Université de Nantes, 190p.

[34] BAIZE, S., CUSHING, M., LEMEILLE, F., GRANIER, T. ET B. GRELLET (2002). Inventaire des indices de rupture affectant le Quaternaire. Mém. de la Soc. Géol. De France, HS, 2002, n° 175.

[35] BAIZE, S. (1999). Tectonique, eustatisme et climat dans un système géomorphologique côtier. Le Nord-Ouest de la France au Plio-Pléistocène, exemple du Cotentin (Normandie). Doc. BRGM, 289, 366p.

[36] BASSOMPIERRE, P. ET AL. (1968). Observations tectoniques dans la région d'Arromanches. Bull. de la Soc. Linéenne de Normandie, série 10, n° 9.

[37] BITRI, A., BRUN, J.-P., TRUFFERT, C. ET P. GUENNOG (2001). Deep seismic imaging of the Cadomian thrust wedge of Northern Brittany. Tectonophysics, 331, p. 65-80.

[38] BITRI, A., BRUN, J.-P., CHANTRAINE, J., GUENNOG, P., MARQUIS, G., MARTHELOT, J.-M., PERRIN, J., PIVOT, F. ET TRUFFERT, C. (1997). Structure crustale du bloc cadomien de Bretagne Nord(France) : sismique réflexion verticale et sondage magnétotellurique (projet Géofrance 3D-Armor). C.R. Acad. Sci. Paris, 325, p.171-177.

[39] BONNET, S., GUILLOCHEAU, F., BRUN, J.-P. ET J.V. D. DRIESSCHE (2000). Large-scale relief development related to Quaternary tectonic uplift of a Proterozoic-Paleozoic basement : The Armorican Massif, NW France. J. Geophys. Res. , 105, p.19273-19288.

[40] BOUSQUET, P. ET D. SELLIER (1975). Le rôle de la néotectonique dans le tracé de la vallée du Gesvres. Norois, 87, p.466-473.

[41] BRUN, J.-P., GUENNOG, P., TRUFFERT, C., VAIRON, J. (2001). Cadomian tectonics in northern Brittany : a contribution of 3-D crustal-scale modelling. Tectonophysics, 331, p. 229-246.

[42] CHANTRAINE, J., CHAUVEL, J.-J., BALE, P., DENIS, E. ET D. RABU (1988). Le Briovérien (Protérozoïque supérieur à terminal) et l'orogénèse cadomienne en Bretagne (France). Bull. Soc. Géol. Fr., IV(5), p. 815-829.

[43] CHANTRAINE, J., EGAL, E., THIEBLEMONT, D., LE GOFF, E., GUERROT, C., BALLEVRE, M. ET GUENNOG, P. (2001). The cadomian active margin (North Armorican Massif, France) : a segment of the North Atlantic Panafrican belt. Tectonophysics. 331, p. 1-18.

[44] COLBEAUX, J.-P., DUPUIS, C., ROBASZINSKI, F., AUFFRET, J.-P., HAESAERTS, P. ET J. SOMME (1980). Le détroit du Pas de Calais : un élément dans la tectonique de blocs de l'Europe nord-occidentale. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, 4, pp. 41-54.

[45] DORE, F. ET AL. (1977). Guide géologique de la Normandie. Collection Guides géologiques régionaux. Ed. Masson.

[46] GALDEANO, A., ASFIRANE, F., TRUFFERT, C., EGAL, E. ET N. DEBEGLIA (2001). The aeromagnetic map of the French Cadomian belt. Tectonophysics, 331, p.99-122.

[47] M. J. GRAINDOR (1967). Les dislocations majeures du socle armoricain. In : Contribution de la carte gravimétrique à la géologie du Massif Armoricain. Mém. BRGM 52.

[48] J.L. JAEGER (1967). Un alignement d'anomalies légères coïncidant avec des bassins tertiaires en Bretagne. Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne, 52, p. 91-102.

[49] JUDENHERC, S ; GRANET, M., BRUN, J.-P., POUPINET, G., PLOMEROVA, J., MOCQUET, A. ET ACHAUER, U. (2002). Images of lithospheric heterogeneities in the Armorican segment of the Hercynian Range in France. Tectonophysics, 358, p. 121-134.

[50] LAGARDE, J.-L., BAIZE, J., AMORESE, D., DELCAILLAU, B., FONT, M. ET P. VOLANT (2000). Active tectonics, seismicity and geomorphology with special reference to Normandy (France). Journal of Quaternary Science, 15 (7), p.745-758.

[51] LAGARDE, J.-L., AMORESE, D., FONT, M., LAVILLE, E. ET O. DUGUE (2003). The structural evolution of the English Channel area. Journal of Quaternary Science, 18 (3-4), p.201-213.

[52] MATTE, PH. ET A. HIRN (1988). Généralités sur la chaîne varisque d'Europe, coupe complète de la chaîne sous l'Ouest de la France. Programme ECORS Profil Nord de la France, 2^e édition Technip.

[53] MAZABRAUD, Y., BETHOUX, N. ET S. DEROUSSI (2005). Characterisation of the seismological pattern in a slowly deforming intraplate region : Central and Western France. Tectonophysics, 409, p. 175-192.

[54] MAZABRAUD, Y., BETHOUX, N., GUILBERT, J. ET O. BELLIER (2005). Evidence for short scale stress field variations within intraplate central-western France. Geophys. Journal Intern., 160, p. 161-178.

[55] PAREYN, C. (1980). Mise en évidence d'une activité néotectonique pliocène et quaternaire dans le Cotentin, le bassin de Carentan et le Bessin (Manche et Calvados). Bull. Soc. Géol. Fr., 1980, n°4

[56] PERROT, J., ARROUCAU, P., GUILBERT, J., DEVERCHERE, J., MAZABRAUD, Y., ROLET, J., MOCQUET, A., MOUSSEAU, M. ET MATIAS, L. (2005). Analyof the Mw 4.3 Lorient earthquake sequence : a multidisciplinary approach to the geodynamics of the Armorican Massif, westernmost France. Geophys. J. Int., 162, p.935-950.

[57] TRUFFERT, C., EGAL, E., LE GOFF, E., COURRIOUX, G. ET P. GUENNOG (2001). Gravity modellings of the Cadomian active margin of northern Brittany. Tectonophysics, 331, p.81-97.

[58] WYNS, R. (1977). Tectonique récente dans l'ouest du Bassin Parisien. Méthodes d'étude et bilan des déformations plio-quaternaires. Bull. Soc. Géol. Fr., 5, pp. 1093-1103

[59] IRSN (2000). Méthode de détermination des spectres horizontaux et verticaux adaptés au site dans le cadre de la R.F.S.I.2.c (Novembre 2000). DPRE/SERGD n°00-53.

[60] SALEEB-ROUFAIEL.G (1962) Contribution à l'étude du gisement ferrifère de Diélette (Sciences de la Terre – Mémoire n°2 – 184 pages – Nancy)

[61] AMBRASEYS N.N. (1985a) Magnitude assessment of Northwestern European earthquakes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 13 pp. 307-320.

[62] AMBRASEYS N.N. (1985b) Intensity attenuation and magnitude-intensity relationships for Northwestern European earthquakes. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 13 pp. 733-778.

[63] AMBRASEYS N.N. (1988) Engineering Seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 17, Issue 1 pp. 1-105.

[64] AMORESE D., M. FONT et J. LAGARDE (2010) Source of parameters of the 30 July 1926 and 17 February 1927, Jersey (English Channel) earthquakes from historical and seismological data. Abstract n. ES4/Mo/O4, European Seismological Commission 32nd General Assembly, September 6-10, Montpellier, France.

[65] AMORESE D., A., WALKER, J-L. LAGARDE, J-P. SANTOIRE, P. VOLANT, M. FONT et M. LECORNU (2000). New seismo-tectonic data from an intraplate region : focal mechanisms in the armorican massif (northwestern France). Geophys. J. Int., 143, 837-846.

[66] AMORESE D. (submitted, 2011) Source parameters of the 30 July 1926 and February 1927, Jersey (English Channel) earthquakes from historical, instrumental and macroseismic data. Submitted to Geophys. J. Int.

[67] GUTENBERG B. et C.F. RICHTER (1942) Earthquake, Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. Bull. Seism. Soc. Am., vol 32 n. 3 pp. 163-191.

[68] KARNIK V. (1969) Seismicity of the European Area – Part 1. Czechosl

[69] KARNIK V. (1996) Seismicity of Europe and the Mediterranean. StudiaGeo s. s r.o. and Geophysical Institute Praha, edited by Karel Klima.

[70] LEVRET A., M. CUSHING et G. PEYRIDIEU (1996) Etude des caractéristiques des Séismes Historiques en France. Atlas de 140 cartes macrosismiques, 399 pp.

[71] MOURANT A.E. (1931) Earthquakes of the Channel islands and neighboring countries. A seismological and historical account, Société Jersiaise, pp. 1-56.

[72] ROTHE J.P. et P. PETERSCHMITT (1960) Catalogue des sécousses d'intensité égale ou supérieure à 6 (1901-1955), 10pp.

TAB-2.5.1 CARACTÉRISTIQUES DES SÉISMES HISTORIQUES D'INTENSITÉ ÉPICENTRALE SUPÉRIEURE À VI MSK (EXTRACTION DANS UN CARRÉ DE 600 KM DE CÔTÉ CENTRÉ SUR LE SITE)

NUMEVT	Int	Jour	Mois	année	Xlamb	Ylamb	QI	QP	QD	dist/site(km)	E : lieux épicentre
370008	7,5	11	3	1704	479,2	2217,9	E	E	A	PLATEAU DE SAINTE-MAURE (LIGUEIL ?)	334
440015	7,5	25	1	1799	262,5	2228,1	K	C	A	MARAIS BRETON (BOUIN)	274
860004	7,5	6	10	1711	425,9	2217,4	B	B	A	LOUDUNOIS (LOUDUN)	309
1150001	7,5	21	5	1382	576,4	2704,7	C	D	A	MER DU NORD (N-E. DEAL ?)	344
1150004	7,5	6	4	1580	541,1	2667,8	C	D	A	MANCHE (DETROIT DE CALAIS-DOUVRES)	294
1150007	7,5	22	4	1884	499,3	2757,7	B	D	A	ESSEX (COLCHESTER-PELDON)	326
140007	7	30	12	1775	405,1	2466,5	B	B	A	PLAINE DE CAEN (CAEN)	110
290030	7	2	1	1959	126,9	2345,1	B	A	A	CORNOUAILLE (MELGVEN)	232
360008	7	5	7	1841	519,8	2215,4	A	B	A	BRENNE (CHATILLON-SUR-INDRE)	360
490019	7	14	5	1497	394,1	2288,8	C	D	A	BASSE-VALLEE DU LOIR (TIERCE)	231
490033	7	14	1	1663	364,1	2221,7	E	E	B	BOCAGE VENDEEN (CHATILLON-SUR-SEVRES ?)	286
490035	7	7	9	1706	453,6	2259,2	C	D	A	VALLEE DE LA LOIRE (LANGEAIS)	286
560001	7	30	8	1286	216,8	2306,9	C	E	A	VANNETAIS (VANNES)	210
560027	7	9	1	1930	214,9	2316,3	A	A	A	LANDES DE LANVAUX (MEUCON)	202
1150106	7	11	9	1275	246,6	2693,6	E	E	A	SOMERSET (GLASTONBURY)	201
440007	6,5	13	3	1708	424	2231	E	E	A	LOUDUNOIS ?	296
490023	6,5	25	3	1588	382,1	2270,7	C	D	A	VAL D'ANJOU (ANGERS)	244
500023	6,5	1	4	1853	313,2	2456,6	B	B	A	BOCAGE NORMAND (COUTANCES)	45
760019	6,5	1	12	1769	489,3	2542,2	A	B	A	PAYS DE CAUX (VEULES)	194
1150020	6,5	30	7	1926	274,8	2466,8	B	B	A	JERSEY	42
1150046	6,5	19	3	1750	429,1	2727,8	B	B	A	LONDRES	262
1150102	6,5	5	3	1752	165,2	2637,5	C	D	A	DEVON (DARTMOOR)	193

LEGENDE :

NUMEVT : numéro événement du séisme

Xlamb : coordonnée X Lambert II étendu

Ylamb : coordonnée Y Lambert II étendu

Int : intensité épicentrale dans l'échelle MSK 64 (7.0 = VII , 7.5 = VII-VIII)

QI : indice de qualité concernant la valeur de l'intensité épicentrale (cf. Tableau 2)

QP : indice de qualité concernant la localisation de l'épicentre (cf. Tableau 2)

QD : indice de qualité concernant la date de événement (cf. Tableau 2)

dist / site-E : distance de l'épicentre au site (en km) – Site : x= 294 y= 2513

TAB-2.5.2 INDICES DE QUALITÉ UTILISÉS DANS LA BASE DE SISMICITÉ HISTORIQUE SISFRANCE

	QI	QP		QD
A	sûre	très fiable	avec	bon
B	assez sûre	fiable	isoséistes	moyen
C	incertaine	incertaine		douteux
D		probable	sans	
E	présumée	présumée	isoséiste	
I	ponctuelle	ponctuelle		
K	calculée			

Remarque : « probable » est utilisé dans le sens vraisemblable, et « présumé » dans le sens de supposé.

TAB-2.5.3 SYNTHÈSE SISMOTECTONIQUE DES SÉISMES DE RÉFÉRENCE POUR LE SITE DE FLAMANVILLE.

Zone sismotectonique	Séisme de référence	I_0 (MSK)	M	H[km]	Méthode *	R [km]	I_{site} (MSK)
Manche (1)	05/11/1734	VI à VII	5.5	19	(1 – a,b)	25	V-VI
	30/05/1889	VI à VII	5.4	18	(1 – a,b)		VI
Domnonéen (2)	01/04/1853	VII	5.4	18	(1 – a,b)	0	VII
	30/07/1926	VII	5.2	13	(1 – a,b)		VII
	30/08/1975	V-VI	4.2	7	(2)		V-VI
	05/08/1909	VI	5.2	20	(1 – a,b)		VI
Mancellien (3)	30/12/1775	VII	5.3	14	(1 – a,b)	60	V
Cadomien autochtone (4)	02/01/1827	VI	4.9	15	(3)	150	II-III
Centre-Armoricain (5)	15/05/1888	VI	5.1	20	(1 – a,b)	142	III
	14/05/1497	VII	5.0	11	(1 – b)		III-IV
	07/09/1706	VII	5.0	9	(1 – b)		III
	15/02/1657	VI	4.5	8	(3)		II
Seine (6)	01/12/1769	VI-VII	5.0	13	(1 – a,b)	140	III-IV
Famille d'accidents NNWSSE	15/05/1888	VI	5.1	20	(1 – a,b)	104	III-IV

I_0 : intensité épiscopentrale,
 M : magnitude,
 H : profondeur,
 R : distance après transfert,
 I_s : intensité induite sur le site
 PGA : accélération maximale du sol.

* **Méthode :**

(1) Calage sur une loi de Kövesligethy-Sponheuer, en retenant les observations de qualité a, b ou c (voir indications entre parenthèses)

(2) Profondeur estimée par calage à partir des données de SISFRANCE, la profondeur instrumentale étant incompatible avec les observations

(3) Profondeur arbitraire, magnitude cohérente avec l'intensité épiscopentrale

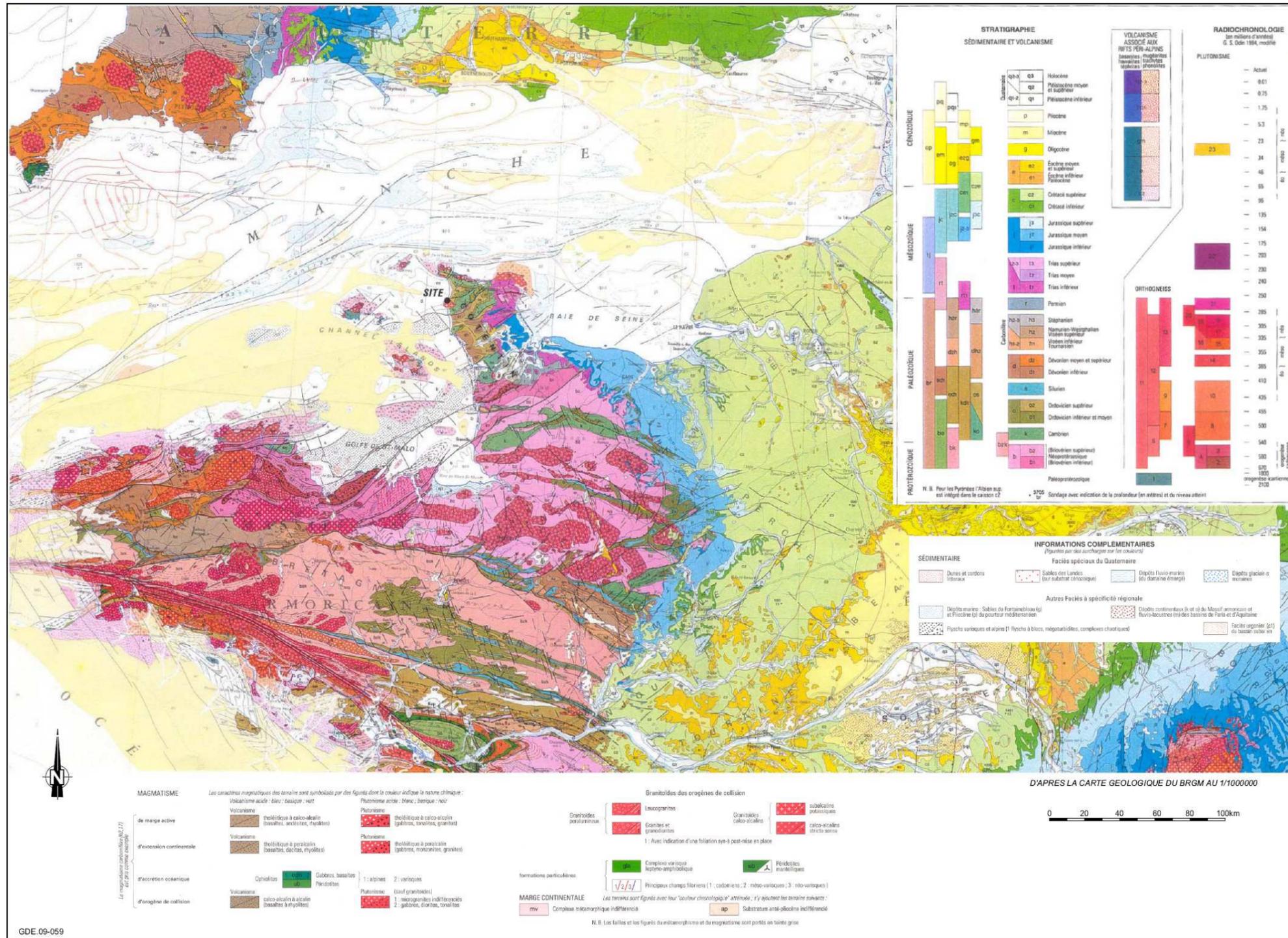
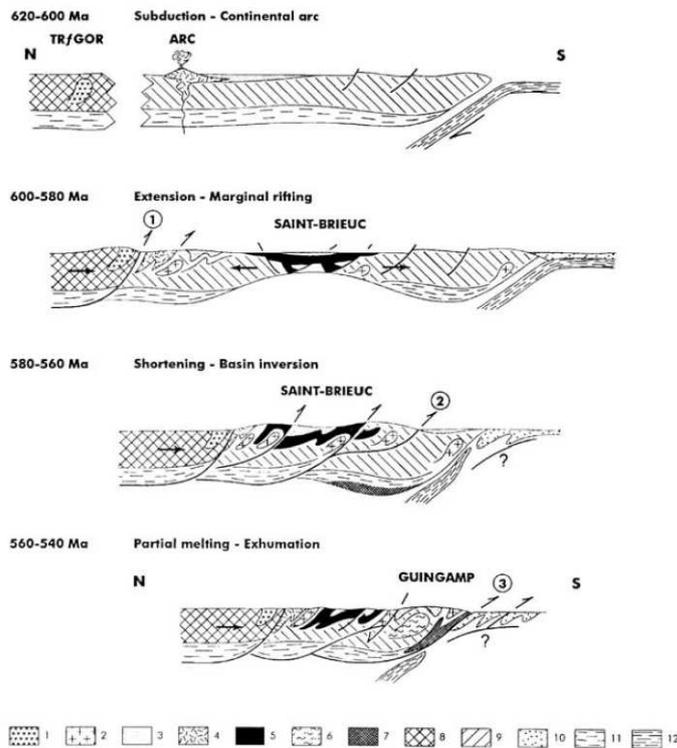
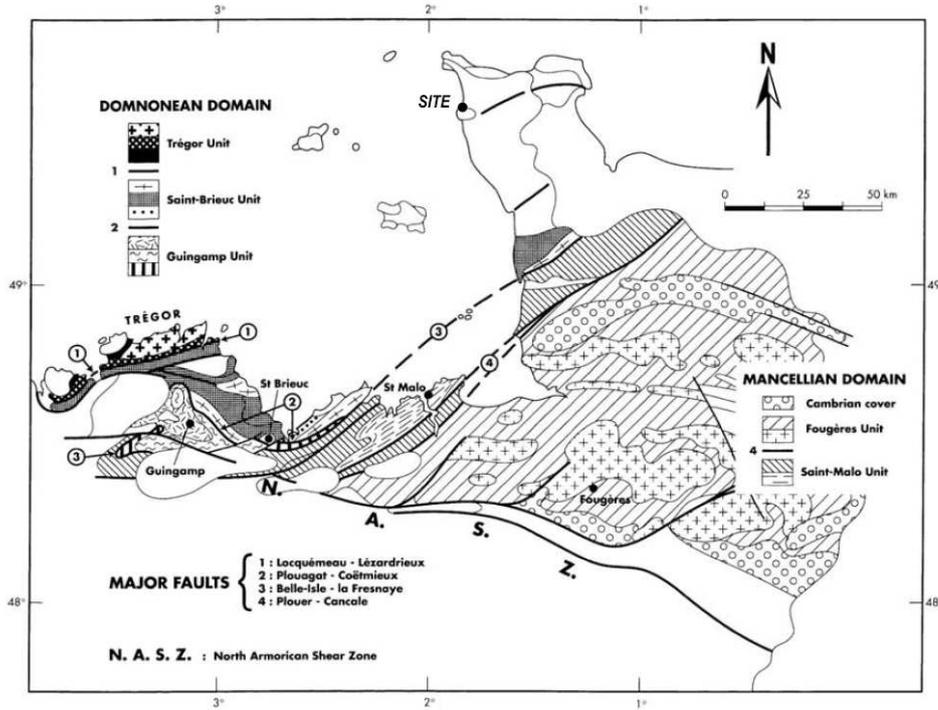
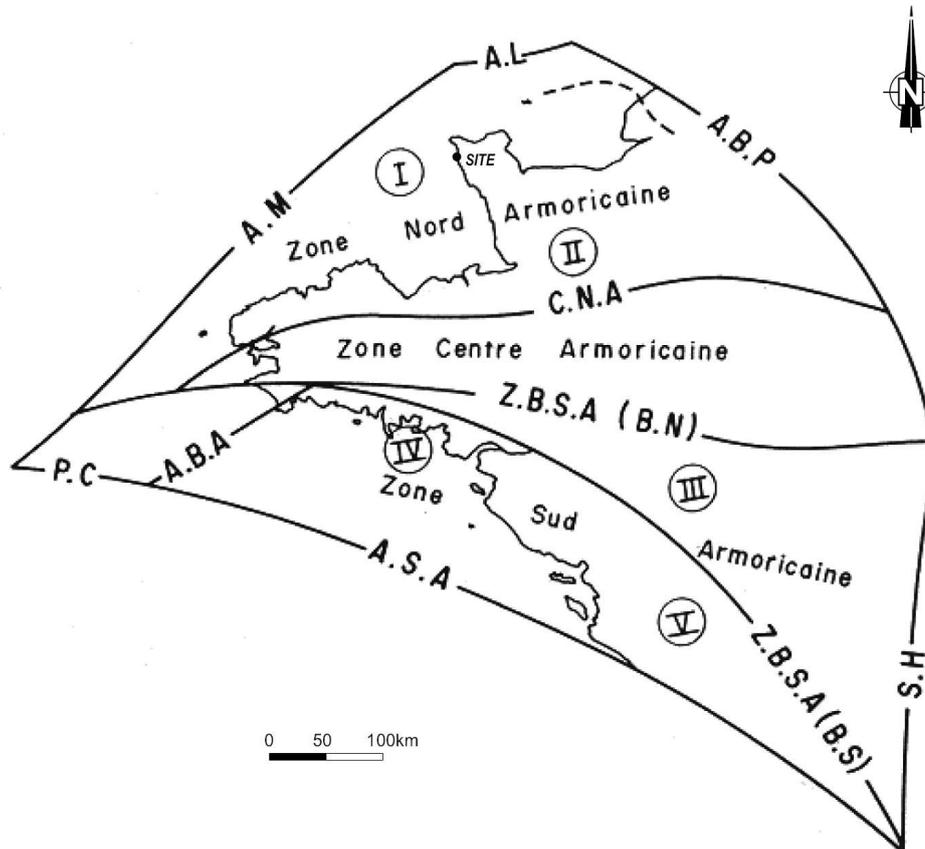
FIG-2.5.1 CARTE GÉOLOGIQUE

FIG-2.5.2 CEINTURE CADOMIENNE NORD ARMORICAIN



Sketch diagram illustrating the tectonic evolution of the Cadomian active margin. *Cadomian units*: 1. North Trégor Batholith. 2. Other Cadomian plutons. 3. Brioverian sediments. 4. Paimpol volcanics. 5. Lanvollon volcanics. 6. Guingamp migmatite. 7. Yffiniac-Belle-Isle slice. *Continental crust*: 8. Icartian upper crust. 9. Pentevrian upper crust. 10. Accretionary prism or continental margin. 11. Lower crust. *Oceanic crust*: 12. (The upper mantle is not represented.) *Major faults*: (1) Locquémeau-Lézardrieux; (2) Plouagat-Coëtmeieux; (3) Belle-Isle-La Fresnaye.

D'après: CHANTRAINE et al (2001)

FIG-2.5.3 LIMITES STRUCTURALES DU MASSIF ARMORICAIN


A.M. Accident de la Manche. - A.L. : Accident du Lizard. - A.B.P. : Accident du Bassin Parisien. - S.H. : Sillon houiller. - A.S.A. : Accident sud armoricain. - P.C. : Pente continentale. - A.B.A. : Accident de la Baie d'Audierne. - C.N.A. : Accident nord armoricain. - Z.B.S.A. : Zone broyée sud armoricaine. - (B.N. : Branche nord. - B.S. : Branche sud). - I : Ensemble domnonéo-normanien. - II : Mancellia. - III : Ensemble intermédiaire (situé entre les deux branches de la zone broyée sud-armoricaine. - IV : Anticlinéal de Cornouaille. - V : Ensemble Aquitano-Vendéen; en pointillés: faille courbe de Fécamp.

D'après: J.J. CHAUVEL et M. ROBARDET (1980)

GDE.09-061

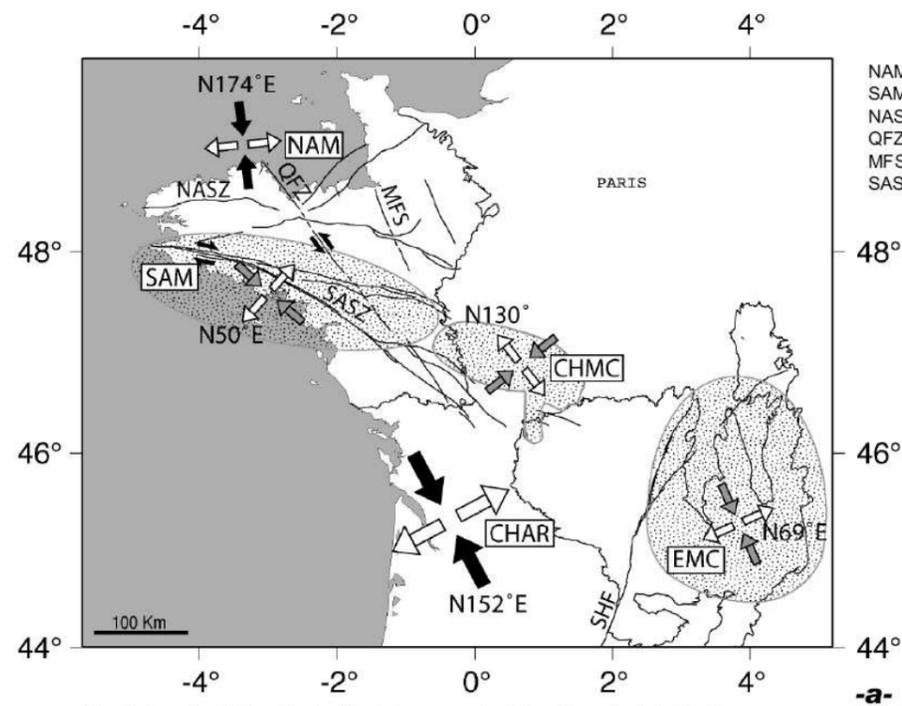
FIG-2.5.4 DÉCOUPAGE STRUCTURAL DU COTENTIN



Essai d'interprétation structurale du Cotentin au Pléistocène, à partir du modèle cinématique de Mohammadioun et al. (1993). Bassins plio-pléistocènes : SM : Sainteny-Marchésieux ; L : Lessay ; ECR : Ecréhous ; SS : Saint-Sauveur-le-Vicomte ; SV : Saint-Vigor.

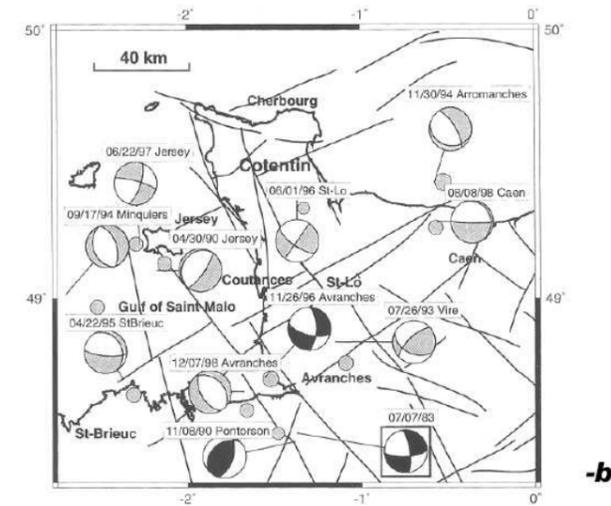
D'après: S. BAIZE (1999)

FIG-2.5.5 MODÈLE SISMOTECHNIQUE RÉGIONAL

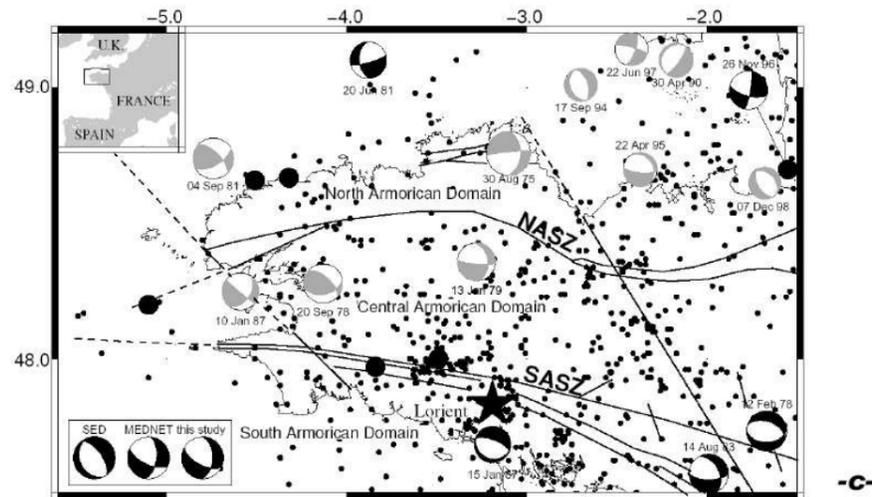


Les flèches noires indiquent la direction de la compression horizontale maximale (σ_{Hmax})
 Les flèches blanches indiquent la direction de la compression horizontale minimale (σ_{Hmin})
 Les zones à points représentent les perturbations du champ des contraintes (Mazabraud et al, 2005)

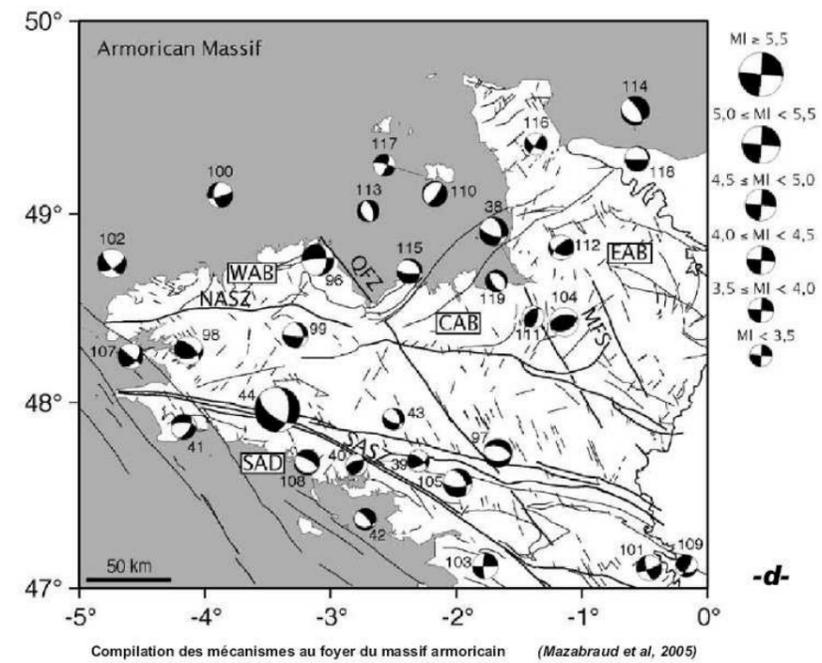
NAM North Armorican Massif
 SAM South Armorican Massif
 NASZ North Armorican Shear Zone
 QFZ Quesnoy Fault Zone
 MFS Mayenne Fault System
 SASZ South Armorican Shear Zone



Cercles pleins: localisations initiales des épicentres
 Les lignes relient la relocalisation des épicentres et les mécanismes au foyer (en gris: faible résolution, en noir: haute résolution). (Amorèse et al, 2000)

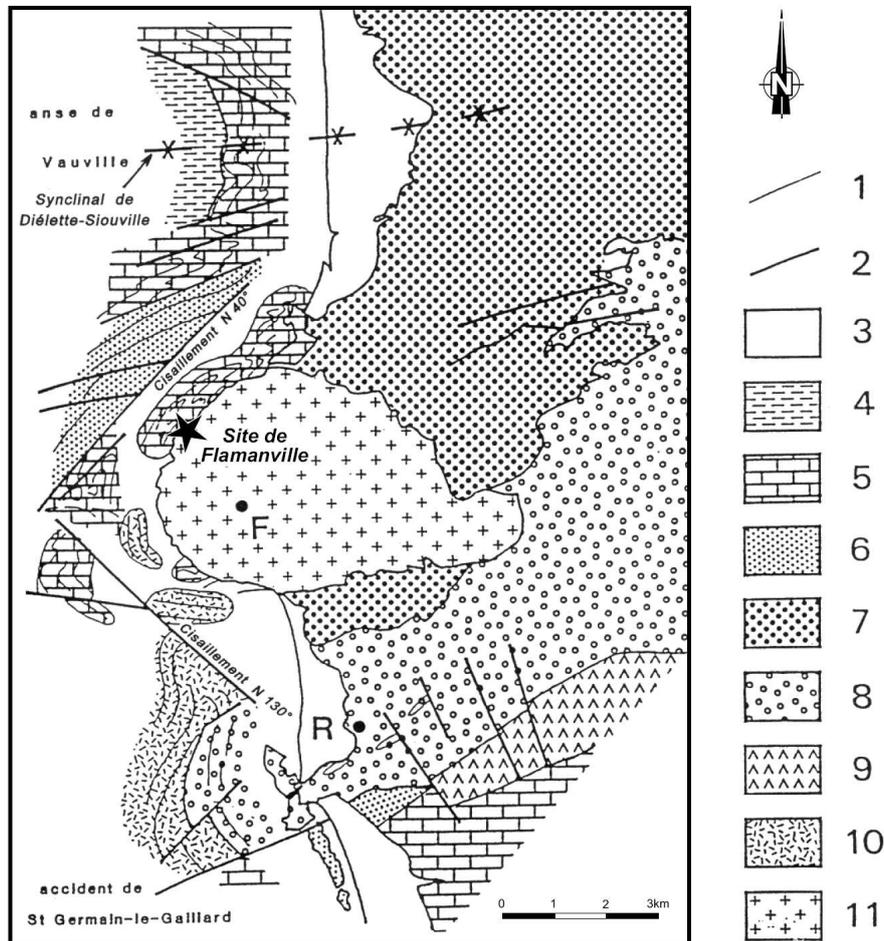


ACTIVITE SISMIQUE DE LA BRETAGNE ENTRE 1962 ET 2003
 Les mécanismes au foyer sont issus des études de Nicolas et al. (1990) et Amorèse et al. (2000)
 En noir: solutions bien contraintes En gris: solutions à faible résolution
 En bas à gauche: différentes solutions proposées pour le séisme de Lorient (★) (Mazabraud et al, 2005)



Compilation des mécanismes au foyer du massif armoricain (Mazabraud et al, 2005)

FIG-2.5.6 SCHÉMA GÉOLOGIQUE DANS LA ZONE DU CAP DE FLAMANVILLE



Cartographie sous-marine (sonar latéral) des formations submergées au large du cap de Flamanville.
 1 : stratification ; 2 : principales fractures ; 3 : formations post-varisques ; 4 : Schistes de Pont-aux-Bouchers (Siegenien) ; 5 : Schistes et calcaires de Néhou (Siegenien) ; 6 : Grès à *Platyorthis monnieri* (Gédinnien) ; 7 : Ordovico-Silurien ; 8 : Cambrien ; 9 : Ignimbrites de Saint-Germain-le-Gaillard ; 10 : terrains non identifiés ; 11 : granite de Flamanville ; F : Flamanville ; R : le Rozel.

GDE.09-064

FIG-2.5.7 LEVER GÉOLOGIQUE DES FONDS DE FOUILLE

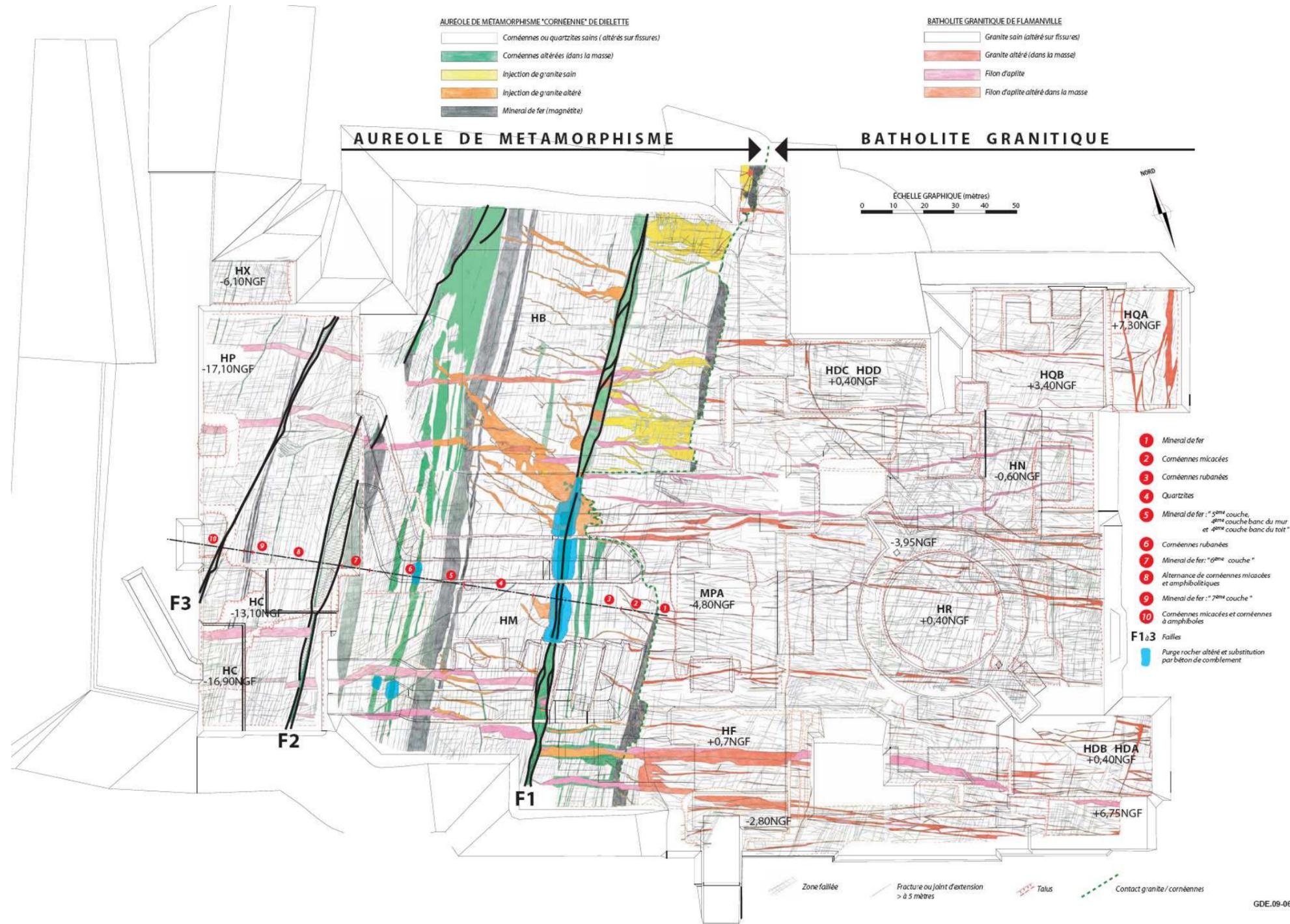
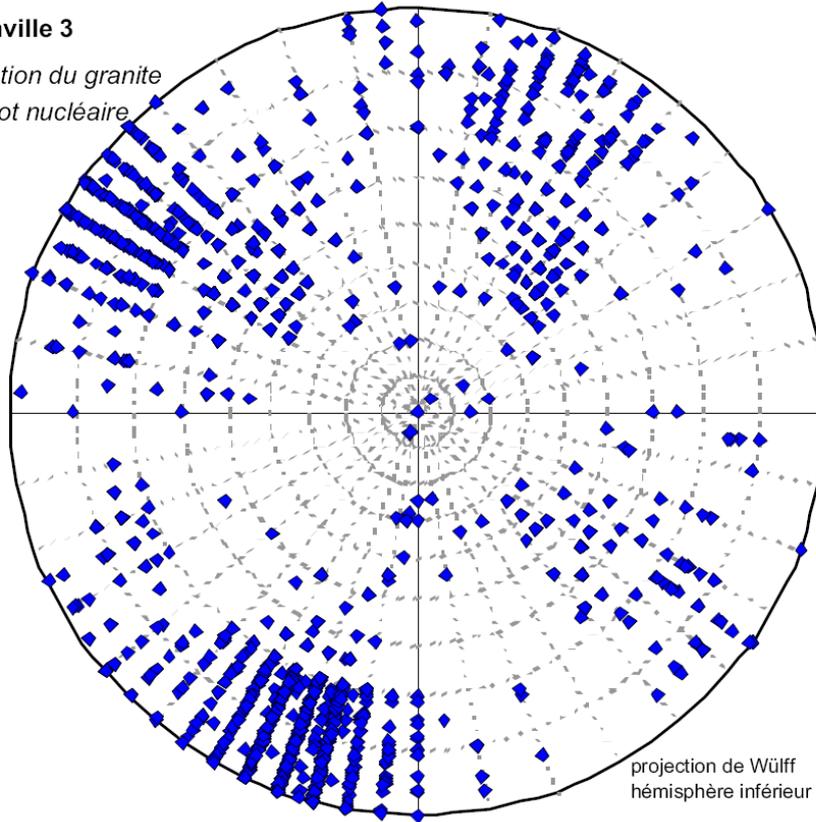
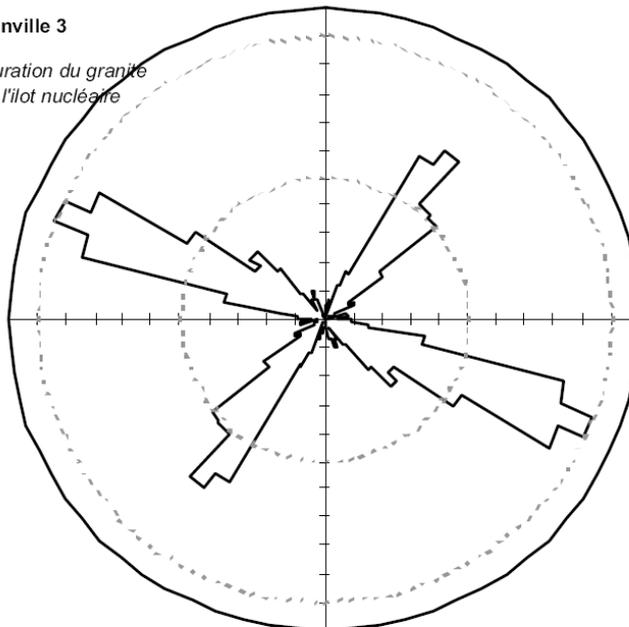


FIG-2.5.8 FRACTURATION DU GRANITE SOUS L'ÎLOT NUCLÉAIRE

Flamanville 3

*fracturation du granite
sous l'îlot nucléaire*

Flamanville 3

*fracturation du granite
sous l'îlot nucléaire***1913 mesures**

GDE.09-066

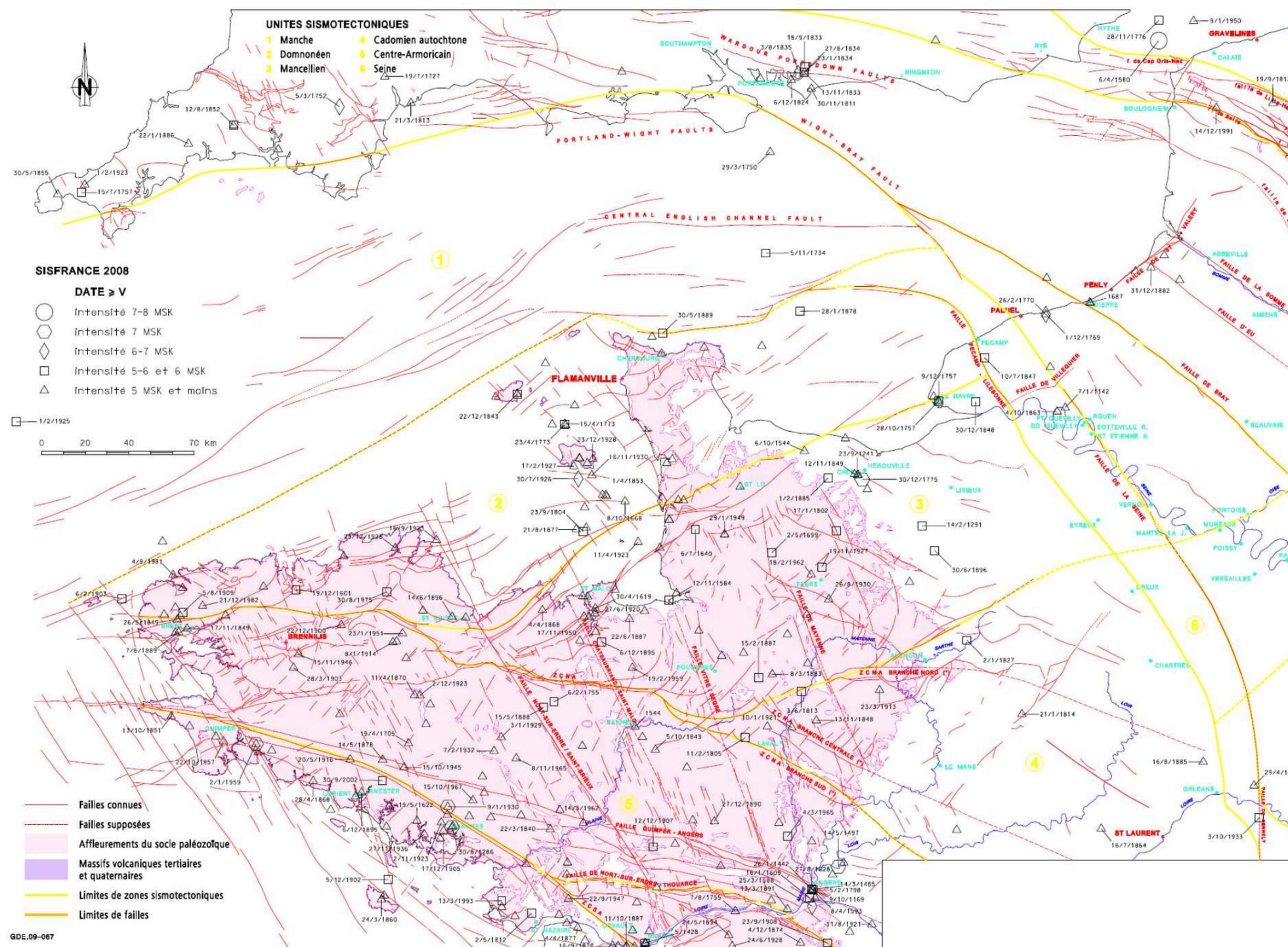
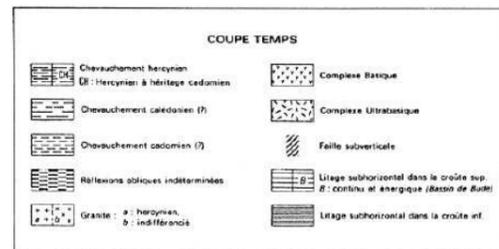
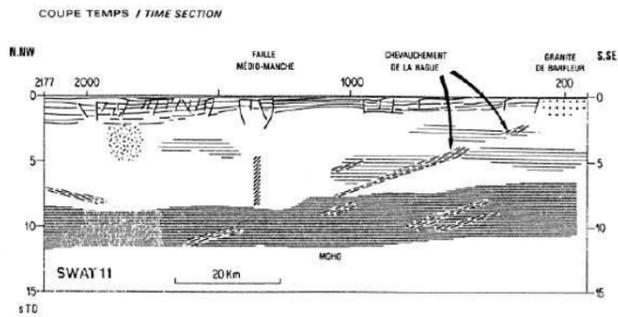
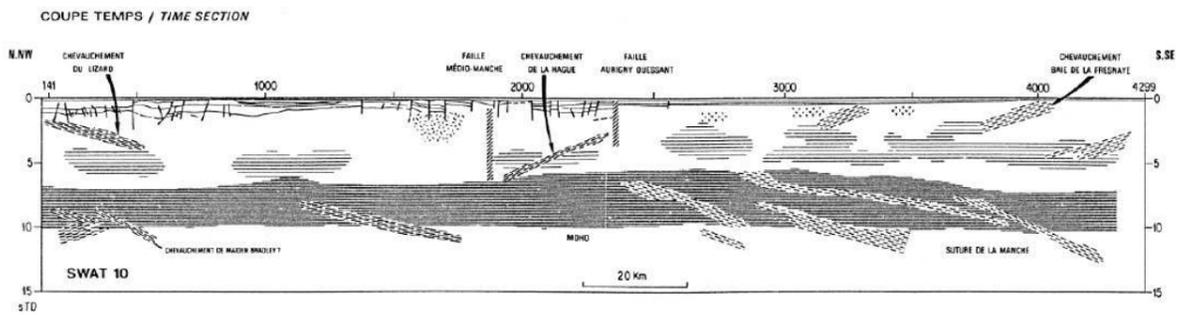
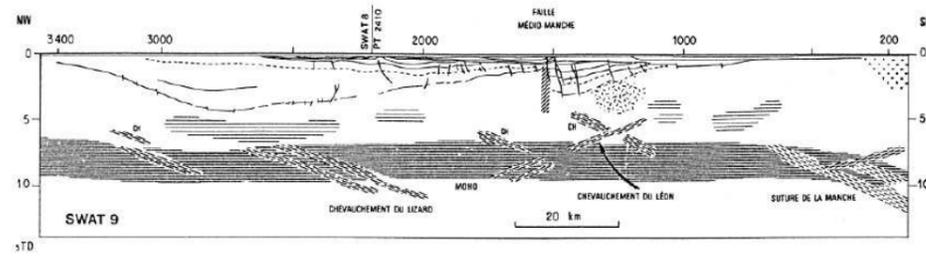
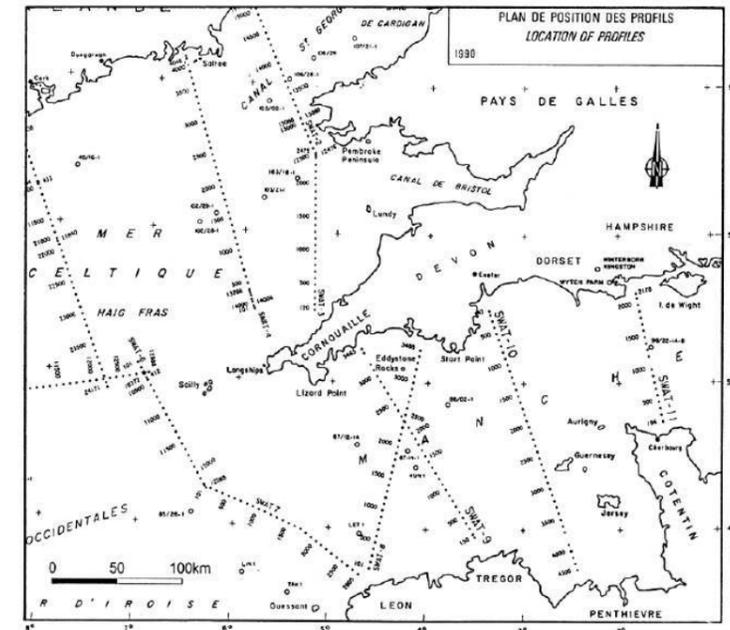
FIG-2.5.9 DÉCOUPAGE SISMOTECTONIQUE ET SISMICITÉ HISTORIQUE

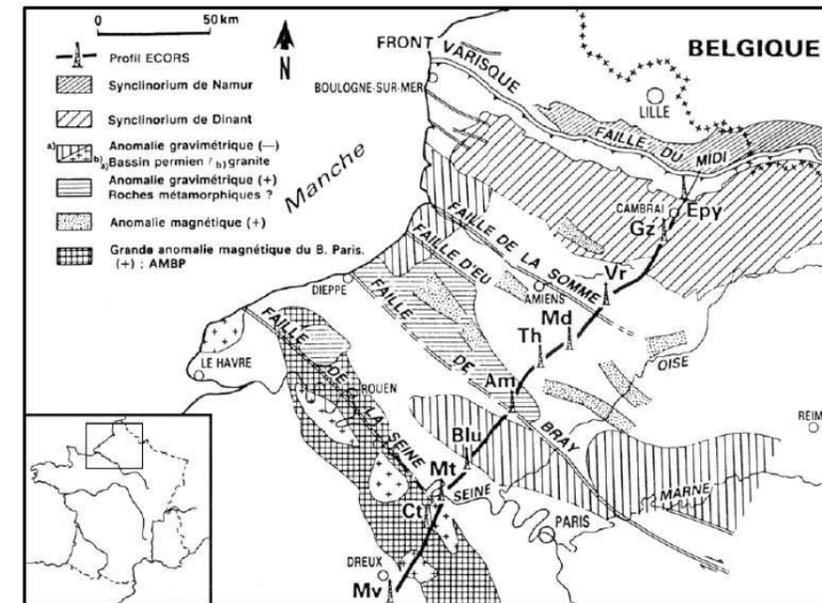
FIG-2.5.10 PROFILS DE SISMIQUE PROFONDE SWAT 9, 10 ET 11

GDE.09-068

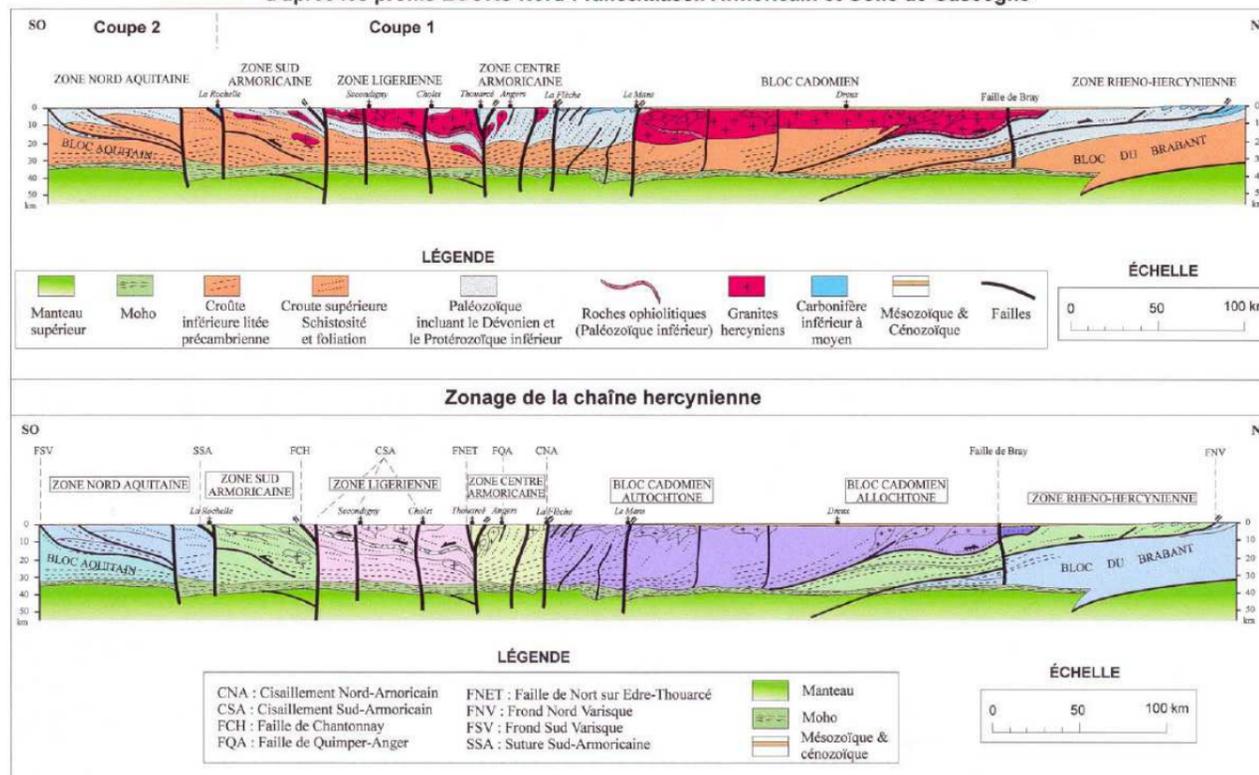


D'après : ECORS : Manche, Mer Celtique et approches Occidentales (1991)

FIG-2.5.11 COUPE À L'ÉCHELLE CRUSTALE DU MASSIF VARISQUE



d'après les profils ECORS Nord-France/Massif Armoricain et Golfe de Gascogne



LOCALISATION DU PROFIL ECORS NORD DE LA FRANCE

Source: GEOTER, d'après: MATTE et al., 1988, MATTE, 1990

GDE.09-069

FIG-2.5.12 SISMICITÉ INSTRUMENTALE LDG 1962-2008

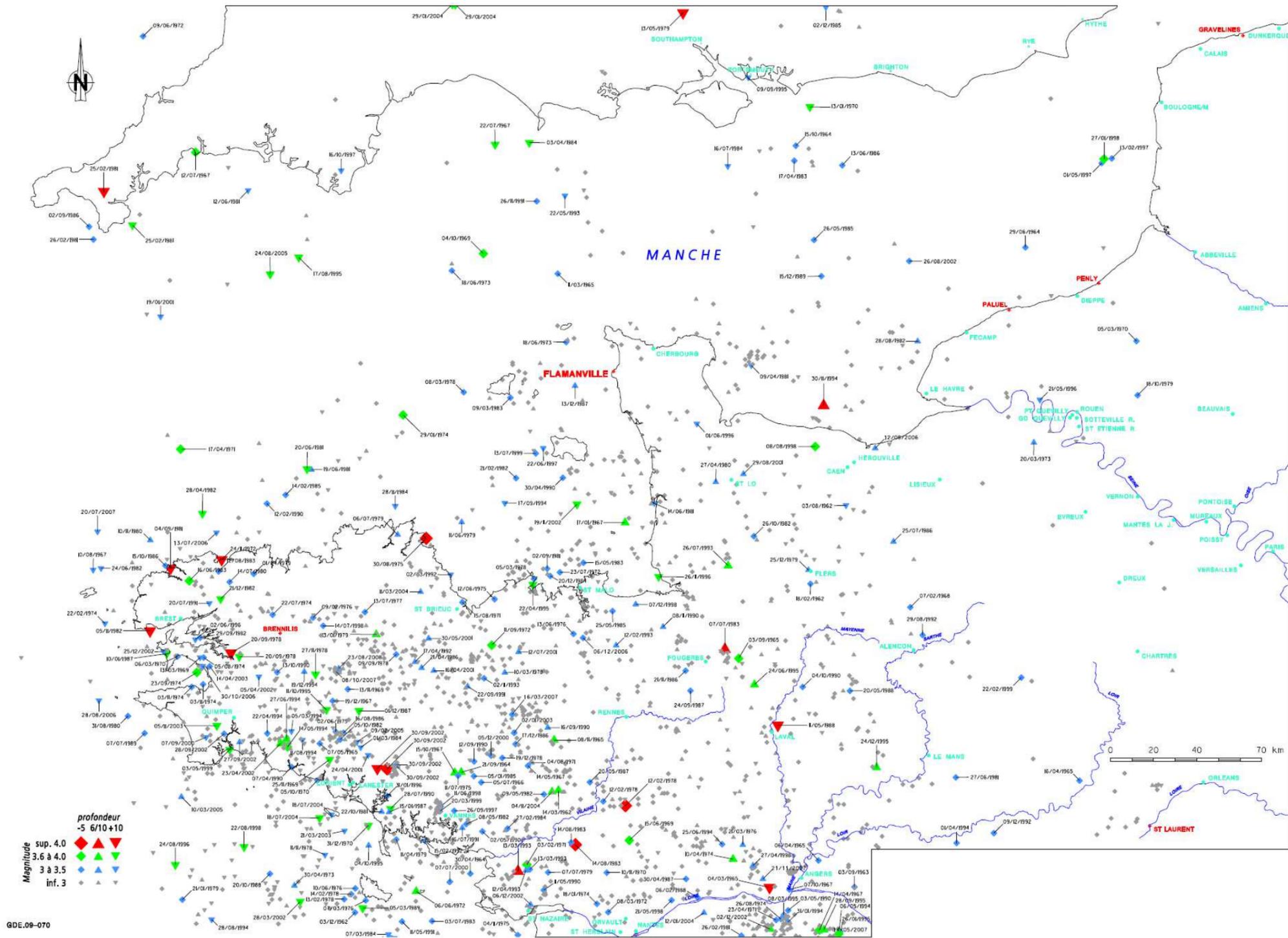
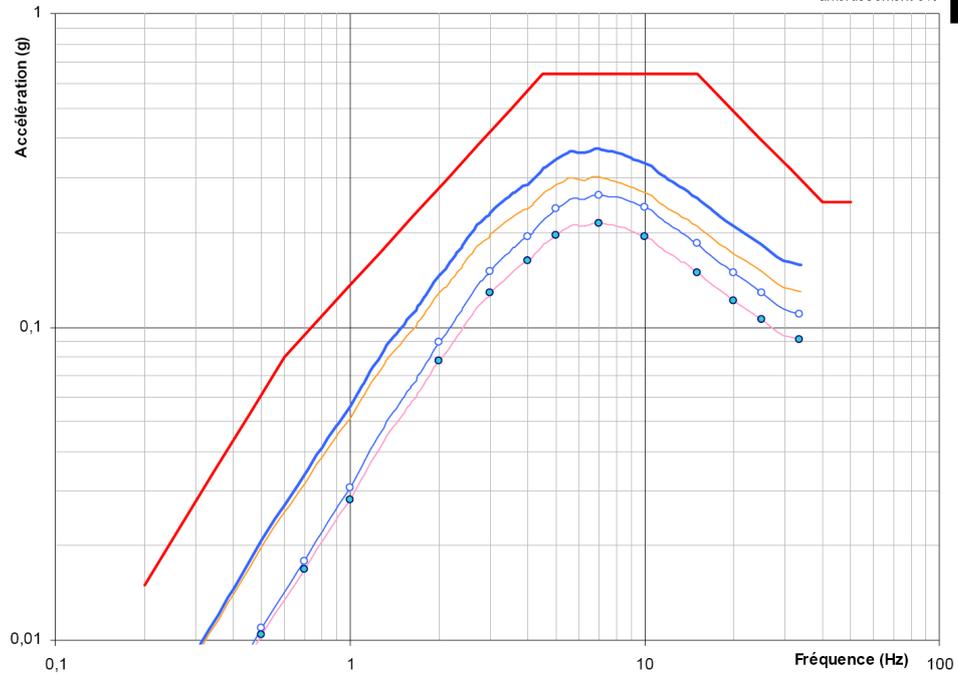


FIG-2.5.13 SPECTRES DE RÉPONSE DE SOL SMHV ET SMS

site : **FLAMANVILLE 3**

Spectres de sol
amortissement 5%



	séisme	I _o	M	h	R	D	I _{site}	sol	PGA (g)
○	SMHV 1926	VII	5,20	13	0	13	VII (6,98)	rocher	0,11
—	SMS 1926	VIII	5,70	13	0	13	VIII (8,12)	rocher	0,16
●	SMHV 1853	VII	5,40	18	0	18	VII (6,96)	rocher	0,09
—	SMS 1853	VIII	5,90	18	0	18	VIII (8,10)	rocher	0,13
—	Spectre EUR hard 0.25 g								

GDE.09-071

SOMMAIRE

I.2.6 SITUATION RADIOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE ET ÉVOLUTION	5
1. GÉNÉRALITÉS	5
2. POURQUOI MESURER LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT ?	6
3. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT	6
3.1. ORIGINE NATURELLE	6
3.2. ORIGINE ARTIFICIELLE	7
3.2.1. RETOMBÉES DES ESSAIS ATMOSPHÉRIQUES D'ARMES NUCLÉAIRES	7
3.2.2. DÉCHETS RADIOACTIFS IMMERGÉS EN ATLANTIQUE	7
3.2.3. REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS AUTORISÉS DES INSTALLATIONS DE L'USINE DE RETRAITEMENT DES COMBUSTIBLES USÉS D'ORANO LA HAGUE	8
3.2.4. RETOMBÉES DE L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL	8
3.2.5. RETOMBÉES DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA	9
3.2.6. REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS AUTORISÉS DU SITE DE FLAMANVILLE	9
3.2.7. AUTRES SOURCES D'ORIGINE ARTIFICIELLE	9
3.3. RADIONUCLÉIDES AYANT UNE DOUBLE ORIGINE (NATURELLE ET ARTIFICIELLE)	10
3.3.1. TRITIUM (³H)	10
3.3.2. CARBONE 14 (¹⁴C)	10
4. SITUATION RADIOLOGIQUE ACTUELLE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE	11
4.1. GÉNÉRALITÉS	11
4.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA	12
4.2.1. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA D'ORIGINE NATURELLE	12
4.2.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA D'ORIGINE ARTIFICIELLE	12

4.3. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BÊTA (B)	13
4.4. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA	14
4.5. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE	14
5. SITUATION RADIOLOGIQUE ACTUELLE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE MARIN	15
5.1. GÉNÉRALITÉS	15
5.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA	16
5.2.1. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA D'ORIGINE NATURELLE	16
5.2.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA D'ORIGINE ARTIFICIELLE	16
5.3. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BÊTA	18
5.4. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA	19
5.5. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT MARIN	19
LISTE DES RÉFÉRENCES.	21

TABLEAUX :

TAB-I-2.6.1	SYMBOLE CHIMIQUE, NOM, TYPE DE TRANSFORMATION ET PÉRIODE RADIOACTIVE DES PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES CITÉS DANS LE DOCUMENT	22
TAB-I-2.6.2	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE NATURELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	24
TAB-I-2.6.3	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE ARTIFICIELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	25
TAB-I-2.6.4	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BETA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	26
TAB-I-2.6.5	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006).....	27
TAB-I-2.6.6	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE NATURELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	28
TAB-I-2.6.7	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE ARTIFICIELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	29
TAB-I-2.6.8	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BETA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)	30
TAB-I-2.6.9	ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006)	31

FIGURES :

FIG-I-2.6.1 ACTIVITE SPECIFIQUE DU ³H LIBRE ET ORGANIQUE DANS L'ECOSYSTEME TERRESTRE DU SITE (PERIODE 2006-2012).....	32
FIG-I-2.6.2 ACTIVITE SPECIFIQUE DE ¹⁴C DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DE FLAMANVILLE ET MOYENNE ATMOSPHERIQUE (2006 ET 2012).....	33
FIG-I-2.6.3 ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE FLAMANVILLE	34
FIG-I-2.6.4 ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ EN TRITIUM (³H) DANS LES EAUX DE PLUIE DE 1957 À 2008	35
FIG-I-2.6.5 ACTIVITÉ SPÉCIFIQUE DU CARBONE 14 (¹⁴C) DANS LA BIOSPHERE DE 1950 À 2009.....	36
FIG-I-2.6.6 LOCALISATION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE	37
FIG-I-2.6.7 LOCALISATION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE.....	38

I.2.6 SITUATION RADIOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE ET ÉVOLUTION

1. GÉNÉRALITÉS

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité (C.N.P.E.) de Flamanville est situé en bordure de mer, au pied du cap de Flamanville dans le nord-ouest du département de la Manche, à 5 km de la commune des Pieux et à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Cherbourg. Il se compose de deux tranches de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (R.E.P.) de 1300 MWe chacune, couplées au réseau en décembre 1985 (INB n° 108) et juillet 1986 (INB n° 109). Un troisième réacteur de type « EPR » (INB n° 167) est actuellement en cours de construction.

Le site de Flamanville est proche de diverses installations nucléaires, toutes comprises dans un rayon de 30 km autour du site : l'usine de traitement des combustibles usés d'ORANO La Hague, le centre de stockage de la Manche de l'ANDRA à Digulleville et le Groupe d'Étude Atomique de la Marine nationale à Cherbourg.

Une surveillance réglementaire radiologique de l'environnement est mise en œuvre depuis la mise en exploitation du site, conformément aux exigences de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN). Ces mesures sont réalisées dans le but de s'assurer du respect des valeurs limites réglementaires fixées dans la décision de l'ASN d'autorisation de rejets¹ et d'alerter l'exploitant de toute élévation suspecte du niveau de radioactivité dans les écosystèmes terrestre et/ou aquatique (fonction de surveillance).

Parallèlement et en complément de la surveillance réglementaire, l'environnement du site de Flamanville a fait l'objet de nombreuses études radioécologiques destinées à caractériser finement la radioactivité présente dans les différents compartiments des écosystèmes terrestre et aquatique. Ces bilans (cf. [Réf \[1\]](#), [Réf \[2\]](#)) et suivis radioécologiques (cf. [Réf \[3\]](#)) permettent de suivre l'évolution des niveaux de radioactivité dans l'environnement et de mettre en évidence l'éventuelle contribution des rejets d'effluents radioactifs liquides et atmosphériques du site dans le marquage de l'environnement.

Ces études radioécologiques, réalisées à l'initiative d'EDF, ont été confiées à des laboratoires reconnus pour leur expertise dans le domaine (conception des études, collecte, préparation et mesure des échantillons environnementaux, exploitation des résultats).

Un point zéro radioécologique commandité par EDF a été réalisé par l'IPSN (Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire) devenu depuis 2002 l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), de décembre 1980 à décembre 1981 pour l'écosystème terrestre (cf. [Réf \[4\]](#)) et d'avril 1981 à avril 1982 pour l'écosystème marin (cf. [Réf \[5\]](#)).

A partir de 1991, des suivis radioécologiques annuels ont été réalisés par l'IPSN dans l'environnement du site de Flamanville (cf. [Réf \[3\]](#)).

En 1996, soit environ dix ans après le couplage au réseau des tranches 1 et 2, a été mené un premier bilan radiologique décennal. Ce bilan visait à évaluer de façon plus fine l'activité des radionucléides dans les écosystèmes terrestre et marin au voisinage du site (cf. [Réf \[1\]](#)). Un second bilan a été réalisé en 2006 afin d'analyser les évolutions depuis le précédent bilan (cf. [Réf \[2\]](#)).

L'objectif de ce chapitre est de décrire l'état radiologique actuel de l'environnement terrestre et marin du site. Les résultats radioécologiques issus du dernier bilan décennal (2006) et des suivis radioécologiques annuels postérieurs (de 2007 à 2012) servent de base à la présentation de la situation radiologique actuelle de l'environnement dans les [§ 4](#). (écosystème terrestre) et [§ 5](#). (écosystème marin).

1. Décision n° 2018-DC-0639 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 19 juillet 2018 fixant les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base n° 108, n° 109 et n° 167 exploitées par EDF dans la commune de Flamanville

2. POURQUOI MESURER LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT ?

Les mesures de radioactivité dans l'environnement réalisées par EDF sont destinées à :

- s'assurer du respect des valeurs limites fixées dans l'arrêté d'autorisation de rejets. C'est notamment le cas pour l'activité volumique bêta (β) globale des aérosols atmosphériques et le tritium (^3H) dans l'eau de surface et dans l'air au niveau du sol (station sous les vents dominants) ;
- s'assurer de l'absence de toute élévation atypique du niveau de radioactivité dans les écosystèmes (fonction de surveillance). Les analyses radiologiques réglementaires sont réalisées sur des matrices « sentinelles » importantes dans le transfert des radionucléides au sein de l'environnement et dans l'exposition de la population. Les analyses portent notamment sur l'herbe, le lait de vache, l'eau de pluie, les eaux de surface et souterraines, les sédiments, les végétaux aquatiques, les poissons, la couche superficielle des terres et les principales productions agricoles ;
- caractériser, le plus finement possible, la radioactivité dans une grande diversité d'échantillons afin d'évaluer dans quelle mesure l'exploitation du site contribue à l'apport de radionucléides dans le milieu récepteur. Les radionucléides émetteurs gamma (γ) d'origine naturelle (potassium 40 (^{40}K), béryllium 7 (^7Be)...) et d'origine artificielle (césium 134 (^{134}Cs), césium 137 (^{137}Cs), cobalt 58 (^{58}Co), cobalt 60 (^{60}Co), argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$)...), les radionucléides émetteurs bêta (β) (tritium (^3H), carbone 14 (^{14}C), strontium 90 (^{90}Sr), nickel 63 (^{63}Ni) ...) ainsi que les radionucléides émetteurs alpha (α) (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239+240 ($^{239+240}\text{Pu}$) et américium 241 (^{241}Am), cérium 244 (^{244}Cm)) sont ainsi recherchés, bien que la plupart ne soient pas rejetés par l'installation. Ces prélèvements et analyses sont réalisés selon une chronologie établie dans le cadre des états de référence initiaux (point zéro), des suivis annuels et des bilans radioécologiques décennaux pour interpréter l'évolution des autres sources de radioactivité au regard des rejets de l'installation.

3. ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT

L'interprétation des données radioécologiques nécessite de connaître l'origine des radionucléides susceptibles d'être détectés (cf. figure [FIG-I-2.6.3](#)). On distingue deux grandes familles : la première, majoritaire, regroupe les radionucléides d'origine naturelle (cosmique et tellurique), la seconde d'origine artificielle regroupe les radionucléides produits par des réactions nucléaires de fission ou d'activation.

Certains radionucléides comme le carbone 14 (^{14}C) et le tritium (^3H) ont une double origine (naturelle et artificielle).

Le tableau [TAB-I-2.6.1](#) présente les caractéristiques (symbole de l'élément, nom, type de transformation et période radioactive) des principaux radionucléides cités dans le présent chapitre.

3.1. ORIGINE NATURELLE

Les principaux radionucléides naturels rencontrés dans l'environnement ont deux origines :

- **une origine cosmique** : représentée par les radionucléides issus de l'interaction de la matière avec les rayonnements d'origine cosmique (neutrons), tels que le tritium (^3H), les béryllium 7 et 10 (^7Be , ^{10}Be), le carbone 14 (^{14}C), le silicium 32 (^{32}Si), le chlore 36 (^{36}Cl), le sodium 22 (^{22}Na), le phosphore 32 (^{32}P)... La réaction la plus importante conduit à la formation de carbone 14 (^{14}C) à partir de l'azote atmosphérique.
- **une origine tellurique** : représentée par les radionucléides présents dans l'écorce terrestre depuis l'origine de la Terre. L'isotope radioactif du potassium (^{40}K) et les radionucléides issus des familles radioactives de l'uranium 238 (^{238}U), de l'uranium 235 (^{235}U) et du thorium 232 (^{232}Th) constituent la majeure partie de ce groupe.

3.2. ORIGINE ARTIFICIELLE

De manière plus ou moins homogène sur l'ensemble du territoire sont détectés des radionucléides issus des retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires (1945 à 1980) ou d'accidents nucléaires (Tchernobyl (1986) et dans une moindre mesure, Fukushima (2011)).

Les radionucléides « artificiels » identifiés peuvent également provenir des rejets autorisés d'Installations Nucléaires de Base (INB) comme les Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE), les sites de fabrication et de retraitement du combustible, les sites de stockage, les anciens sites d'immersion de déchets, les sites militaires mais également les établissements de santé via l'utilisation de radionucléides à des fins médicales.

3.2.1. Retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires

Les essais nucléaires atmosphériques auxquels ont procédé les grandes puissances militaires (EtatsUnis, Russie, Grande-Bretagne, France et Chine) entre 1945 et 1980 constituent le seul apport massif de radionucléides artificiels à l'échelle planétaire et la principale source de radioactivité artificielle dans l'environnement français. Au total, 543 essais atmosphériques ont été effectués.

L'essentiel de la puissance a été libéré entre 1954 et 1958 puis en 1961 et 1962. A partir de 1961, les essais atmosphériques ont progressivement laissé place aux essais souterrains, constituant une source de contamination moindre pour la biosphère. Le dernier tir atmosphérique a eu lieu en Chine le 16 octobre 1980.

La plupart des essais aériens se sont déroulés dans l'Hémisphère Nord. Environ 90 % des radionucléides émis dans l'atmosphère sont retombés dans cet hémisphère. Les particules radioactives émises étaient constituées de produits de fission (strontium 90 (^{90}Sr), césium 137 (^{137}Cs), iode 131 (^{131}I), ...) et de produits d'activation (tritium (^3H) et carbone 14 (^{14}C)) créés par l'action du rayonnement neutronique sur les molécules présentes dans l'atmosphère.

Les radionucléides à courte période radioactive ont progressivement disparu (iode 131 (^{131}I), cérium 141 (^{141}Ce), ruthénium 103 (^{103}Ru), zirconium 95 (^{95}Zr), cérium – praséodyme 144 ($^{144}\text{Ce-Pr}$), ruthéniumrhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$)). En revanche, le césium 137 (^{137}Cs), le strontium 90 (^{90}Sr), le carbone 14 (^{14}C), le tritium (^3H) et les transuraniens (radionucléides à période longue) persistent toujours dans les matrices environnementales prélevées en France actuellement.

Les radionucléides émetteurs alpha déposés lors des essais militaires (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am), ...) possèdent une signature spécifique caractérisée par les rapports d'activités suivants : $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0,03$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu} = 0,4$.

3.2.2. Déchets radioactifs immergés en Atlantique

Plusieurs pays (Royaume-Uni, Belgique, Allemagne, France, Pays-Bas, Belgique, Italie, Suède, Suisse) ont participé dans le passé à l'immersion dans les océans de certains déchets radioactifs. Ces déchets, conditionnés en fûts métalliques avec enrobage ou non de bitume ou en conteneurs bétonnés, ont été immergés entre 1949 et 1983.

Quinze sites d'immersion sont recensés entre le Nord de l'Irlande et les Açores. Le site d'immersion de la fosse des Casquets (Manche, 48°50'N, 2°18'W), utilisé entre 1950 et 1963 par le Royaume uni et la Belgique, peut être considéré comme une source latente de radionucléides artificiels de par sa faible profondeur (entre 100 et 160 m) et sa proximité géographique (moins de 40 km) du CNPE de Flamanville. L'activité initialement stockée à cet endroit représente 14,3 TBq² pour les radionucléides émetteurs alpha et 43 TBq pour les radionucléides émetteurs bêta (tritium inclus) et gamma pour un total de 15 558 tonnes de déchets radioactifs conditionnés.

2. TBq = tera becquerel soit 10^{12} becquerel

3.2.3. Rejets d'effluents radioactifs autorisés des installations de l'usine de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague

Les installations de retraitement des combustibles usés ORANO La Hague ont été mises en service en 1967. Elles sont soumises à l'arrêté de rejet d'effluents liquides et atmosphériques du 8 janvier 2007.

Les installations rejettent dans l'atmosphère du tritium (^3H), du carbone 14 (^{14}C), des gaz rares, des iodes, du chlore 36 (^{36}Cl) et du ruthénium 103 (^{103}Ru). Parmi les gaz rares, seul le ^{85}Kr a une période suffisamment longue (10 ans) pour être encore présent dans les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques. Les halogènes détectés au niveau de la cheminée sont les isotopes 129, 131 et 133 de l'iode (^{129}I , ^{131}I et ^{133}I). Des oxydes de ruthénium-rhodium ($^{106}\text{Ru-Rh}$) sont également présents sous forme non volatile et à température ambiante.

Le spectre des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'installation (cf. figure [FIG-I-2.6.3](#)) comprend notamment le tritium (^3H), le zinc 65 (^{65}Zn), le manganèse 54 (^{54}Mn), les cobalts 57, 58 et 60 (^{57}Co , ^{58}Co et ^{60}Co), les strontiums 89 et 90 (^{89}Sr et ^{90}Sr), le technétium 99 (^{99}Tc), le zirconium 95 (^{95}Zr), le niobium 95 (^{95}Nb), l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), le ruthénium 103 (^{103}Ru), les ruthénium et rhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$), les antimoines 124 et 125 (^{124}Sb , ^{125}Sb), l'iode 129 (^{129}I), les césiums 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs), le cérium 144 (^{144}Ce), le praséodyme 144 (^{144}Pr), les europiums 154 et 155 (^{154}Eu et ^{155}Eu) et le neptunium 239 (^{239}Np) et le nickel 63 (^{63}Ni).

Globalement, les radionucléides les plus caractéristiques des rejets radioactifs d'effluents atmosphériques et liquides de l'usine d'ORANO La Hague sont : les transuraniens (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am ...), les ruthénium et rhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$), le strontium 90 (^{90}Sr), l'iode 129 (^{129}I) et le technétium 99 (^{99}Tc). Il est à noter que ces rejets autorisés sont en diminution depuis les années 90.

L'exploitation du centre de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague a connu quelques incidents de fonctionnement. Les deux principaux événements qui ont conduit à la libération dans l'environnement de radionucléides artificiels sont la rupture de la conduite de rejet liquide survenue en 1980 et l'incendie d'un silo de stockage de chemises graphite le 6 janvier 1981. Le premier événement s'est traduit par la détection dans la faune marine de ruthénium et rhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$), cérium et praséodyme 144 ($^{144}\text{Ce-Pr}$), césium 137 (^{137}Cs), antimoine (^{125}Sb) et argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$). Le second a conduit à la libération dans l'atmosphère de tritium (^3H), cobalt 60 (^{60}Co), strontium 90 (^{90}Sr), ruthénium et rhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$), argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), antimoine 125 (^{125}Sb), iode 129 (^{129}I), césium 137 (^{137}Cs) (entre 0,74 et 1,85 TBq), césium 134 (^{134}Cs), cérium et praséodyme 144 ($^{144}\text{Ce-Pr}$), plutonium 238, 239, 240 et 241 (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Pu) et américium 241 (^{241}Am). Le rapport d'activité des radio-césiums à l'émission ($^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$) était voisin de 6,5. Des traces de césium 137 (^{137}Cs) sont actuellement perceptibles dans les matrices environnementales de l'environnement marin.

3.2.4. Retombées de l'accident de Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl est survenu le 26 avril 1986. En raison des conditions météorologiques, le panache radioactif émis dans la troposphère s'est déplacé vers les pays nordiques, l'Europe Centrale et la Méditerranée. Il a survolé la vallée du Rhône puis l'est de la France au cours de la première semaine de mai 1986. Les événements pluvieux concomitants ont favorisé le dépôt des particules. Dix-neuf radionucléides ont été détectés dans les retombées de Tchernobyl, sept ont été mis en évidence de façon significative dans l'environnement sur le territoire français : le tellure 132 (^{132}Te), l'iode 131 (^{131}I), le ruthénium 103 (^{103}Ru), les ruthéniums et rhodium 106 ($^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$), les radiocésiums 134 et 137 ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$) et l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$). A l'exception du césium 137 (^{137}Cs), ces radionucléides présentent des périodes de décroissance courtes (de quelques secondes pour le rhodium 106 (^{106}Rh) à 2 ans pour le césium 134 (^{134}Cs)). De ce fait, seul le césium 137 (^{137}Cs) dont la période radioactive est de 30 ans, demeure actuellement détectable dans les matrices environnementales prélevées en France métropolitaine.

Du fait de sa position géographique et des faibles précipitations lors du passage du panache radioactif issu de l'accident de Tchernobyl, l'environnement du site de Flamanville a été faiblement impacté par les retombées radioactives comparativement au nord-est de la France, la vallée du Rhône et la Corse.

3.2.5. Retombées de l'accident de Fukushima

L'accident de Fukushima est survenu le 11 mars 2011 au Japon. Le panache radioactif résultant des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques des réacteurs nucléaires accidentés s'est déplacé, tout en se diluant, dans les courants atmosphériques de l'hémisphère nord. Le continent nord-américain a été le premier touché par cette dispersion à grande échelle, puis les particules radioactives ont atteint le Nord et le Nord-est de l'Europe (Scandinavie) une dizaine de jours après l'accident. La France et le sud-ouest de l'Europe ont été atteints vers le 25 mars. Les masses d'air ont ensuite poursuivi leur déplacement vers l'Asie (cf. [Réf \[6\]](#)).

Les différentes observations ont montré que les régions françaises ont été touchées de façon similaire, avec des fluctuations spatiales et temporelles dues au déplacement des masses d'air. Les activités volumiques en radionucléides artificiels imputables à l'accident de Fukushima (iode 131 (^{131}I), césium 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs), tellure 132 (^{132}Te)) mesurées en France ont été très faibles. Ces activités se situent à des niveaux 500 à plus de 1000 fois inférieurs à ceux mesurés début mai en 1986 en France suite à l'accident de Tchernobyl (cf. [Réf \[6\]](#)).

Les niveaux d'activités des radiocésiums mesurés dans les aérosols conduisent à un rapport d'activité $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, représentatif des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques liés à l'accident de la centrale de Fukushima (0,97) (cf. [Réf \[6\]](#)).

Compte tenu de leurs périodes radioactives, les deux radiocésiums devraient être détectés à l'état de traces dans l'environnement français au cours des années à venir, les activités en césium 137 (^{137}Cs) se superposant à celles des retombées d'événements plus anciens évoqués précédemment.

3.2.6. Rejets d'effluents radioactifs autorisés du site de Flamanville

L'exploitation du site de Flamanville produit des effluents radioactifs atmosphériques et sous forme liquide. Les autorisations de rejets d'effluents liquides et atmosphériques sont actuellement fixées par la décision n° 2018-DC-0639 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 19 juillet 2018.

La composition des effluents radioactifs rejetés par le site de Flamanville est fournie mensuellement à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) via les registres réglementaires.

Le spectre des rejets d'effluents radioactifs liquides (cf. figure [FIG-I-2.6.3](#)) comprend notamment le tritium (^3H), le carbone 14 (^{14}C), les cobalts 58 et 60 (^{58}Co ; ^{60}Co), le nickel 63 (^{63}Ni), les antimoine 124 et 125 (^{124}Sb , ^{125}Sb), les césiums 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs), le manganèse 54 (^{54}Mn), l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), le tellure 123 métastable ($^{123\text{m}}\text{Te}$) et l'iode 131 (^{131}I).

Le spectre des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques, comprend notamment le tritium (^3H), le carbone 14 (^{14}C), l'argon 41 (^{41}Ar), les xétons 131 métastable, 133 et 135 ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , ^{135}Xe), le krypton 85 (^{85}Kr), les iodes 131 et 133 (^{131}I et ^{133}I), les cobalts 58 et 60 (^{58}Co et ^{60}Co) et les césiums 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs).

En raison des efforts accomplis par l'exploitant pour réduire la production d'effluents radioactifs à la source, optimiser le traitement de ces effluents et améliorer leurs collectes, les rejets du CNPE sont en diminution depuis les années 90.

3.2.7. Autres sources d'origine artificielle

Aux six origines décrites précédemment, peut s'ajouter le rejet dans l'environnement de radionucléides issus des rejets industriels autorisés d'installations nucléaires situées aux environs du site de Flamanville (centre de stockage de la Manche de l'ANDRA à Digulleville, groupe d'Etude Atomique de la marine nationale à Cherbourg, usine de retraitement des combustibles irradiés de Sellafield, CNPE de Penly, Gravelines et Paluel) et dans une moindre mesure, des rejets des centrales anglaises de Winfrith et Dungeness, des apports des rivières et des fleuves (en particulier la Seine, qui draine une région fortement industrialisée, avec le CNPE de Nogent sur Seine et de nombreux hôpitaux et centres de recherches). Cependant, en raison des courants locaux, l'influence de ces rejets est moindre par rapport à celle de l'usine ORANO La Hague.

3.3. RADIONUCLÉIDES AYANT UNE DOUBLE ORIGINE (NATURELLE ET ARTIFICIELLE)

Comme indiqué précédemment, le carbone 14 (^{14}C) et le tritium (^3H) ont une double origine, naturelle et artificielle. La distinction de la part produite naturellement de celle issue de l'activité industrielle nucléaire peut être évaluée grâce à :

- une bonne connaissance du terme source ;
- une bonne connaissance de l'activité de ces radionucléides dans les différents compartiments de l'environnement, en dehors de toute influence de rejets d'effluents radioactifs ;
- une stratégie d'étude adaptée qui porte sur des échantillons de même nature récoltés au même stade de développement, sous et hors influence des rejets d'effluents radioactifs de l'installation nucléaire étudiée.

3.3.1. Tritium (^3H)

Le tritium (^3H) est produit naturellement par action des rayons cosmiques (neutrons) sur certains composants de l'air (azote, oxygène ou argon). L'inventaire permanent du tritium (^3H) naturel est d'environ $1,3 \cdot 10^6$ TBq à l'échelle planétaire, avec une production annuelle de l'ordre de $7,2 \cdot 10^4$ TBq.

Entre 1945 et 1980, les essais nucléaires aériens ont disséminé à l'échelle mondiale environ $2,34 \cdot 10^8$ TBq de tritium (^3H). La quantité de tritium (^3H) présente dans la biosphère a alors fortement augmenté. La figure [FIG-I-2.6.4](#) illustre l'évolution temporelle de l'activité du tritium (^3H) dans les eaux de pluie de 1957 à 2008. L'augmentation significative d'activité observée en 1963 traduit l'influence des apports liés aux essais atmosphériques d'armes nucléaires avec une valeur d'activité d'environ $500 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ mesurée en France. Globalement, après cette période, une décroissance exponentielle des teneurs en tritium dans les précipitations a été observée. Actuellement, l'activité moyenne dans l'eau de pluie, résultant des contributions naturelles et anthropiques, se situe aux alentours de $1 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ en zone continentale. Dans les autres compartiments des écosystèmes continentaux, les activités de tritium (^3H) diminuent également depuis une quinzaine d'années. Actuellement, les activités de tritium (^3H) libre et organique dans les échantillons biologiques sont de l'ordre de 1 à $10 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ lorsqu'elles ne sont pas en contact avec de la matière organique ancienne. Des niveaux d'activité supérieurs à ceux de l'état naturel peuvent être rencontrés localement, dans l'environnement proche des installations autorisées à rejeter du tritium.

En raison de ses propriétés physico-chimiques similaires à celles de l'hydrogène, élément majeur de la biosphère notamment comme constituant de la molécule d'eau et de la matière organique, le tritium (^3H) est présent dans tous les compartiments environnementaux. Les mesures réalisées dans le cadre de la surveillance radioécologique des installations nucléaires permettent de distinguer le tritium (^3H) présent dans l'eau tissulaire des organismes (« tritium (^3H) libre ») du tritium (^3H) lié à la matière organique (« tritium (^3H) organique »). La première forme s'équilibre très rapidement dans tous les compartiments des écosystèmes selon le cycle de l'eau et permet d'identifier un apport récent de tritium (^3H) dans l'environnement. Le tritium (^3H) organique reflète l'activité du radionucléide dans le milieu au moment de son incorporation à la matière organique, et apporte ainsi une information rétrospective « intégrée » des teneurs environnementales en tritium (^3H) assimilées sur plusieurs semaines à plusieurs années dans les organismes.

3.3.2. Carbone 14 (^{14}C)

Le carbone est un des quatre éléments (carbone, hydrogène, oxygène, azote) essentiel au développement de toute vie. Il est très majoritairement présent sous forme d'isotopes stables (carbone 12 (^{12}C) ≈ 99 % et carbone 13 (^{13}C) ≈ 1 %). Le carbone 14 (^{14}C), isotope radioactif présent à l'état de traces, est produit majoritairement par voie naturelle par capture des neutrons cosmiques par les noyaux de l'azote atmosphérique. Le stock de carbone 14 (^{14}C) à l'échelle de la planète est à ce jour d'environ $1,27 \cdot 10^7$ TBq, dont 90 % sont contenus dans les profondeurs des océans. Outre cette origine naturelle, 2 % des stocks de carbone 14 (^{14}C) sont issus des activités humaines.

Dans la nature, le carbone 14 (^{14}C) existe principalement sous forme minérale (gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère et carbonates dans l'eau), et sous forme organique suite à son assimilation par les plantes au cours de la photosynthèse.

L'activité en carbone 14 (^{14}C), relativement constante au cours des derniers millénaires, a subi de grandes fluctuations depuis le début de l'ère industrielle. En effet, les rejets de gaz carbonique (CO_2) liés à l'utilisation de combustibles fossiles, de teneur plus faible en carbone 14 (^{14}C), en constante augmentation, ont diminué l'activité spécifique du carbone 14 (^{14}C) présent dans l'atmosphère (effet de dilution isotopique généralement connu sous le nom de l'effet Suess). À l'inverse, les rejets de carbone 14 (^{14}C) d'origine humaine, essentiellement dus aux essais nucléaires atmosphériques pratiqués entre 1945 et 1980 ($\approx 2.10^5$ TBq), ont augmenté l'activité atmosphérique. L'activité en carbone 14 (^{14}C) dans l'atmosphère est ainsi passée de 226 Bq.kg $^{-1}$ de carbone 14 (^{14}C) au milieu du 19^{ème} siècle à un maximum de 400 Bq.kg $^{-1}$ de carbone 14 (^{14}C) dans les années 1960 suite aux tirs nucléaires atmosphériques.

Actuellement, le niveau atmosphérique, de l'ordre de 240 Bq.kg $^{-1}$ de carbone, continue à décroître en raison des phénomènes d'absorption par les eaux océaniques et de dilution par les émissions de carbone issues notamment de la combustion des combustibles fossiles. Dans l'environnement terrestre, l'activité spécifique en carbone 14 (^{14}C) diminue au cours du temps. Néanmoins, les mesures d'activité effectuées localement à proximité des sites nucléaires français montrent une légère contribution des rejets (cf. [Réf \[7\]](#)). La figure [FIG-I-2.6.5](#) illustre l'évolution de l'activité du carbone 14 (^{14}C) dans la biosphère de 1950 à 2009.

4. SITUATION RADIOLOGIQUE ACTUELLE DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

4.1. GÉNÉRALITÉS

L'objectif de ce paragraphe est de décrire l'état radioécologique actuel de l'environnement terrestre du site de Flamanville. Les données utilisées sont issues du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. [Réf \[2\]](#)) et des suivis radioécologiques annuels de 2007 à 2012 (cf. [Réf \[3\]](#)).

Les stations de prélèvement sont définies en fonction du régime éolien local, généralement dominé par les vents de secteur sud-ouest à nord-ouest. Ainsi, les zones terrestres non influencées sont situées au sud du site (stations Falaise de Quédoy, Château de Flamanville, Les Pieux, Le Rozel, Surtainville, Sortosville en Beaumont) tandis que les zones potentiellement influencées se situent au nord-est du site (stations Vasteville, Héauville, Le Pont Helland, Siouville, Diélette) (cf. figure [FIG-I-2.6.6](#)).

Les résultats obtenus sont présentés par type d'émissions radioactives émises par les radionucléides et de matrices du tableau [TAB-I-2.6.2](#) au tableau [TAB-I-2.6.5](#). La performance des outils de mesure utilisés permet d'atteindre des limites de détection très basses et d'identifier des radionucléides présents à l'état de traces dans l'environnement. Depuis 2011, les résultats de mesure non significatifs sont exprimés par rapport au seuil de décision³ : ces valeurs sont converties dans ce chapitre en limite de détection afin d'homogénéiser l'ensemble des valeurs présentées.

Les mesures par spectrométrie gamma (γ) sont les plus fréquentes, elles permettent d'identifier et de quantifier simultanément un grand nombre de radionucléides d'origine naturelle et/ou artificielle émetteurs de rayonnements gamma lors des transformations radioactives. Les radionucléides présentés dans cette étude sont ceux qui ont été détectés dans l'environnement du site de Flamanville ou qui sont susceptibles de l'être au vu du retour d'expérience acquis dans l'environnement des CNPE français et des spectres de référence en termes de rejets.

La recherche spécifique des radionucléides émetteurs bêta (tritium (^3H), strontium 90 (^{90}Sr) et carbone 14 (^{14}C)) et alpha (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am) et curium 244 (^{244}Cm)) a été effectuée lors du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. [Réf \[2\]](#)). Le

3. Selon la norme NF ISO 11929, le seuil de décision est la « Valeur fixée de la quantité de décision telle que, quand le résultat de mesure d'un mesurande (grandeur que l'on veut mesurer) quantifiant le phénomène physique lui est supérieur, on décide que le phénomène physique est présent ». Le seuil de décision est la valeur critique d'un test statistique pour décider entre l'hypothèse que le phénomène physique n'est pas présent et l'hypothèse alternative qu'il est présent. Selon les techniques de mesure, la limite de détection est approximativement égale à deux fois la valeur du seuil de décision. Lorsqu'une activité est proche du seuil de décision, le terme de « traces » est souvent employé pour la caractériser.

tritium (^3H) libre a par ailleurs été recherché dans l'eau de boisson et le lait de vache dans le cadre des suivis radioécologiques annuels (cf. [Réf \[3\]](#)) ainsi que le carbone 14 (^{14}C) dans un échantillon d'herbe lors du suivi radioécologique annuel de 2012.

4.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA

L'exploitation des résultats de mesures nécessite de distinguer les radionucléides produits naturellement (cf. tableau [TAB-I-2.6.2](#)) de ceux produits artificiellement (cf. tableau [TAB-I-2.6.3](#)) lors de réactions nucléaires de fission ou d'activation (essais atmosphériques, accidents nucléaires, effluents radioactifs industriels).

4.2.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les radionucléides d'origine naturelle, identifiés par spectrométrie gamma (γ) dans les différents compartiments de l'écosystème terrestre du site de Flamanville (cf. tableau [TAB-I-2.6.2](#)), sont d'origine tellurique (potassium 40 (^{40}K) et les radionucléides issus des familles de l'uranium 238 (^{238}U) et du thorium 232 (^{232}Th)) ou d'origine cosmogénique (béryllium 7 (^7Be)).

La radioactivité d'origine naturelle est essentiellement liée au **potassium 40 (^{40}K)**. Ce radionucléide présente une activité souvent supérieure à toutes les autres activités cumulées. Il est détecté majoritairement dans les légumes, principalement en raison de l'apport d'engrais potassiques, puis, par ordre décroissant d'activité, dans les sols, les mousses terrestres, l'herbe de prairie, les fruits, les céréales, les lichens, le cidre, le lait de vache et l'eau de boisson.

En ce qui concerne les principaux radionucléides issus des familles de l'**uranium 238 (^{238}U)** et du **thorium 232 (^{232}Th) (actinium 228 (^{228}Ac), protactinium 234 (^{234}Pa) et plomb 210 (^{210}Pb))**, leurs activités varient d'une matrice à l'autre ; elles sont notables dans les sols cultivés ou non (~ 20 à $140 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et moindres dans les céréales et les fruits ($< 1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$). Leurs activités dans le cidre, le lait de vache et l'eau de boisson sont inférieures ou très proches de la limite de détection. Il existe un déséquilibre excédentaire en faveur du plomb 210 (^{210}Pb) dans les mousses, les lichens, les légumes et les herbes qui correspond à un apport par les précipitations. En effet, le radon (^{222}Rn) qui émane du sol produit du plomb 210 (^{210}Pb) qui en raison de sa période de 22,1 ans, s'accumule avant d'être lessivé lors des épisodes pluvieux.

Le **béryllium 7 (^7Be)**, issu de l'interaction des rayonnements cosmiques avec les noyaux d'oxygène ou d'azote atmosphériques, est détecté systématiquement et de manière abondante dans les mousses (140 à $1900 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$), et en moindre mesure dans les lichens, les herbes, les légumes et plus rarement dans les céréales, les sols, les fruits et le cidre. Il n'a jamais été identifié dans le lait et l'eau de boisson.

Il ressort de ces études et suivis que la radioactivité d'origine naturelle dans l'environnement terrestre du site de Flamanville est stable depuis l'état de référence.

4.2.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Durant la période 2006-2012, les césiums 134 et 137 (^{134}Cs et ^{137}Cs), le cobalt 60 (^{60}Co), l'américium 241 (^{241}Am) et l'iode 129 (^{129}I) sont les seuls radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle détectés dans l'environnement du site. En effet, pour les autres radionucléides artificiels détectés lors de l'état de référence et c'est notamment le cas pour le cobalt 58 (^{58}Co), l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), le manganèse 54 (^{54}Mn) et l'iode 131 (^{131}I), les activités mesurées sont depuis 2006 inférieures aux limites de détection. (cf. tableau [TAB-I-2.6.3](#)).

Ainsi, du **césium 137 (^{137}Cs)** est mesuré dans les lichens, les sols cultivés ou non, les mousses terrestres, les légumes, les herbes, le lait de vache et le cidre. Dans les prélèvements de céréales, de fruits et d'eau de boisson, l'activité du césium 137 (^{137}Cs) est inférieure à la limite de détection.

Les niveaux d'activités du césium 137 (^{137}Cs) sont constants ou en baisse dans tous les compartiments sur la période considérée. Ils ne présentent aucune différence significative entre les zones non influencées et celles potentiellement influencées par les rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du site de Flamanville. Les essais atmosphériques d'armes nucléaires et l'incendie du

silos de La Hague du 16 janvier 1981 sont à l'origine de la détection de ce radionucléide dans l'environnement terrestre du site de Flamanville. De plus, les retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986, bien que faibles dans cette région, sont également à l'origine d'un apport de césium 137 (^{137}Cs).

En septembre 2011, des traces de **césium 134** (^{134}Cs) sont détectées dans un échantillon de lait de vache prélevé à Siouville. Cette mesure témoigne des retombées du panache radioactif de la centrale de Fukushima Daiichi (Japon) au cours de la seconde quinzaine du mois de mars 2011.

Le **cobalt 60** (^{60}Co) a été détecté de 2006 à 2010 dans cinq échantillons de lichen sur sept prélevés en bord de falaise (0,64 à 2,60 Bq.kg⁻¹ sec). A partir de 2010, l'activité de ce radionucléide est inférieure à la limite de détection. Son origine peut être majoritairement attribuée à l'influence, via les embruns, de l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO la Hague. Les traces d'**américium 241** (^{241}Am) et d'**iode 129** (^{129}I) détectées dans des échantillons de lichen (^{241}Am : $0,7 \pm 0,2$ Bq.kg⁻¹ sec ; ^{129}I : $0,4 \pm 0,2$ Bq.kg⁻¹) et de mousses terrestres (^{129}I : $0,8 \pm 0,3$ Bq.kg⁻¹) lors du dernier bilan radioécologique décennal de 2006 ont la même origine.

Les analyses d'**iode 131** (^{131}I) réalisées sur des échantillons frais de mousses terrestres, de lichens, de légumes et de lait de vache ne révèlent pas la présence de cet élément à des niveaux d'activités supérieurs aux limites de détection.

Depuis le dernier bilan décennal de 2006, aucune différence significative des niveaux de radioactivité artificielle n'est observée entre les échantillons récoltés dans le milieu terrestre sous et hors influence des rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du CNPE de Flamanville. Aucune contribution du site à l'apport de radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle dans le milieu récepteur n'a pu être mise en évidence dans l'environnement terrestre du site.

4.3. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BÊTA (B)

La mesure du **tritium** (^3H) libre dans l'eau et le lait est réalisée chaque année. D'autre part, les principaux **radionucléides émetteurs β** (le **carbone 14** (^{14}C), et bien qu'absent des rejets du site le **strontium 90** (^{90}Sr)) ont fait l'objet d'une recherche spécifique sur des échantillons de végétaux, de sol, de lait et d'eau lors du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. tableau [TAB-I-2.6.4](#)). Des analyses complémentaires en **carbone 14** (^{14}C) et **tritium organique** (^3H) ont été également réalisées respectivement dans un échantillon d'herbe et dans un prélèvement de lait lors du suivi annuel de 2012.

L'activité du **tritium libre** (^3H) mesurée dans l'environnement terrestre du site (végétaux, sols, lait de vache, eau et fruits) est comprise entre 0,9 et 4,4 Bq.L⁻¹. Ces valeurs sont cohérentes avec les niveaux mesurés en France métropolitaine (<10 Bq.L⁻¹) (cf. figure [FIG-I-2.6.1](#)). Une recherche spécifique de la **forme organique du tritium** (^3H organique) a été réalisée lors du bilan radioécologique décennal de 2006 et du suivi annuel de 2012. Cette mesure complexe a été entreprise dans 5 compartiments : le lierre, les herbes de prairie, les légumes, les fruits, et le lait de vache. Les activités mesurées sur l'ensemble des matrices sont comprises entre 1,3 et 3,1 Bq.L⁻¹ d'eau de combustion (cf. figure [FIG-I-2.6.1](#)). L'ensemble de ces valeurs est conforme aux activités mesurées sur le territoire français (cf. [Réf \[8\]](#)).

Les résultats en **carbone 14** (^{14}C) acquis dans les prélèvements d'herbe, de sol non cultivé, de lait, de lierre, de légume et de fruit lors du deuxième bilan décennal du site de Flamanville en 2006, constituent les premières activités acquises pour ce radionucléide dans l'environnement terrestre du site (cf. figure [FIG-I-2.6.2](#)). Les activités mesurées dans les quinze échantillons de l'écosystème terrestre, prélevés hors ou sous influence des effluents radioactifs gazeux du site de Flamanville, sont toutes comprises dans la gamme d'activité massique en carbone 14 (^{14}C) échangeable de l'atmosphère mesurée pour des zones considérées hors influence de tout rejet d'installation nucléaire (environ 240 Bq.kg⁻¹ de carbone). En 2012, ces observations sont confirmées par la mesure de carbone 14 réalisée sur un prélèvement d'herbe.

Le **strontium 90** (^{90}Sr) a été détecté au cours des deux bilans décennaux de 1996 et 2006 dans les lichens et les mousses terrestres, les herbes, les légumes, les fruits, le cidre et le lait. Ce radionucléide

n'a pas été détecté dans les eaux de boisson. Non présent dans le spectre des rejets d'effluents radioactifs du site de Flamanville, la présence du strontium 90 (^{90}Sr) est attribuable aux retombées atmosphériques des tirs nucléaires. Dans l'ensemble des compartiments environnementaux, l'activité du strontium 90 (^{90}Sr) est conforme aux niveaux habituellement rencontrés sur le territoire français et est en décroissance.

Le **nickel 63** (^{63}Ni) a fait l'objet en 2006 de mesures dans trois prélèvements de sols non cultivés. Les activités mesurées dans ce compartiment restent inférieures à la limite de détection.

En conclusion, aucune contribution du site de Flamanville à l'apport de radionucléides émetteurs bêta (β) dans l'écosystème terrestre n'a pu être mise en évidence sur la période 2006-2012.

4.4. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA

Bien qu'absent des rejets du site de Flamanville, les radionucléides émetteurs alpha (α) (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am) et curium 244 (^{244}Cm)) ont fait l'objet d'une recherche spécifique dans les sols, les herbes, les mousses terrestres, les lichens et le lait de vache lors du dernier bilan radioécologique décennal, réalisé en 2006 (cf. tableau [TAB-I-2.6.5](#)).

Le **plutonium 238** (^{238}Pu) a été détecté dans toutes les matrices prélevées à l'exception du lait où son activité est inférieure à la limite de détection. Le **plutonium 239 et 240** ($^{239+240}\text{Pu}$) est détecté dans tous les échantillons et présente des activités plus élevées.

L'**américium 241** (^{241}Am) est décelé dans les sols, les herbes de prairie, les mousses terrestres et les lichens. Dans le lait, il n'est détecté que dans un échantillon sur trois. Les activités en **curium 244** (^{244}Cm) ont été mesurées dans les sols, les herbes de prairie, les mousses terrestres et les lichens. L'activité de ce radionucléide est inférieure à la limite de détection dans le lait de vache.

L'exploitation des rapports d'activité $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ permet de préciser l'origine de ces radionucléides. En effet, la présence de ces transuraniens résulte des retombées des essais nucléaires aériens (années 1960 à 1980) comme en témoignent les rapports isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ compris entre 0,03 et 0,044 (sols, herbes) et les rapports $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ compris entre 0,38 et 0,39 (sols) qui sont proches des valeurs caractéristiques de cette origine ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0,03$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu} = 0,4$).

En revanche, les lichens prélevés en bord de falaise, et les mousses terrestres prélevées près du littoral présentent des rapports isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ plus élevés que les valeurs caractéristiques des retombées atmosphériques des tirs nucléaires (respectivement 0,31 et 2,78). Ces résultats témoignent d'un apport lié aux rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague via les embruns.

Les faibles activités constatées dans deux échantillons d'herbes et dans le lait de vache ne permettent pas d'exploiter les rapports d'activité pour déterminer l'origine des transuraniens mais ne peuvent être attribuées à l'exploitation du site de Flamanville en raison de l'absence de ce type de radionucléides dans les rejets du site.

En conclusion, la présence des radionucléides émetteurs alpha ne peut être attribuée aux rejets d'effluents radioactifs atmosphériques du site de Flamanville. Ils trouvent leur origine dans les retombées des tirs atmosphériques d'armes nucléaires et dans les effluents de l'usine de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague.

4.5. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

La radioactivité présente dans l'écosystème terrestre à proximité du CNPE de Flamanville est majoritairement d'origine naturelle et est stable depuis l'état de référence. Elle est essentiellement due au **potassium 40** (^{40}K) dans les sols et les végétaux, et au **béryllium** (^7Be) dans les mousses terrestres et les lichens. En comparaison, les radionucléides issus des familles du **thorium 232** (232

Th) et de l'**uranium 238** (^{238}U) (actinium 228 (^{228}Ac), protactinium 234 (^{234}Pa) et plomb 210 (^{210}Pb)) sont détectés à des fréquences et des niveaux d'activité moindres.

Les radionucléides artificiels, qui ont été mis en évidence dans l'environnement terrestre du site de Flamanville, proviennent majoritairement d'une rémanence des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. Ces événements anciens sont à l'origine de la détection au cours des sept dernières années (période 2006-2012) de **césium 137** (^{137}Cs) et, uniquement pour les tirs nucléaires, de **strontium 90** (^{90}Sr), de **transuraniens (plutonium 238** (^{238}Pu), **plutonium 239 et 240** ($^{239+240}\text{Pu}$) et **américium 241** (^{241}Am)), de **carbone 14** (^{14}C) et de **tritium** (^3H). Ces deux derniers radionucléides sont par ailleurs produits par voie naturelle. En outre, les activités du **cobalt 60** (^{60}Co) mesurées dans les lichens prélevés sur les falaises du bord de mer jusqu'en 2010 sont majoritairement imputables à l'influence, via les embruns, de l'usine de retraitement des combustibles d'ORANO La Hague. Les détections ponctuelles d'**américium 241** (^{241}Am) et d'**iode 129** (^{129}I) témoignent de la même origine. Les traces de **césium 134** (^{134}Cs) mesurées dans un échantillon de lait en 2011 sont les témoins des retombées de l'accident de Fukushima-Daiichi.

Concernant les radionucléides **émetteurs bêta** (β), aucune contribution du CNPE de Flamanville aux activités mesurées dans l'environnement terrestres du site n'a été mise en évidence. Les niveaux de **carbone 14** (^{14}C) et de **tritium** (^3H) observés ne se distinguent pas de ceux habituellement rencontrés sur l'ensemble du territoire. De plus, les activités en **strontium 90** (^{90}Sr), radionucléide absent des rejets d'effluents radioactifs du site, sont imputables aux retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires.

La recherche des **radionucléides émetteurs alpha** (α), également absents des rejets d'effluents radioactifs, a permis d'en préciser les origines : les retombées des essais nucléaires et les effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement du combustible d'ORANO La Hague via les embruns.

Ainsi, les études menées depuis 2006 n'ont mis en évidence aucune contribution du site de Flamanville à l'apport de radionucléides artificiels dans l'écosystème terrestre.

5. SITUATION RADIOLOGIQUE ACTUELLE DE L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE

MARIN

5.1. GÉNÉRALITÉS

L'objectif de ce paragraphe est de décrire l'état radioécologique actuel de l'environnement aquatique marin du site de Flamanville. Les données utilisées sont issues du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. [Réf \[2\]](#)) et des suivis radioécologiques annuels de 2007 à 2012 (cf. [Réf \[3\]](#)).

Les stations de prélèvements sont choisies en fonction des conditions courantologiques (dérive des eaux marines) et du sens d'écoulement des eaux souterraines. Afin de pouvoir apprécier l'influence potentielle des rejets d'effluents radioactifs liquides émis par le site de Flamanville, trois zones de prélèvements ont été prises en compte (cf. figure [FIG-I-2.6.7](#)) :

- la zone potentiellement plus influencée par les rejets de la centrale. Elle comprend les stations situées dans un rayon de 2 à 3 km du canal de rejet, sur ou près des ouvrages portuaires et des digues, au large en mer et le long du littoral nord-nord-est : stations Diélette Port, CNPE Digue Nord, CNPE au large, Sciotot ;
- la zone moins influencée par les rejets du site. Elle est située plus au sud et sud-ouest : stations Carteret port, Carteret au large, St George la Rivière ;
- la zone potentiellement influencée par les rejets des effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement de combustible d'ORANO La Hague : station de Goury Port.

Les résultats obtenus sont présentés par type d'émissions radioactives émises par les radionucléides et de matrices du tableau [TAB-I-2.6.6](#) au tableau [TAB-I-2.6.9](#). Depuis 2011, les résultats de mesure non significatifs sont exprimés par rapport au seuil de décision (cf. note de bas de page n°3) : ces

valeurs sont converties dans ce chapitre en limite de détection afin d'homogénéiser l'ensemble des valeurs présentées.

Les mesures par spectrométrie γ sont les plus fréquentes. Elles permettent d'identifier et de quantifier simultanément un grand nombre de radionucléides d'origine naturelle et/ou artificielle. Les radionucléides présentés dans cette étude sont ceux qui ont été détectés dans l'environnement du site de Flamanville ou qui sont susceptibles de l'être en considérant le retour d'expérience acquis dans l'environnement des CNPE français et en fonction du spectre de rejet.

La recherche spécifique des radionucléides émetteurs β (tritium (^3H), strontium 90 (^{90}Sr), carbone (^{14}C), nickel 63 (^{63}Ni) et technétium 99 (^{99}Tc)) et émetteurs alpha (α) (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am) et curium 244 (^{244}Cm)) a été effectuée lors du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. [Réf \[2\]](#)). De plus, le tritium (^3H) libre a été recherché, dans le cadre des suivis radioécologiques annuels (cf. [Réf \[3\]](#)), dans les algues en 2007, dans les poissons de 2008 à 2010 et dans les mollusques en 2011 et 2012.

5.2. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS GAMMA

L'exploitation de ces mesures nécessite de distinguer les radionucléides produits naturellement (cf. tableau [TAB-I-2.6.6](#)) de ceux produits artificiellement (cf. tableau [TAB-I-2.6.7](#)) lors de réactions nucléaires de fission ou d'activation (essais atmosphériques, accidents nucléaires, effluents radioactifs industriels autorisés).

5.2.1. Radionucléides émetteurs gamma d'origine naturelle

Les radionucléides d'origine naturelle, présents dans les différents compartiments de l'écosystème marin sont d'origine tellurique : familles du **thorium 232** (^{232}Th) et de l'**uranium 238** (^{238}U), **potassium 40** (^{40}K), et cosmique: **béryllium 7** (^7Be).

Le **potassium 40** (^{40}K) constitue la principale source de radioactivité γ naturelle dans les matrices étudiées de l'écosystème marin. Il est détecté systématiquement dans tous les compartiments de l'écosystème marin dans lesquels il a été recherché. Aucune évolution significative au cours des années n'est observée, quelle que soit la zone de prélèvement considérée. Par ordre décroissant d'activité, le potassium 40 (^{40}K) est détecté dans les algues, les sédiments, les poissons, les mollusques, et les crustacés.

Le **béryllium 7** (^7Be) produit par l'interaction du rayonnement cosmique sur les atomes d'azote et d'oxygène de l'atmosphère est détecté de manière abondante dans les algues, puis dans les sédiments. Dans les mollusques, les activités en béryllium 7 (^7Be) sont plus faibles. Il n'a été détecté qu'une seule fois dans les prélèvements de crustacés et n'a jamais été détecté dans les échantillons de poissons.

A ces deux radionucléides viennent s'ajouter ceux issus des familles du **thorium 232** (^{232}Th) et de l'**uranium 238** (^{238}U) : **actinium 228** (^{228}Ac), **thorium 234** (^{234}Th), **protactinium 234** (^{234}Pa), **plomb 210** (^{210}Pb). Ils sont principalement mesurés dans les sédiments et les algues brunes. Ils sont présents plus ponctuellement et à des activités massiques plus faibles dans les mollusques et les crustacés. Ils n'ont été détectés qu'une fois dans les poissons.

Il ressort de ces études et suivis que la radioactivité d'origine naturelle dans l'environnement marin du site de Flamanville est stable depuis l'état de référence.

5.2.2. Radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle

Parmi les radionucléides émetteurs γ d'origine artificielle, le **césium 137** (^{137}Cs) est détecté dans l'ensemble des compartiments environnementaux étudiés, à des activités équivalentes entre les échantillons prélevés en zones potentiellement influencées et ceux collectés en zones non influencées par les rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville. Ce radionucléide est présent dans les sédiments, les algues brunes, les poissons, les mollusques ainsi que dans les crustacés. Au cours des dernières années, une certaine stabilité des niveaux mesurés est observée et à des activités restant faibles. Outre la rémanence des retombées atmosphériques globales, son origine est

à attribuer aux rejets d'effluents radioactifs des installations nucléaires locales (usine ORANO la Hague et CNPE de Flamanville). De par l'existence de différentes sources pour ce radionucléide, la contribution des effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville à l'apport de **césium 137** (^{137}Cs) dans l'environnement ne peut être distinguée des autres sources industrielles.

A ce radionucléide s'ajoute du **cobalt 60** (^{60}Co) essentiellement dans les sédiments, les algues brunes, les crustacés et les mollusques. La présence de ce radionucléide est à attribuer très majoritairement aux rejets d'effluents radioactifs de l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO La Hague dont les activités annuelles rejetées en cobalt 60 sont 1000 fois supérieures à celles du CNPE de Flamanville dont l'éventuelle contribution n'est, de fait, pas perceptible.

Il est accompagné de traces de **cobalt 57** (^{57}Co) dans un échantillon de sédiment prélevé au niveau d'une station non soumise aux rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE et dans un prélèvement de poisson collecté en zone potentiellement influencée par les rejets du site. Ce radionucléide ne figurant pas dans les spectres de rejets du CNPE de Flamanville mais est présent dans celui de l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO de la Hague, l'origine de sa présence dans l'environnement est attribuable à l'usine d'ORANO.

Du **ruthénium-rhodium 106** ($^{106}\text{Ru-Rh}$) est décelé plus fréquemment dans les algues brunes et les mollusques ; des traces sont également détectées dans un échantillon de crustacés prélevé en zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents radioactifs liquides du site. Plus généralement, les activités de ce radionucléide sont similaires entre les échantillons prélevés en zone potentiellement influencée et ceux collectés en zone non influencée par les rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville. Le $^{106}\text{Ru-Rh}$, non présent dans les rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville, provient exclusivement des rejets de l'usine de retraitement de combustibles usés d'ORANO La Hague.

La détection ponctuelle d'**argent 110 métastable** ($^{110\text{m}}\text{Ag}$) dans les mollusques peut éventuellement être attribuée aux effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville mais aussi à ceux de l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO la Hague puisque ce radionucléide est présent dans le spectre des rejets de ces deux installations. L'**argent 108 métastable** ($^{108\text{m}}\text{Ag}$) est détecté dans les mollusques et les crustacés au niveau des stations de prélèvement sous influence des rejets d'effluents radioactifs liquides du site. Son origine reste à préciser car ce radionucléide ne figure pas dans les rejets d'effluents liquides déclarés de l'usine ORANO La Hague ni dans ceux du CNPE de Flamanville.

De l'**américium 241** (^{241}Am) est mesuré, à des niveaux proches de la limite de détection, dans les algues brunes et dans la faune marine. L'origine prépondérante de ce radionucléide est à attribuer aux rejets de l'usine de retraitement de combustibles usés d'ORANO La Hague. Dans une moindre mesure, la rémanence des tirs nucléaires contribue également à la détection de ce radionucléide dans l'environnement.

Enfin, l'**iode 129** (^{129}I) a été détecté, ponctuellement, en 2006, dans des échantillons d'algues brunes. Absent des rejets d'effluents radioactifs liquides du site de Flamanville, ce radionucléide est caractéristique des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO La Hague.

Les activités du **césium 134** (^{134}Cs), du **cobalt 58** (^{58}Co), du **manganèse 54** (^{54}Mn) et de l'**iode 131** (^{131}I) demeurent inférieures à la limite de détection dans l'ensemble des échantillons de l'environnement marin du site analysés durant la période 2006 - 2012.

Dans le milieu marin, les études menées depuis 2006 montrent que la radioactivité gamma d'origine artificielle est sous l'influence des trois termes sources principaux : les retombées atmosphériques globales, les rejets de l'usine de la Hague, et les rejets d'effluents du CNPE de Flamanville. La baisse des niveaux d'activités mesurés observée depuis le début des années 1990 se poursuit, en lien avec la diminution des rejets des installations.

La radioactivité gamma artificielle est actuellement essentiellement due au césium 137 (^{137}Cs), potentiellement issu des trois origines, et au cobalt 60 (^{60}Co) rejeté par l'usine de la Hague, et dans une moindre mesure, par le CNPE de Flamanville.

La présence ponctuelle de traces d'argent 110 métastable (^{110m}Ag) dans les mollusques est liée aux rejets d'effluents des deux installations.

L'influence des rejets de l'usine de la Hague se traduit également par la détection dans le milieu marin de radionucléides caractéristiques des activités liées au traitement du combustible usé (américium 241 (^{241}Am), iode 129 (^{129}I), ruthénium-rhodium 106 ($^{106}\text{Ru-Rh}$) ...).

5.3. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BÊTA

Lors du bilan radioécologique décennal de 2006 (cf. [Réf \[2\]](#)) les principaux radionucléides émetteurs β (tritium (^3H) libre et organique, carbone 14 (^{14}C), strontium 90 (^{90}Sr), technétium 99 (^{99}Tc) et nickel 63 (^{63}Ni)) ont fait l'objet d'une recherche spécifique. Le tritium (^3H) libre a été également recherché lors des suivis annuels de 2007 à 2012 dans les algues, les mollusques et les poissons. Le tritium (^3H) organique et le carbone 14 (^{14}C) ont également été mesurés lors du suivi radioécologique de 2012 dans des échantillons de mollusques (cf. tableau [TAB-I-2.6.8](#)).

Les activités en **tritium libre (^3H libre)** les plus élevées correspondent aux échantillons collectés dans les zones potentiellement sous influence des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine d'ORANO La Hague et des rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville, en particulier dans les mollusques, les poissons et les algues brunes. La présence du tritium libre (^3H libre) est principalement à attribuer aux rejets de l'usine de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague qui présentent des activités en tritium (^3H) 150 fois plus élevée en tritium que ceux du CNPE de Flamanville.

Les activités en **tritium organique (^3H organique)** mesurées dans les échantillons de l'écosystème marin sont proches de celles du tritium (^3H) libre. Ce radionucléide est détecté dans les sédiments, les algues brunes, les mollusques, les poissons et les crustacés. Comme pour le tritium (^3H) libre, les échantillons prélevés en zone potentiellement influencée par les rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine d'ORANO La Hague et en zone potentiellement influencée par les rejets des effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville, présentent des niveaux supérieurs à ceux collectés hors influence. Leur origine est à attribuer à l'usine de retraitement du combustible usé d'ORANO La Hague bien qu'une influence des rejets d'effluents radioactifs liquides du CNPE de Flamanville ne puisse être exclue.

Le **carbone 14 (^{14}C)** a été mesuré lors du bilan radioécologique décennal de 2006 ainsi que lors du suivi radioécologique de 2012 dans les prélèvements de sédiments, d'algues brunes, de mollusques, de crustacés et de poissons. Toutes les activités mesurées sont supérieures au niveau ambiant (240 Bq.kg $^{-1}$ de carbone en Atlantique Nord). En 2012, les activités mesurées dans les mollusques sont également supérieures aux niveaux ambiants, que celles-ci soient mesurées en champ proche ou en champ lointain. Par ailleurs, les valeurs maximales de ces mesures sont enregistrées au large de Goury (station potentiellement influencée par les rejets d'effluents liquides de La Hague). Les niveaux d'activités observés résultent principalement de l'apport en carbone 14 (^{14}C) des effluents liquides de l'usine d'ORANO La Hague. Néanmoins, un apport par le CNPE de Flamanville ne peut être exclu.

Une recherche spécifique de **strontium 90 (^{90}Sr)** a été réalisée à l'occasion du bilan radioécologique décennal de 2006. La présence de ce radionucléide à l'état de traces dans des échantillons d'algues brunes et de mollusques est à attribuer aux retombées des essais nucléaires d'armes nucléaires ainsi qu'aux effluents liquides de l'usine d'ORANO La Hague. Ce radionucléide n'est pas mis en évidence dans les rejets d'effluents du CNPE de Flamanville.

Le **technétium 99 (^{99}Tc)** a été mesuré en 2006 dans les algues brunes. Ces organismes sont connus pour leur capacité à accumuler ce radionucléide. Des traces de ce radionucléide sont mesurées également dans les crustacés. Le **technétium 99 (^{99}Tc)**, non présent dans les rejets d'effluents des centrales REP françaises, a été recherché dans l'environnement du CNPE de Flamanville en raison de sa présence dans les effluents de l'usine de traitement du combustible irradié d'ORANO La Hague. Les résultats obtenus sont conformes aux valeurs mesurées en Manche du fait des rejets de l'usine d'ORANO La Hague.

Les mesures de nickel 63 (^{63}Ni) indiquent la présence de ce radionucléide dans deux échantillons sur quatre de sédiments prélevés en 2006. Le nickel 63 (^{63}Ni) est présent dans le spectre des rejets de l'usine d'ORANO ainsi que dans celui du CNPE de Flamanville. L'influence du CNPE de Flamanville ne peut être distinguée de celle de La Hague.

Globalement, les mesures d'activité des radionucléides émetteurs bêta correspondent aux valeurs attendues du fait des niveaux d'activités mesurables dans l'eau de mer et des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement du combustible d'ORANO La Hague. La contribution du CNPE de Flamanville n'a pas clairement été mise en évidence mais ne peut être exclue.

5.4. RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA

Le site de Flamanville ne dispose pas d'autorisation de rejet pour les radionucléides émetteurs alpha (α). L'absence de radionucléides alpha est vérifiée grâce à une mesure alpha globale de l'effluent avant rejet. Cependant, la recherche spécifique d'un certain nombre de radionucléides émetteurs α d'origine artificielle (plutonium 238 (^{238}Pu), plutonium 239 et 240 ($^{239+240}\text{Pu}$), américium 241 (^{241}Am) et cérium 244 (^{244}Cm)) a été entreprise lors du bilan radioécologique décennal de 2006 afin d'en préciser l'origine (cf. tableau [TAB-I-2.6.9](#)).

Le **plutonium 238** (^{238}Pu), le **plutonium 239 et 240** ($^{239+240}\text{Pu}$) et l'**américium 241** (^{241}Am) sont détectés systématiquement dans les sédiments, les algues brunes, les mollusques, les crustacés et les poissons. Ils sont accompagnés du **curium 244** (^{244}Cm) dans les sédiments et dans les végétaux marins. Des traces de ce radionucléide sont également visibles dans la faune marine.

L'exploitation des rapports d'activité $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ permet de préciser l'origine de ces radionucléides. Le rapport $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ est compris entre 0,30 et 3,71 tandis que celui de $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ présente des valeurs plus étendues allant de 0,37 à 207. Ces rapports sont supérieurs à ceux caractéristiques des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0,03$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu} = 0,4$). Ils traduisent l'influence des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine d'ORANO La Hague, source majeure de transuraniens en Manche.

5.5. BILAN DE L'ÉTAT RADIOLOGIQUE ACTUEL DE L'ENVIRONNEMENT MARIN

La radioactivité d'origine naturelle est essentiellement due au **potassium 40** (^{40}K) dans les algues, les sédiments et les poissons, ainsi qu'au **béryllium 7** (^7Be) principalement dans les algues. Ces radionucléides sont accompagnés, à des activités et une fréquence moindre, de ceux issus des familles du **thorium 232** (^{232}Th) et de l'**uranium 238** (^{238}U).

Les **radionucléides d'origine artificielle** détectés dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville peuvent être classés en trois catégories :

- les radionucléides qui ne font pas partie du spectre de rejet d'effluents radioactifs du CNPE de Flamanville et qui proviennent d'autres sources, notamment les rejets d'effluents radioactifs de l'usine d'ORANO La Hague (^{241}Am , ^{106}Ru , ^{129}I , ^{57}Co ,...) et les retombées des essais nucléaires anciens (**isotopes du plutonium...**) ;
- les radionucléides faisant partie du spectre de rejet d'effluents radioactifs du CNPE, mais ayant d'autres sources potentielles, telles que les rejets de l'usine d'ORANO La Hague (^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{63}Ni ...), les retombées atmosphériques des essais nucléaires et de Tchernobyl (^{137}Cs) ;
- les radionucléides dont l'origine n'est pas établie ($^{108\text{m}}\text{Ag}$..).

Les diverses matrices sédimentaires et biologiques collectées dans l'environnement marin du CNPE de Flamanville depuis 2006 sont essentiellement marquées, à de faibles niveaux d'activité, par le **césium 137** (^{137}Cs), potentiellement issu de différentes sources : l'usine de retraitement du combustible usagé de d'ORANO La Hague, les retombées atmosphériques des essais nucléaires et le CNPE de Flamanville, et par le **cobalt 60** (^{60}Co), rejeté par l'usine de la Hague, et dans une moindre mesure, par le CNPE de Flamanville.

Les activités en **tritium** (^3H) libre et organique, **carbone 14** (^{14}C) et **nickel 63** (^{63}Ni) correspondent aux valeurs attendues dans l'eau de mer du fait des rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine de retraitement des combustibles usés d'ORANO La Hague. L'influence potentielle du CNPE ne peut être mise en évidence pour ces radionucléides du fait du marquage prépondérant lié aux rejets de l'usine de La Hague.

La présence ponctuelle de traces d'**argent 110 métastable** ($^{110\text{m}}\text{Ag}$) dans les mollusques est liée aux rejets d'effluents des deux installations.

L'usine de retraitement de La Hague est également à l'origine de la détection dans l'environnement du site de **ruthénium-rhodium 106** ($^{106}\text{Ru-Rh}$), d'**iode 129** (^{129}I), de **technétium 99** (^{99}Tc) et de traces de **cobalt 57** (^{57}Co).

De la même façon, les émetteurs α **plutonium 238** (^{238}Pu), **plutonium 239 et 240** ($^{239+240}\text{Pu}$), **américium 241** (^{241}Am), **curium 244** (^{244}Cm) et **strontium 90** (^{90}Sr) ne figurent pas dans les rejets du CNPE de Flamanville. La présence de ces radionucléides est attribuable aux rejets d'effluents radioactifs liquides de l'usine d'ORANO La Hague et les retombées atmosphériques des essais nucléaires.

Enfin, des traces d'**argent 108 métastable** ($^{108\text{m}}\text{Ag}$) ont été détectées dans l'environnement aquatique du site. Leur origine n'a pas clairement été établie.

Globalement, les résultats des études radioécologiques menées depuis 2006 montrent que la radioactivité d'origine artificielle est toujours sous l'influence des trois termes sources principaux : les rejets de l'usine de la Hague, les retombées atmosphériques globales et les rejets d'effluents du CNPE de Flamanville. La baisse des activités mesurées dans l'environnement de Flamanville observée depuis le début des années 1990 se poursuit. Celle-ci est en lien avec les efforts accomplis par les exploitants (ORANO et EDF) pour diminuer les rejets de leurs installations.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Masson, M., 1997. Bilan radioécologique décennal du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Flamanville : 1996. IPSN/DPRE/SERE/LERFA, Octeville. Document SRE 97/016 (P), 65 p. et annexes.

[2] Masson, M., 2008. Bilan radioécologique décennal 2006 de l'environnement proche du Centre Nucléaire de Production d'Electricité de Flamanville. IRSN/LRC. Rapport DEI/SECRE-2008-41, 139 p. et annexes.

[3] IPSN/DPEI/SERE, 1991 à 1994, rapports SERE n° 92/039, 93/101 (I), 94/175 (P), 95/040 ; IPSN/DPRE/SERE, 1995 à 1997, rapports SERE n° 96/028 (P), 97/012 (P), 98/012 (P) ; IPSN/DPRE/SERNAT, 1998 à 2001, rapports SERNAT n° 1999/11, 2000/26, 2001/30, 2002/07, IRSN/DEI/SESURE, 2002 à 2011, rapports DEI/SESURE n° 06-04, 07-26, 08-04, 09-21, 10-09, 11-06, 1204 ; Suivis radioécologiques annuels de l'environnement terrestre, aquatique et marin des centres nucléaires de production d'électricité français, années 2006 à 2011. Rapport PRP-ENV/SESURE/2013-05, Suivi radioécologique de l'environnement terrestre, aquatique continental et marin des centres nucléaires de production d'électricité français, année 2012 (version provisoire).

[4] Ottavi, L., Disdier, R., Marchand, S. et Carrère, D., 1984. Point zéro radioécologique du site de Flamanville. Écosystèmes terrestres. IPSN/CEA/SERE, Laboratoire de Radioécologie Appliquée, Cadarache. 58 p. et annexes.

[5] Maubert, H., Cartier, Y. et Picat, P., 1983. Étude radioécologique de la Manche. Site de Flamanville. Point zéro radiosédimentologique. IPSN/CEA, Laboratoire d'Études de Pollution des Eaux, Cadarache. 44.

[6] IRSN/DEI/2011-01, février 2012. Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement.

[7] Roussel-Debet S., Gontier G, Siclet F. et Fournier M. (2006) : Distribution of carbon 14 in the terrestrial environment close to French nuclear power plants, Journal of Environmental Radioactivity, 87 (2006), 246-259.

[8] IRSN/DEI 2009-05. Livre blanc Tritium ASN, 07/2010. Chapitre 1 : le tritium dans l'environnement, synthèse des connaissances.

TAB-I-2.6.1 SYMBOLE CHIMIQUE, NOM, TYPE DE TRANSFORMATION ET PÉRIODE RADIOACTIVE DES PRINCIPAUX RADIONUCLÉIDES CITÉS DANS LE DOCUMENT

	Radionucléide			
	Symbole	Nom	Type de transformation	Période radioactive
période inférieure à 1 jour	¹⁰⁶ Rh	<i>rhodium</i>	β, γ	30,0 s
	¹⁴⁴ Pr	<i>praséodyme</i>	β, γ	17,3 min
	²²⁸ Ac	<i>actinium</i>	β, γ	6,2 h
	²³⁴ Pa	<i>protactinium</i>	β, γ	6,7 h
	¹³⁵ Xe	<i>xénon</i>	β, γ	9,2 h
période comprise entre 1 jour et 1 an	¹³³ Xe	<i>xénon</i>	β, γ	5,27 j
	¹³¹ I	<i>iode</i>	β, γ	8 j
	²³⁴ Th	<i>thorium</i>	β, γ	24 j
	¹⁰³ Ru	<i>ruthénium</i>	β, γ	40 j
	⁷ Be	<i>béryllium</i>	β, γ	53 j
	⁵⁸ Co	<i>cobalt</i>	β, γ	71 j
	⁷⁵ Se	<i>sélénium</i>	β, γ	120 j
	^{110m} Ag	<i>argent</i>	β, γ	250 j
	¹⁴⁴ Ce	<i>cérium</i>	β, γ	285 j
⁵⁴ Mn	<i>manganèse</i>	β, γ	312 j	
période comprise entre 1 an et 100 ans	¹⁰⁶ Ru	<i>ruthénium</i>	β, γ	1,0 a
	¹³⁴ Cs	<i>césium</i>	β, γ	2,1 a
	¹²⁵ Sb	<i>antimoine</i>	β, γ	2,8 a
	⁶⁰ Co	<i>cobalt</i>	β, γ	5,3 a
	²²⁶ Ra	<i>radium</i>	α, γ	5,75 a
	⁸⁵ Kr	<i>krypton</i>	β, γ	10,4 a

	Radionucléide			
	Symbole	Nom	Type de transformation	Période radioactive
	³ H	<i>tritium</i>	β	12,3 a
	²⁴⁴ Cm	<i>curium</i>	α, γ	18,11 a
	²¹⁰ Pb	<i>plomb</i>	β, γ	22,3 a
	⁹⁰ Sr	<i>strontium</i>	β	29,0 a
	¹³⁷ Cs	<i>césium</i>	β, γ	30,0 a
	²³⁸ Pu	<i>plutonium</i>	α, γ	88,0 a
période supérieure à 100 ans	⁶³ Ni	<i>nickel</i>	β	101 a
	²⁴¹ Am	<i>américium</i>	α, γ	433 a
	¹⁴ C	<i>carbone</i>	β	5700 a
	²⁴⁰ Pu	<i>plutonium</i>	α, γ	6600 a
	²³⁹ Pu	<i>plutonium</i>	α, γ	24 100 a
	¹²⁹ I	<i>iode</i>	β, γ	1,61.10 ⁷ a
	⁴⁰ K	<i>potassium</i>	β, γ	1,3.10 ⁹ a
	²³⁸ U	<i>uranium</i>	α, γ	4,5.10 ⁹ a
	²³² Th	<i>thorium</i>	α, γ	1,4.10 ¹⁰ a

TAB-I-2.6.2 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE NATURELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Nature	Année de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	en Bq.kg ⁻¹ sec pour les sols et les végétaux, en Bq.L ⁻¹ pour l'eau, le lait de vache et le cidre					
				⁴⁰ K	Famille du ²³² Th		Famille de l' ²³⁸ U		⁷ Be
					²²⁸ Ac	²³⁴ Th	²³⁴ Pa	²¹⁰ Pb	
Sols non cultivés (sol de prairie)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	480 ± 40 (1/1)	41 ± 4 (1/1)	n.a.	28 ± 10 (1/1)	n.a.	< 5 (0/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	450 - 1 020 (4/4)	36 - 140 (4/4)	n.a.	40 - 120 (4/4)	n.a.	7 ± 2 (1/4)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	358 - 670 (6/6)	21,6 - 52 (6/6)	n.a.	17 - 40 (5/6)	n.a.	< 2,9 (0/6)
Sols cultivés (céréales, salades)	2006	Surtainville Sortosville en Beaumont	12 km SSE 18 km SE	340 - 460 (3/3)	20 - 39 (3/3)	n.a.	30 ± 20 (2/3)	n.a.	4 - 7 (2/3)
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	480 - 640 (2/2)	37 - 47 (2/2)	n.a.	40 ± 20 (2/2)	n.a.	12 ± 4 (1/2)
	2007	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	550 ± 50 (1/1)	42 ± 5 (1/1)	n.a.	30 ± 20 (1/1)	n.a.	< 20 (0/1)
Herbes (prairie permanente)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	840 ± 90 (1/1)	1,5 ± 0,4 (1/1)	< 4 (0/1)	n.a.	14 ± 2 (1/1)	150 ± 20 (1/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	670 - 850 (2/2)	2,1 - 2,6 (2/2)	< 5 (0/2)	n.a.	17 - 18 (2/2)	160 - 210 (2/2)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	636 - 830 (6/6)	1,12 - 2,80 (6/6)	< 1,32 (0/6)	n.a.	4 - 17 (6/6)	66 - 273 (6/6)
Mousses terrestres	2006	Flamanville château	1,4 km SE	330 ± 30 (1/1)	19 ± 3 (1/1)	10 ± 2 (1/1)	n.a.	180 ± 20 (1/1)	390 ± 40 (1/1)
	2007 à 2012	Flamanville château Le Rozel	1,4 km SE 7 km SE	290 - 760 (6/6)	13 - 60 (6/6)	n.a.	< 118 (0/6)	n.a.	140 - 788 (6/6)
	2006	Le Pont Héland	6 km ENE	220 ± 20 (1/1)	8 ± 2 (1/1)	< 20 (0/1)	n.a.	290 ± 40 (1/1)	260 ± 30 (1/1)
	2007 à 2012	Le Pont Héland	6 km ENE	250 - 970 (6/6)	11 - 44 (6/6)	n.a.	< 124 (0/6)	n.a.	290 - 1900 (6/6)
Lichens	2006	Flamanville, falaise de Quédoy	0,8 km S	105 ± 10 (1/1)	6,0 ± 0,9 (1/1)	< 8 (0/1)	n.a.	290 ± 30 (1/1)	130 ± 20 (1/1)
	2007 à 2012	Flamanville, falaise de Quédoy	0,8 km S	67 - 200 (6/6)	3 - 10,2 (6/6)	n.a.	< 50 (0/6)	n.a.	216 - 530 (6/6)
Légumes (salades, carottes feuilles, carottes racines, choux feuilles, betteraves feuilles)	2006	Surtainville	12 km SSE	870 - 2 800 (3/3)	1,1 - 12,0 (3/3)	< 6 (0/3)	n.a.	6 - 18 (2/3)	2,1 - 140 (3/3)
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	2 100 ± 200 (1/1)	3 ± 1 (1/1)	< 20 (0/1)	n.a.	9 ± 4 (1/1)	76 ± 8 (1/1)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	940 - 2119 (6/6)	0,9 ± 0,6 (1/6)	< 4 (0/6)	n.a.	3,7 - 17,5 (4/6)	17 - 263 (6/6)
Céréales (maïs)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	440 ± 50 (1/1)	< 0,3 (0/1)	< 2 (0/1)	n.a.	5,2 ± 0,7 (1/1)	62 ± 6 (1/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	440 ± 50 (1/1)	< 0,6 (0/1)	< 2 (0/1)	n.a.	5,4 ± 0,9 (1/1)	65 ± 6 (1/1)
Fruits (pommes)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	290 ± 30 (1/1)	< 0,5 (0/1)	< 2 (0/1)	n.a.	< 2 (0/1)	5,9 ± 0,7 (1/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	490 ± 50 (1/1)	0,4 ± 0,2 (1/1)	< 0,6 (0/1)	n.a.	0,8 ± 0,3 (1/1)	6,6 ± 0,8 (1/1)
Boissons alcoolisées (cidre)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	0,60 ± 0,05 (1/1)	< 0,0012 (0/1)	< 0,005 (0/1)	n.a.	< 0,003 (0/1)	0,006 ± 0,001 (1/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	0,10 ± 0,01 (1/1)	< 0,0002 (0/1)	< 0,0005 (0/1)	n.a.	< 0,0006 (0/1)	< 0,0002 (0/1)
Lait de vache	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	46 ± 5 (1/1)	< 0,1 (0/1)	< 0,4 (0/1)	n.a.	< 0,2 (0/1)	< 0,2 (0/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	41 - 48 (2/2)	< 0,06 (0/2)	< 0,2 (0/2)	n.a.	< 0,3 (0/2)	< 0,2 (0/2)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	37 - 57 (6/6)	< 0,04 (0/6)	< 0,06 (0/6)	n.a.	< 0,08 (0/6)	< 0,06 (0/6)
Eau douce (eau de boisson)	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	0,20 ± 0,02 (1/1)	0,006 ± 0,002 (1/1)	< 0,005 (0/1)	n.a.	< 0,004 (0/1)	< 0,004 (0/1)

n.a. : non analysé

< LD : inférieur à la limite de détection

En couleur sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents gazeux du CNPE de Flamanville

Espèces prélevées : mousses terrestres - *Eurhynchium praelongum* Hedw. ; lichens - *Romalina scopulorum* dicks ; salades - Laitue *Lactuca sativa* ; carottes - *Daucus carota* ; céréales - *Zea mays* ; pommes - *Pirus malus* ; choux - *Brassica tuberosum*

Références : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville [2]; suivis radioécologiques de l'environnement terrestre de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.3 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE ARTIFICIELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Nature	Année de prélèvement	Station	Situation par rapport à site	en Bq.kg ⁻¹ sec pour les sols et les végétaux, en Bq.L ⁻¹ pour l'eau, le lait de vache et le cidre								
				¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co	⁶⁰ Co	²⁴¹ Am	^{110m} Ag	⁶⁴ Mn	¹³¹ I	¹²⁹ I
Sols non cultivés (sol de prairie)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,4 (0/1)	7,9 ± 0,7 (1/1)	n.a	< 0,3 (0/1)	n.d.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	< 0,7 (0/4)	0,4 - 8,4 (4/4)	n.a	< 0,5 (0/4)	n.d.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	< 0,2 (0/6)	2,7 - 5,7 (6/6)	< 0,3 (0/4)	< 0,22 (0/6)	n.d.	< 0,24 (0/4)	< 0,70 (0/1)	n.a.	n.a.
Sols cultivés (céréales, salades)	2006	Surtainville Sortosville en Beaumont	12 km SSE 18 km SE	< 0,4 (0/3)	1,9 - 4,7 (3/3)	n.a	< 0,3 (0/3)	n.d.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,4 (0/2)	4,2 - 5,4 (2/2)	n.a	< 0,4 (0/2)	n.d.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2007	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,3 (0/1)	7,6 ± 0,7 (1/1)	n.a	< 0,5 (0/1)	n.d.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Herbes (prairie permanente)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,3 (0/1)	0,14 ± 0,07 (1/1)	n.a	< 0,3 (0/1)	< 0,5 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	< 2 (0/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	< 0,4 (0/2)	0,18 ± 0,07 (1/2)	n.a	< 0,5 (0/2)	< 0,7 (0/2)	n.a	n.a	n.a.	< 3 (0/2)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	< 0,12 (0/6)	0,12 - 0,16 (2/6)	< 0,24 (0/4)	< 0,2 (0/6)	n.d.	< 0,18 (0/4)	< 0,16 (0/1)	n.a.	n.a.
Mousses terrestres	2006	Flamanville château	1,4 km SE	< 0,4 (0/1)	4,3 ± 0,5 (1/1)	n.a	< 0,5 (0/1)	< 0,4 (0/1)	n.a	n.a	< 2 (0/1)	< 0,6 (0/1)
	2007 à 2012	Flamanville château Le Rozel	1,4 km SE 7 km SE	< 0,88 (0/6)	3,6 - 7,0 (6/6)	< 1,03 (0/4)	< 1,18 (0/6)	n.d.	< 0,88 (0/4)	< 1,2 (0/1)	< 1,32 (0/6)	n.a.
	2006	Le Pont Héland	6 km ENE	< 0,8 (0/1)	2,9 ± 0,4 (1/1)	n.a	< 0,7 (0/1)	< 0,8 (0/1)	n.a	n.a	< 2 (0/1)	0,8 ± 0,3 (1/1)
	2007 à 2012	Le Pont Héland	6 km ENE	< 0,8 (0/6)	2,8 - 12,0 (6/6)	< 1 (0/4)	< 1,09 (0/6)	n.d.	< 0,8 (0/4)	< 1 (0/1)	< 0,8 (0/6)	n.a.
Lichens	2006	Flamanville, falaise de Quédoy	0,8 km S	< 0,3 (0/1)	6,2 ± 0,6 (1/1)	n.a	1,0 ± 0,2 (1/1)	0,7 ± 0,2 (1/1)	n.a	n.a	< 0,6 (0/1)	0,4 ± 0,2 (1/1)
	2007 à 2012	Flamanville, falaise de Quédoy	0,8 km S	< 0,34 (0/6)	2,96 - 8,93 (6/6)	< 0,38 (0/4)	0,64 - 2,60 (4/6)	n.d.	< 0,38 (0/4)	< 0,62 (0/1)	< 0,38 (0/6)	n.a.
Légumes (salades, carottes feuilles, carottes racines, choux feuilles, betteraves feuilles)	2006	Surtainville	12 km SSE	< 0,3 (0/3)	0,34 - 0,38 (2/3)	n.a	< 0,4 (0/3)	< 0,4 (0/3)	n.a	n.a	< 4 (0/1)	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,5 (0/1)	0,6 ± 0,2 (1/1)	n.a	< 0,7 (0/1)	< 0,6 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	< 0,2 (0/6)	0,22 - 0,30 (2/6)	< 0,4 (0/4)	< 0,32 (0/6)	n.d.	< 0,28 (0/4)	< 0,24 (0/1)	n.a.	n.a.
Céréales (maïs)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,07 (0/1)	< 0,06 (0/1)	n.a	< 0,09 (0/1)	< 0,1 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,2 (0/1)	< 0,09 (0/1)	n.a	< 0,2 (0/1)	< 0,2 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Fruits (pommes)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,2 (0/1)	< 0,08 (0/1)	n.a	< 0,2 (0/1)	< 0,09 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,07 (0/1)	< 0,2 (0/1)	n.a	< 0,2 (0/1)	< 0,07 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Boissons alcoolisées (cidre)	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,0002 (0/1)	0,00010 ± 0,00005 (1/1)	n.a	< 0,0003 (0/1)	< 0,0003 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,00001 (0/1)	0,00015 ± 0,00005 (1/1)	n.a	< 0,00002 (0/1)	< 0,00002 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Lait de vache	2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,02 (0/1)	0,017 ± 0,005 (1/1)	n.a	< 0,02 (0/1)	< 0,02 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	< 0,2 (0/1)
	2006	Diélette ferme Magdeleine Vasteville	2,5 km NE 8,5 km NE	< 0,02 (0/2)	0,041 ± 0,007 (1/2)	n.a	< 0,02 (0/2)	< 0,02 (0/2)	n.a	n.a	< 0,7 (0/1)	< 0,2 (0/2)
	2007 à 2012	Diélette ferme Magdeleine Siouville	2,5 km NE 2,5 km NE	0,010 ± 0,002 (1/6)	0,013 - 0,039 (6/6)	< 0,01 (0/4)	< 0,01 (0/6)	n.d.	< 0,01 (0/4)	< 0,02 (0/1)	n.a.	n.a.
Eau douce (eau de boisson)	2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,0003 (0/1)	< 0,0005 (0/1)	n.a	< 0,0003 (0/1)	< 0,0002 (0/1)	n.a	n.a	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé

n.d. : non détecté

En couleur sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents gazeux du CNPE de Flamanville

Espèces prélevées : mousses terrestres - *Eurhynchium praelongum* Hedw. ; lichens - *Romalina scopulorum* dicks ; salades - Laitue *Lactuca sativa* ; carottes - *Daucus carota* ; céréales - *Zea mays* ; pommes - *Pirus malus* ; choux - *Brassica tuberosum*

Références : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville [2]; suivis radioécologiques de l'environnement terrestre de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.4 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BETA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Réf.	Nature	Espèce et fraction	Date de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	³ H libre (en Bq.L ⁻¹)	³ H organique (en Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	¹⁴ C (en Bq.kg ⁻¹ de carbone)	⁹⁰ Sr (en Bq.kg ⁻¹ sec pour les végétaux et en Bq.L ⁻¹ pour l'eau, le lait et le cidre)	⁶³ Ni (en Bq.kg ⁻¹ sec)
1	Sols non cultivés *	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	1,2 ± 0,8	n.a.	250 ± 2	n.a.	< 0,6
1	Sols non cultivés *	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	07/09/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	1,7 ± 0,9	n.a.	235 ± 2	n.a.	< 0,6
1	Sols non cultivés *	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	1,8 ± 0,8	n.a.	247 ± 2	n.a.	< 0,7
1	Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	2,6 ± 0,8	2,5 ± 0,7	244 ± 16	3,10 ± 0,34	n.a.
1	Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	03/07/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	3,4 ± 0,9	3,1 ± 0,9	244 ± 16	1,22 ± 0,34	n.a.
1	Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	2,6 ± 0,9	2,1 ± 0,6	244 ± 16	4,52 ± 0,50	n.a.
2	Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	11/07/2012	Siouville	2,5 km NE	n.a.	n.a.	234,5 ± 1,4	n.a.	n.a.
1	Végétaux spontanés	Lierre	29/06/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	2,6 ± 0,8	2,2 ± 0,7	241 ± 18	n.a.	n.a.
1	Végétaux spontanés	Lierre	29/06/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	4,4 ± 0,8	2,5 ± 0,6	253 ± 18	n.a.	n.a.
1	Végétaux spontanés	Lierre	29/06/2006	Vasteville	8,5 km NE	2,0 ± 0,8	2,6 ± 0,7	243 ± 18	n.a.	n.a.
1	Mousses terrestres	<i>Eurhynchium praelongum</i> (entier)	20/03/2006	Flamanville Château	1,4 km SE	n.a.	n.a.	n.a.	4,5 ± 0,8	n.a.
1	Mousses terrestres	<i>Eurhynchium praelongum</i> (entier)	20/03/2006	Le Pont Héland	6 km ENE	n.a.	n.a.	n.a.	13,5 ± 2,5	n.a.
1	Lichens	<i>Ramalina scopulorum</i> (entier)	23/03/2006	Flamanville falaise de Quédoy	0,8 km S	n.a.	n.a.	n.a.	0,42 ± 0,09	n.a.
1	Légumes	<i>Daucus carota</i> (racine)	13/09/2006	Surtainville	12 km SSE	1,5 ± 0,8	1,3 ± 0,6	245 ± 17	2,28 ± 0,35	n.a.
1	Pommiers	<i>Pirus malus</i> (fruit entier)	12/10/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	0,9 ± 0,8	1,9 ± 0,7	242 ± 16	0,09 ± 0,02	n.a.
1	Pommiers	<i>Pirus malus</i> (fruit entier)	07/09/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	1,9 ± 0,8	2,2 ± 0,7	244 ± 16	0,18 ± 0,05	n.a.
1	Boissons alcoolisées	Cidre (entier)	24/11/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	n.a.	n.a.	n.a.	0,0055 ± 0,0051	n.a.
1	Boissons alcoolisées	Cidre (entier)	24/11/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	n.a.	n.a.	n.a.	0,0046 ± 0,0019	n.a.
1	Production animale	Lait de vache (entier)	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	1,2 ± 0,8	2,8 ± 0,6	244 ± 16	0,038 ± 0,010	n.a.
1	Production animale	Lait de vache (entier)	07/09/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	1,9 ± 0,8	1,8 ± 0,6	244 ± 17	0,025 ± 0,009	n.a.
1	Production animale	Lait de vache (entier)	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	1,9 ± 0,8	1,9 ± 0,6	240 ± 17	0,10 ± 0,02	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	07/08/2007	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	1,7 ± 0,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	06/08/2008	Siouville	2,5 km NE	1,4 ± 0,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	09/07/2009	Siouville	2,5 km NE	1,6 ± 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	10/08/2010	Siouville	2,5 km NE	1,1 ± 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	18/07/2011	Siouville	2,5 km NE	1,0 ± 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Production animale	Lait de vache (entier)	11/07/2012	Siouville	2,5 km NE	1,3 ± 0,6	1,4 ± 0,7	n.a.	n.a.	n.a.
1	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	07/09/2006	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 1,5	n.a.	n.a.	< 0,016	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	07/08/2007	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	05/08/2008	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	17/08/2009	Diélette ferme Magdeleine	2,5 km NE	1,0 ± 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	30/08/2010	Siouville	2,5 km NE	0,9 ± 0,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	18/07/2011	Siouville	2,5 km NE	< 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Eau douce	Eau de boisson (eau filtrée à 0,22 µm)	24/08/2012	Siouville	2,5 km NE	< 1,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé

En couleur sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents gazeux du CNPE de Flamanville

* Mesure dans les sols réalisée par émanation d'³He

Références : 1- Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville (2006) [2] 2- Suivis radioécologiques de l'environnement terrestre et marin du CNPE de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.5 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE (2006)

Nature	Espèce et fraction	Date de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
					en mBq.kg ⁻¹ sec pour les sols et les végétaux et en mBq.L ⁻¹ pour le lait de vache					
Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	6,9 ± 1,0	227,3 ± 8,2	88,2 ± 10,9	< 0,6	0,030 ± 0,005	0,39 ± 0,06
Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	07/09/2006	Dielette ferme Madeleine	2,5 km NE	12,1 ± 1,2	272,7 ± 10,0	106,4 ± 15,5	< 2,8	0,044 ± 0,006	0,39 ± 0,07
Sols non cultivés	Sol de pâturage ou de prairie Horizon 0 - 5 cm	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	8,4 ± 1,0	252,7 ± 9,3	95,7 ± 11,2	0,46 ± 0,56	0,033 ± 0,005	0,38 ± 0,06
Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,09	1,6 ± 0,3	1,8 ± 0,5	0,06 ± 0,06	-	1,17 ± 0,50
Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	05/07/2006	Dielette ferme Magdeleine	2,5 km NE	< 0,33	0,5 ± 0,3	1,2 ± 0,5	< 0,26	-	2,21
Prairies	Herbe de prairie permanente (p. aériennes)	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	0,07 ± 0,07	2,2 ± 0,5	1,6 ± 0,4	0,15 ± 0,10	0,032	0,75 ± 0,32
Mousses terrestres	<i>Eurhynchium praelongum</i>	20/03/2006	Flamanville château	1,4 km SE	4,4 ± 0,5	103,1 ± 4,0	58,0 ± 5,3	1,00 ± 0,45	0,043 ± 0,007	0,56 ± 0,07
Mousses terrestres	<i>Eurhynchium praelongum</i>	23/03/2006	Le Pont Héland	6 km ENE	4,7 ± 1,1	92,9 ± 6,2	86,7 ± 7,4	2,73 ± 0,62	0,051 ± 0,015	0,93 ± 0,14
Lichens	<i>Ramalina scopulorum</i>	23/03/2006	Flamanville falaise de Quédoy	0,8 km S	43,3 ± 1,7	141,4 ± 5,3	393,1 ± 37,8	23,9 ± 2,49	0,306 ± 0,023	2,78 ± 0,37
Lait de vache	Entier	03/07/2006	Sortosville en Beaumont	18 km SE	< 0,011	0,007 ± 0,008	< 0,014	< 0,010	-	-
Lait de vache	Entier	05/07/2006	Dielette ferme Madeleine	2,5 km NE	< 0,025	0,016 ± 0,017	< 0,014	< 0,005	-	-
Lait de vache	Entier	03/07/2006	Vasteville	8,5 km NE	< 0,008	0,008 ± 0,007	0,009 ± 0,007	< 0,003	-	1,13

En couleur sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents gazeux du CNPE de Flamanville

Référence : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville (2006) [2]

TAB-I-2.6.6 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE NATURELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Nature	Année de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	en Bq.kg ⁻¹ sec pour les sédiments et les végétaux et en Bq.kg ⁻¹ frais pour les poissons, mollusques et crustacés					
				⁴⁰ K	Famille du ²³² Th		Famille de l' ²³⁸ U		⁷ Be
					²²⁸ Ac	²³⁴ Th	²³⁴ Pa	²¹⁰ Pb	
Sédiment	2006	Carteret Port	20 km SSO	270 ± 30 (1/1)	15 ± 2 (1/1)	n.a. (1/1)	25 ± 8 (1/1)	n.a. (1/1)	12 ± 2 (1/1)
	2007 à 2012	Carteret Port	20 km SSO	260 - 300 (6/6)	13 - 19 (6/6)	n.a. (4/6)	13 - 35 (4/6)	n.a. (0/1)	5,4 - 27,8 (6/6)
	2006	Goury Port	20 km NNE	460 ± 40 (1/1)	12 ± 2 (1/1)	n.a. (0/1)	< 50 (0/1)	n.a. (0/1)	< 6 (0/1)
	2006	Dielette Port Scioteot	3 km NE 3,5 km SE	170 - 350 (2/2)	4,5 - 21,0 (2/2)	n.a. (0/2)	< 40 (0/2)	n.a. (0/2)	< 7 (0/2)
	2007 à 2012	Dielette Port Scioteot	3 km NE 3,5 km SE	127 - 440 (12/12)	5,9 - 32,0 (14/14)	n.a. (3/12)	14 - 21 (3/12)	n.a. (2/12)	1,5 - 2,5 (2/12)
	Algues brunes	2006	Carteret Port	20 km SSO	1 400 ± 200 (1/1)	8 ± 2 (1/1)	13 ± 2 (1/1)	n.a. (1/1)	7 ± 2 (1/1)
2007 à 2012		Carteret Port Saint Georges La Rivière	20 km SSO 25 km S	1 200 - 1 700 (6/6)	7,7 - 12,0 (6/6)	7 - 17 (6/6)	n.a. (5/6)	4,2 - 15,0 (5/6)	22,0 - 35,8 (6/6)
2006		Goury Port	20 km NNE	1000 - 1500 (2/2)	4,7 - 5,4 (2/2)	11 - 14 (2/2)	n.a. (2/2)	4 - 5 (2/2)	12 - 15 (2/2)
2006		Dielette Port Scioteot	3 km NE 3,5 km SE	1 000 - 1 300 (3/3)	4,5 - 5,2 (3/3)	9 - 13 (3/3)	n.a. (2/3)	6 - 8 (2/3)	9 - 33 (3/3)
2007 à 2012		Dielette Port Scioteot Flamanville Digue Nord	3 km NE 3,5 km SE 0,5 km N	992 - 1 600 (17/17)	2,8 - 8,0 (17/17)	8,8 - 23,0 (17/17)	n.a. (17/17)	2,7 - 9,0 (17/17)	16,5 - 35,0 (17/17)
Poissons (Sole, plie et vieille)		2006	Carteret Port	20 km SSO	114 - 119 (2/2)	< 0,2 (0/2)	< 0,6 (0/2)	n.a. (0/2)	< 0,5 (0/2)
	2007 à 2012	Carteret Port Carteret au large	20 km SSO	99 - 300 (7/7)	< 0,08 (0/7)	< 0,14 (0/7)	n.a. (0/7)	< 0,16 (0/7)	< 0,20 (0/7)
	2006	Flamanville au large	2 km E	102 - 120 (2/2)	< 0,2 (0/2)	< 0,6 (0/2)	n.a. (0/2)	< 0,6 (0/2)	< 0,4 (0/2)
	2007 à 2012	Flamanville au large	2 km E	102 - 130 (12/12)	< 0,06 (0/12)	0,11 ± 0,06 (1/12)	n.a. (0/12)	< 0,16 (0/12)	< 0,14 (0/12)
Mollusques (Patelles et bulot)	2006	Carteret Port	20 km SSO	53 ± 6 (1/1)	1,1 ± 0,2 (1/1)	1,6 ± 0,4 (1/1)	n.a. (1/1)	1,9 ± 0,4 (1/1)	1,9 ± 0,3 (1/1)
	2007 à 2012	Carteret Port Carteret au large Saint Georges La Rivière	20 km SSO 20 km SSO 25 km S	40 - 127 (8/8)	0,36 - 1,29 (6/8)	0,26 - 2,52 (7/8)	n.a. (8/8)	0,26 - 2,79 (8/8)	1,5 - 4,4 (6/8)
	2006	Goury Port	20 km NNE	51 ± 6 (1/1)	0,14 ± 0,05 (1/1)	1,4 ± 0,3 (1/1)	n.a. (1/1)	1,5 ± 0,3 (1/1)	2,3 ± 0,3 (1/1)
	2006	Dielette Port Scioteot Flamanville au Large	3 km NE 3,5 km SE 2 km E	42 - 100 (3/3)	0,19 - 0,70 (2/3)	1,1 - 2,6 (2/3)	n.a. (2/3)	3,2 - 5,2 (2/3)	7,3 - 12,0 (2/3)
	2007 à 2012	Dielette Port Scioteot Flamanville au Large	3 km NE 3,5 km SE 2 km E	35 - 110 (18/18)	0,21 - 0,86 (11/18)	0,25 - 2,90 (17/18)	n.a. (17/18)	0,36 - 6,20 (17/18)	0,2 - 14,0 (15/18)
	Crustacés (Tourteau et homard)	2006	Carteret Port	20 km SSO	59 - 75 (2/2)	0,9 ± 0,3 (1/2)	< 3 (0/2)	n.a. (0/2)	< 3 (0/2)
2007 à 2012		Carteret Port Carteret au large	20 km SSO	50 - 64 (6/6)	0,50 - 0,82 (6/6)	0,6 - 1,0 (3/6)	n.a. (2/6)	0,45 - 0,50 (2/6)	< 0,59 (0/6)
2006		Flamanville au Large	2 km E	80 - 84 (2/2)	0,9 ± 0,2 (1/2)	< 0,1 (0/1)	< 20 (0/1)	< 0,2 (0/1)	< 2 (0/2)
2007 à 2012		Flamanville au large	2 km E	56 - 100 (12/12)	0,6 - 1,2 (5/12)	0,14 - 5,60 (4/12)	n.a. (1/12)	1,9 ± 0,4 (1/12)	2,1 ± 0,5 (1/12)

n.a. : non analysé

En bleu sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville

En violet sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du site AREVA La Hague

Espèces prélevées : algues - *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus* ; poissons - Sole *Solea solea*, Plie *Pleuronectes platessa*, Vieille *Labrus bergylta* ; mollusques - Patelles *Patella species*, Bulot *Buccinum undatum* ; crustacés - Homard *Homarus vulgaris*, Tourteau *Cancer pagurus*

Références : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville [2]; suivis radioécologiques de l'environnement marin de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.7 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS OMEGA D'ORIGINE ARTIFICIELLE DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Nature	Année de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	en Bq.kg ⁻¹ sec pour les sédiments et les végétaux, en Bq.kg ⁻¹ frais pour les poissons, mollusques et crustacés											
				¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁷ Co	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	^{109m} Ag	^{110m} Ag	²⁴¹ Am	¹⁰⁶ Ru-Rh	⁵⁴ Mn	¹³¹ I	¹²⁹ I
Sédiment	2006	Carteret Port	20 km SSO	< 0,4 (0/1)	1,3 ± 0,2 (1/1)	0,12 ± 0,07 (1/1)	< 0,6 (0/1)	2,7 ± 0,4 (1/1)	n.d.	< 0,3 (0/1)	n.a.	< 3 (0/1)	< 0,3 (0/1)	n.a.	n.a.
	2007 à 2012	Carteret Port	20 km SSO	< 0,18 (0/7)	0,31 - 1,42 (7/7)	< LD (0/2)	< 0,3 (0/5)	0,8 - 2,6 (6/7)	n.d.	< 0,2 (0/7)	n.d.	< 1,9 (0/7)	< 0,80 (0/1)	n.a.	n.a.
	2006	Goury Port	20 km NNE	< 0,2 (0/1)	1,2 ± 0,2 (1/1)	< 0,2 (0/1)	< 0,5 (0/1)	2,5 ± 0,4 (1/1)	n.d.	< 0,5 (0/1)	n.a.	< 2 (0/1)	< 0,3 (0/1)	n.a.	n.a.
	2006	Dielette Port Scioto	3 km NE 3,5 km SE	< 0,4 (0/2)	0,13 - 0,28 (2/2)	< 0,3 (0/2)	< 0,4 (0/2)	0,17 ± 0,09 (1/2)	n.d.	< 0,3 (0/2)	n.a.	< 3 (0/2)	< 0,3 (0/2)	n.a.	n.a.
	2007 à 2012	Dielette Port Scioto	3 km NE 3,5 km SE	< 0,12 (0/11)	0,13 - 0,48 (9/11)	< LD (0/4)	< 0,19 (0/7)	< 0,15 (0/11)	n.d.	< 0,17 (0/11)	n.d.	< 1,2 (0/11)	< 0,30 (0/2)	n.a.	n.a.
Algues brunes	2006	Carteret Port	20 km SSO	< 0,3 (0/1)	0,4 ± 0,2 (1/1)	< 0,2 (0/1)	< 0,5 (0/1)	0,9 ± 0,2 (1/1)	n.d.	< 0,4 (0/1)	< 0,3 (0/1)	< 3 (0/1)	< 0,7 (0/1)	< 2 (0/1)	9 ± 2 (1/1)
	2007 à 2012	Carteret Port Saint Georges La Rivière	20 km SSO 25 km S	< 0,22 (0/6)	0,13 - 0,60 (6/6)	n.d.	< 0,4 (0/4)	0,54 - 1,90 (6/6)	n.d.	< 0,3 (0/6)	0,3 ± 0,2 (1/6)	2,9 ± 1,0 (1/6)	< 0,30 (0/1)	< 1,2 (0/6)	n.a.
	2006	Goury Port	20 km NNE	< 0,3 (0/2)	0,28 - 0,30 (2/2)	< 0,2 (0/2)	< 0,4 (0/2)	1,4 ± 0,3 (2/2)	n.d.	< 0,4 (0/2)	< 0,4 (0/2)	3 ± 2 (2/2)	< 0,4 (0/2)	< 3 (0/2)	4 - 49 (2/2)
	2006	Dielette Port Scioto	3 km NE 3,5 km SE	< 0,5 (0/3)	0,30 - 0,33 (3/3)	< 0,2 (0/3)	< 0,7 (0/3)	0,9 - 1,4 (3/3)	n.d.	< 0,6 (0/3)	< 0,5 (0/3)	1,5 - 4,0 (3/3)	< 0,4 (0/3)	< 3 (0/3)	20 - 25 (2/3)
	2007 à 2012	Dielette Port Scioto Flamanville Digue Nord	3 km NE 3,5 km SE 0,5 km N	< 0,16 (0/17)	0,18 - 0,43 (17/17)	n.d.	< 0,29 (0/12)	0,46 - 5,50 (17/17)	n.d.	< 0,22 (0/17)	0,17 ± 0,10 (1/17)	1,4 - 6,0 (6/17)	< 0,16 (0/3)	< 0,7 (0/17)	n.a.
Poissons (Sole, plie et vieille)	2006	Carteret Port	20 km SSO	< 0,03 (0/2)	0,07 - 0,17 (2/2)	< 0,03 (0/2)	n.a.	< 0,04 (0/2)	n.d.	< 0,04 (0/2)	< 0,03 (0/2)	< 0,04 (0/2)	n.a.	n.a.	< 0,3 (0/2)
	2007 à 2012	Carteret Port Carteret au large	20 km SSO	< 0,02 (0/5)	0,06 - 0,21 (7/7)	n.d.	< 0,03 (0/3)	< 0,02 (0/5)	n.d.	< 0,02 (0/5)	< 0,02 (0/5)	< 0,16 (0/5)	n.a.	n.a.	n.a.
	2006	Flamanville au large	2 km E	< 0,03 (0/2)	0,09 - 0,29 (2/2)	0,027 ± 0,005 (1/2)	n.a.	< 0,04 (0/2)	n.d.	< 0,04 (0/2)	0,020 - 0,026 (2/2)	< 0,3 (0/2)	n.a.	n.a.	< 0,3 (0/2)
	2007 à 2012	Flamanville au large	2 km E	< 0,02 (0/11)	0,08 - 0,30 (12/12)	n.d.	< 0,03 (0/7)	< 0,02 (0/11)	n.d.	< 0,02 (0/11)	< 0,02 (0/11)	< 0,14 (0/11)	n.a.	n.a.	n.a.
Mollusques (Patelles et bulot)	2006	Carteret Port	20 km SSO	< 0,04 (0/1)	< 0,05 (0/1)	< 0,02 (0/1)	< 0,04 (0/1)	0,05 ± 0,02 (1/1)	n.d.	< 0,05 (0/1)	< 0,09 (0/1)	< 0,3 (0/1)	< 0,04 (0/1)	n.a.	n.a.
	2007 à 2012	Carteret Port Carteret au large Saint Georges La Rivière	20 km SSO 20 km SSO 25 km S	< 0,02 (0/8)	0,02 - 0,07 (5/8)	n.d.	< 0,03 (0/6)	0,03 - 0,09 (5/8)	0,011 ± 0,006 (1/1)	< 0,03 (0/8)	0,02 - 0,06 (5/8)	0,2 ± 0,2 (1/8)	< 0,1 (0/2)	n.a.	n.a.
	2006	Goury Port	20 km NNE	< 0,03 (0/1)	0,022 ± 0,008 (1/1)	< 0,02 (0/1)	< 0,04 (0/1)	0,16 ± 0,03 (1/1)	n.d.	0,03 ± 0,02 (1/1)	0,02 ± 0,02 (1/1)	1,0 ± 0,3 (1/1)	< 0,03 (0/1)	n.a.	n.a.
	2006	Dielette Port Scioto Flamanville au Large	3 km NE 3,5 km SE 2 km E	< 0,06 (0/3)	0,035 - 0,040 (3/3)	< 0,04 (0/3)	< 0,07 (0/3)	0,10 - 0,17 (3/3)	0,02 ± 0,02 (1/3)	0,019 - 0,040 (2/3)	< 0,08 (0/3)	0,6 - 1,2 (3/3)	< 0,05 (0/3)	n.a.	< 0,5 (0/1)
	2007 à 2012	Dielette Port Scioto Flamanville au Large	3 km NE 3,5 km SE 2 km E	< 0,02 (0/18)	0,010 - 0,040 (14/18)	n.d.	< 0,02 (0/12)	0,03 - 0,24 (16/18)	0,012 - 0,060 (9/9)	0,019 - 0,027 (2/18)	0,014 - 0,030 (4/18)	0,18 - 1,30 (14/18)	< 0,08 (0/3)	n.a.	n.a.
Crustacés (Tourteau et homard)	2006	Carteret Port	20 km SSO	< 0,3 (0/2)	0,040 ± 0,009 (1/2)	< 0,07 (0/2)	n.a.	0,02 ± 0,02 (1/2)	n.d.	< 0,4 (0/2)	< 0,2 (0/2)	< 2 (0/2)	n.a.	n.a.	< 0,2 (0/1)
	2007 à 2012	Carteret Port Carteret au large	20 km SSO	< 0,06 (0/6)	0,05 ± 0,03 (1/6)	n.d.	< 0,04 (0/5)	< 0,08 (0/6)	n.d.	< 0,09 (0/5)	< 0,06 (0/6)	< 0,3 (0/8)	< 0,14 (0/1)	n.a.	n.a.
	2006	Flamanville au Large	2 km E	< 0,07 (0/2)	0,047 - 0,060 (2/2)	< 0,06 (0/2)	n.a.	0,033 - 0,350 (2/2)	0,007 - 0,050 (2/2)	< 0,1 (0/2)	0,023 ± 0,004 (1/2)	0,10 ± 0,04 (1/2)	n.a.	n.a.	< 0,1 (0/1)
	2007 à 2012	Flamanville au large	2 km E	< 0,02 (0/11)	0,039 - 0,050 (6/11)	n.d.	< 0,03 (0/8)	0,02 - 0,70 (8/11)	0,014 - 0,040 (5/5)	< 0,02 (0/11)	0,01 - 0,06 (4/11)	< 0,16 (0/12)	< 0,12 (0/2)	n.a.	n.a.

n.a. : non analysé LD : limite de détection n.d. : non détecté

En bleu sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville
En violet sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du site AREVA La Hague

Espèces prélevées : algues - *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus*; poissons - Sole *Solea solea*, Plie *Pleuronectes platessa*, Vieille *Labrus bergyllta*; mollusques - Patelles *Patella species*, Bulot *Buccinum undatum*; crustacés - Homard *Homarus vulgaris*, Tourteau *Cancer pagurus*

Du fait de sa courte période physique, l'¹³¹I n'est mesuré que dans certains échantillons, à l'état frais.

Références : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville [2]; suivis radioécologiques de l'environnement marin de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.8 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS BETA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006-2012)

Réf.	Nature	Espèce et fraction	Date de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	³ H libre (en Bq.L ⁻¹)	³ H organique (en Bq.L ⁻¹ d'eau de combustion)	¹⁴ C (en Bq.kg ⁻¹ de carbone)	⁹⁰ Sr (en Bq.kg ⁻¹ sec pour les algues, en Bq.kg ⁻¹ frais pour les poissons, les crustacés et les mollusques)	⁹⁹ Tc (en Bq.kg ⁻¹ sec pour les végétaux, en Bq.kg ⁻¹ frais pour les crustacés)	⁶³ Ni (en Bq.kg ⁻¹ sec)
1	Sédiment *	Sédiment (entier)	16/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	n.a.	5,26 ± 0,26	271,0 ± 1,7	n.a.	n.a.	< 0,7
1	Sédiment *	Sédiment (entier)	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	n.a.	11,49 ± 0,57	466,3 ± 2,3	n.a.	n.a.	1,6 ± 0,5
1	Sédiment	Sédiment (entier)	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,6
1	Sédiment	Sédiment (entier)	15/03/2006	Sciotot	3,5 km SE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,2 ± 0,4
1	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	16/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	3,9 ± 0,8	5,0 ± 2,1	312 ± 19	0,43 ± 0,48	29,2 ± 4,5	n.a.
2	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i> (entier)	23/01/2007	Carteret Port	20 km SSO	0,8 ± 0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i> (entier)	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	10,7 ± 1,1	12,4 ± 0,8	502 ± 30	< 0,4	38,7 ± 4,2	n.a.
1	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	11,3 ± 1,1	12,3 ± 0,8	516 ± 32	< 0,5	23,1 ± 3,0	n.a.
1	Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i> (entier)	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	11,0 ± 1,0	11,2 ± 0,9	461 ± 27	0,20 ± 0,16	58,0 ± 5,6	n.a.
1	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	9,5 ± 1,0	12,5 ± 0,9	456 ± 27	n.a.	28,2 ± 3,0	n.a.
1	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	15/03/2006	Sciotot	3,5 km SE	8,1 ± 1,1	6,6 ± 1,6	299 ± 19	< 0,5	17,5 ± 2,0	n.a.
2	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	22/01/2007	Diélette Port	3 km NE	5 ± 1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	24/01/2007	Sciotot	3,5 km SE	9 ± 2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (muscle)	19/06/2006	Carteret Port	20 km SSO	5,8 ± 0,9	8,6 ± 0,9	426 ± 27	< 0,02	n.a.	n.a.
1	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i> (muscle)	19/06/2006	Carteret Port	20 km SSO	6,9 ± 0,9	9,7 ± 1,9	396 ± 24	< 0,04	n.a.	n.a.
2	Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (muscle)	27/05/2008	Carteret Port	20 km SSO	3,3 ± 0,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (chair)	03/05/2009	Carteret Port	20 km SSO	3,8 ± 0,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (muscle)	19/05/2010	Carteret au large	20 km SSO	7,0 ± 0,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	Poissons	Sole <i>Solea solea</i> (muscle)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	13,5 ± 1,2	13,8 ± 1,5	533 ± 31	< 0,03	n.a.	n.a.
1	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i> (muscle)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	14,0 ± 1,2	13,3 ± 2,0	535 ± 32	< 0,05	n.a.	n.a.
2	Poissons	Sole <i>Solea solea</i> (muscle)	15/04/2008	Flamanville au large	2 km E	7,4 ± 0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Poissons	Sole <i>Solea solea</i> (chair)	15/04/2009	Flamanville au large	2 km E	9,1 ± 0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i> (chair)	15/04/2009	Flamanville au large	2 km E	22,0 ± 1,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Poissons	Sole <i>Solea solea</i> (muscle)	15/05/2010	Flamanville au large	2 km E	23,9 ± 1,1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	30/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	4,0 ± 0,8	4,2 ± 2,0	307 ± 20	< 0,05	n.a.	n.a.
2	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	21/02/2011	Saint Georges La Rivière	25 km S	2,2 ± 0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	23/02/2012	Saint Georges La Rivière	25 km S	2,3 ± 0,8	2,3 ± 1,4	286,7 ± 2,0	n.a.	n.a.	n.a.
1	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	27/03/2006	Goury Port	20 km NNE	16,1 ± 1,3	13,1 ± 0,9	529 ± 31	< 0,05	n.a.	n.a.
1	Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i> (chair)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	5,1 ± 0,9	9,5 ± 0,7	522 ± 31	< 0,04	n.a.	n.a.
1	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	17,4 ± 1,2	14,2 ± 2,7	446 ± 27	< 0,04	n.a.	n.a.
1	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	31/03/2006	Sciotot	3,5 km SE	n.a.	n.a.	n.a.	0,03 ± 0,04	n.a.	n.a.
2	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	23/02/2011	Diélette Port	3 km NE	11,2 ± 0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	07/02/2012	Diélette Port	3 km NE	14,7 ± 1,0	8,8 ± 1,0	482,2 ± 2,7	n.a.	n.a.	n.a.
1	Crustacés	Homard <i>Homarus vulgaris</i> (chair)	23/05/2006	Carteret Port	20 km SSO	10,8 ± 1,0	8,3 ± 0,7	374 ± 24	< 0,03	0,7 ± 0,2	n.a.
1	Crustacés	Homard <i>Homarus vulgaris</i> (chair)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	10,1 ± 1,1	9,1 ± 0,8	453 ± 28	< 0,03	0,6 ± 0,2	n.a.

n.a. : non analysé

* Mesure dans les sédiments réalisée par émanation d'³He

En bleu sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville

En violet sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du site AREVA La Hague

Références : 1- Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville (2006) [2] 2- Suivis radioécologiques de l'environnement terrestre et marin du CNPE de Flamanville (2007 à 2012) [3]

TAB-I-2.6.9 ACTIVITÉS DES RADIONUCLÉIDES ÉMETTEURS ALPHA DES ÉCHANTILLONS COLLECTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE (2006)

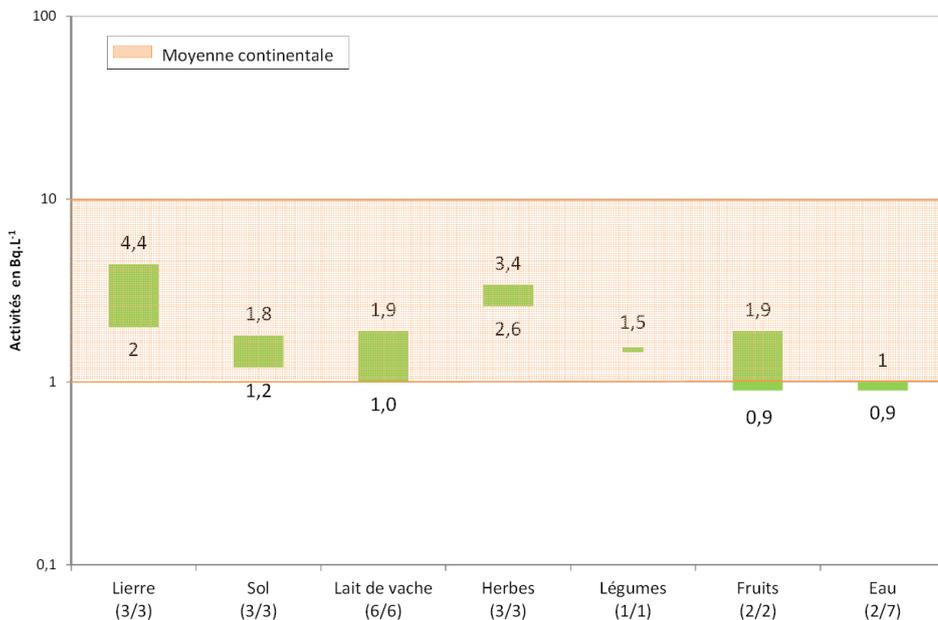
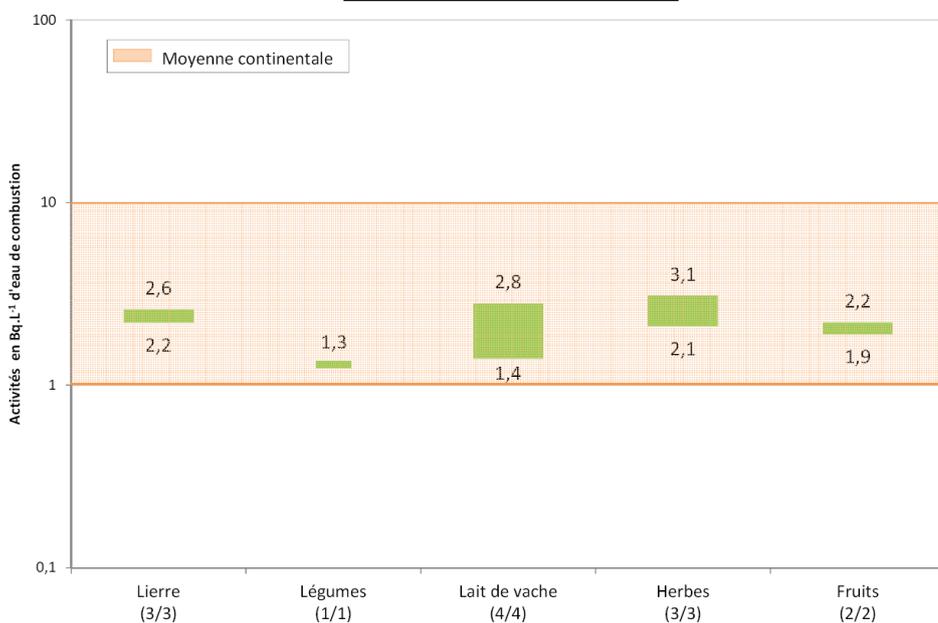
Nature	Espèce et fraction	Date de prélèvement	Station	Situation par rapport au site	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴⁴ Cm		
					en mBq.kg ⁻¹ sec pour les sédiments et les algues brunes				²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
					en mBq.kg ⁻¹ frais pour les poissons, les mollusques et les crustacés					
Sédiment	Sédiment	16/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	213 ± 9	621 ± 21	1 084 ± 86	79 ± 9	0,34 ± 0,03	1,75 ± 0,20
Sédiment	Sédiment	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	173 ± 8	302 ± 12	646 ± 49	72 ± 8	0,59 ± 0,05	2,14 ± 0,25
Sédiment	Sédiment	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	128 ± 7	313 ± 13	525 ± 50	45 ± 6	0,41 ± 0,04	1,68 ± 0,23
Sédiment	Sédiment	15/03/2006	Sciotot	35 km SE	83 ± 5	198 ± 9	325 ± 24	34 ± 4	0,42 ± 0,04	1,64 ± 0,20
Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	16/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	46,2 ± 3,3	129,8 ± 6,3	54,3 ± 5,0	5,3 ± 1,3	0,36 ± 0,04	0,42 ± 0,06
Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i> (entier)	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	70,8 ± 4,5	117,7 ± 6,3	62,8 ± 5,0	11,4 ± 1,6	0,60 ± 0,07	0,53 ± 0,07
Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	14/03/2006	Goury Port	20 km NNE	57,8 ± 4,1	117,5 ± 6,7	76,5 ± 5,9	11,9 ± 1,5	0,49 ± 0,06	0,65 ± 0,09
Algues brunes	<i>Fucus vesiculosus</i> (entier)	15/03/2006	Diélette Port	3 km NE	59 ± 4	113 ± 6	42 ± 4	6,4 ± 1,3	0,52 ± 0,06	0,37 ± 0,06
Algues brunes	<i>Fucus serratus</i> (entier)	15/03/2006	Sciotot	35 km SE	65,1 ± 3,5	119,2 ± 5,0	60,5 ± 4,8	10,4 ± 1,3	0,55 ± 0,04	0,51 ± 0,06
Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (muscle)	19/06/2006	Carteret Port	20 km SSO	0,04 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,31 ± 0,04	0,05 ± 0,01	0,44 ± 0,21	3,44 ± 1,21
Poissons	Plie <i>Pleuronectes platessa</i> (muscle)	19/06/2006	Carteret Port	20 km SSO	0,17 ± 0,03	0,29 ± 0,04	0,70 ± 0,10	0,09 ± 0,03	0,59 ± 0,18	2,41 ± 0,68
Poissons	Sole <i>Solea solea</i> (muscle)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	0,22 ± 0,08	0,07 ± 0,05	14,49 ± 1,15	0,26 ± 0,05	3,14	207
Poissons	Vieille <i>Labrus bergylta</i> (muscle)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	0,63 ± 0,12	0,17 ± 0,06	22,62 ± 1,58	0,36 ± 0,06	3,71	133
Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	30/03/2006	Carteret Port	20 km SSO	3,73 ± 0,30	12,54 ± 0,60	18,87 ± 1,34	1,54 ± 0,20	0,30 ± 0,04	1,50 ± 0,18
Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	27/03/2006	Goury Port	20 km NNE	4,82 ± 0,34	8,51 ± 0,48	16,41 ± 1,37	2,63 ± 0,27	0,57 ± 0,07	1,93 ± 0,27
Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	28/03/2006	Diélette Port	3 km NE	2,66 ± 0,21	8,93 ± 0,43	13,43 ± 0,96	1,10 ± 0,14	0,30 ± 0,04	1,5 ± 0,18
Mollusques	Patelles <i>Patella species</i> (chair)	31/03/2006	Sciotot	35 km SE	7,16 ± 0,40	10,31 ± 0,62	28,99 ± 2,20	3,82 ± 0,33	0,69 ± 0,08	2,81 ± 0,38
Mollusques	Bulot <i>Buccinum undatum</i> (chair)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	2,36 ± 0,18	3,82 ± 0,23	10,00 ± 0,73	1,60 ± 0,18	0,62 ± 0,08	2,62 ± 0,35
Crustacés	Homard <i>Homarus vulgaris</i> (chair)	23/05/2006	Carteret Port	20 km SSO	0,16 ± 0,04	0,48 ± 0,07	3,47 ± 0,30	0,32 ± 0,05	0,33 ± 0,13	7,23 ± 1,68
Crustacés	Homard <i>Homarus vulgaris</i> (chair)	26/04/2006	Flamanville au large	2 km E	0,33 ± 0,04	0,46 ± 0,05	21,47 ± 1,60	1,74 ± 0,18	0,72 ± 0,16	46,67 ± 8,55

En bleu sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du CNPE de Flamanville

En violet sont signalées les zones de prélèvement potentiellement influencées par les rejets d'effluents liquides du site AREVA La Hague

Référence : Deuxième Bilan radioécologique décennal du CNPE de Flamanville (2006) [2]

FIG-I-2.6.1 ACTIVITE SPECIFIQUE DU ³H LIBRE ET ORGANIQUE DANS L'ECOSYSTEME TERRESTRE DU SITE (PERIODE 2006-2012)

Tritium libre (2006-2012)

Tritium organique (2006-2012)


**FIG-I-2.6.2 ACTIVITE SPECIFIQUE DE ¹⁴C DANS
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DE FLAMANVILLE ET MOYENNE
ATMOSPHERIQUE (2006 ET 2012)**

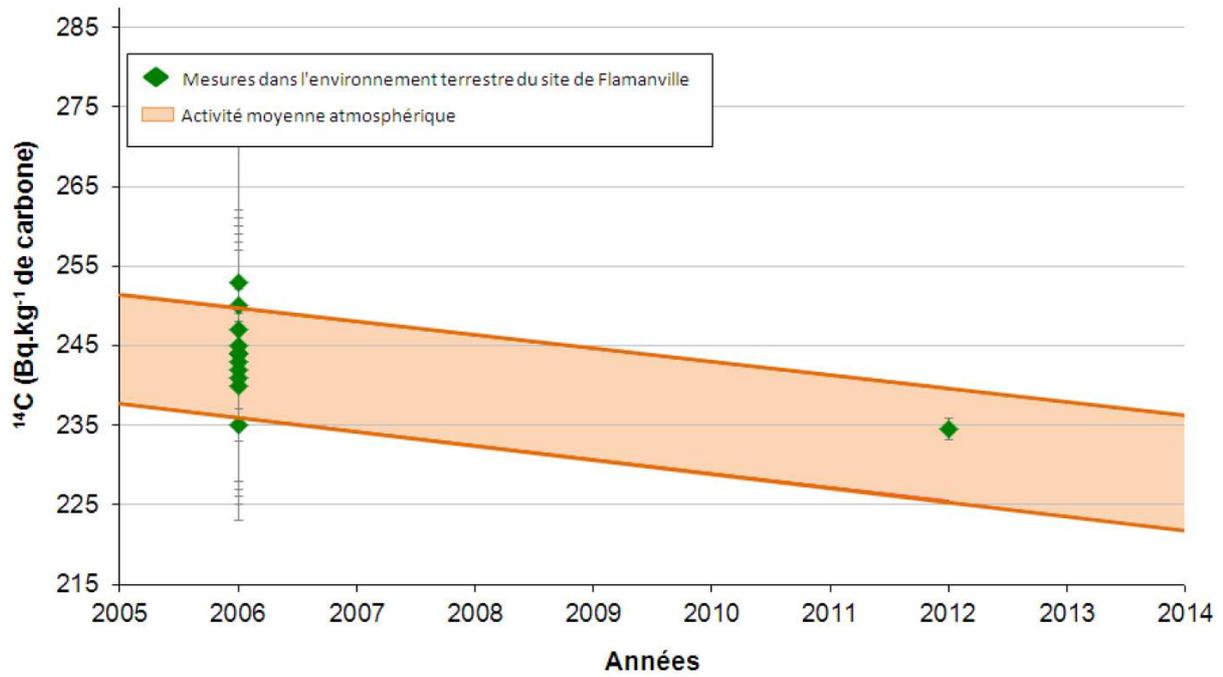


FIG-I-2.6.3 ORIGINE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE FLAMANVILLE

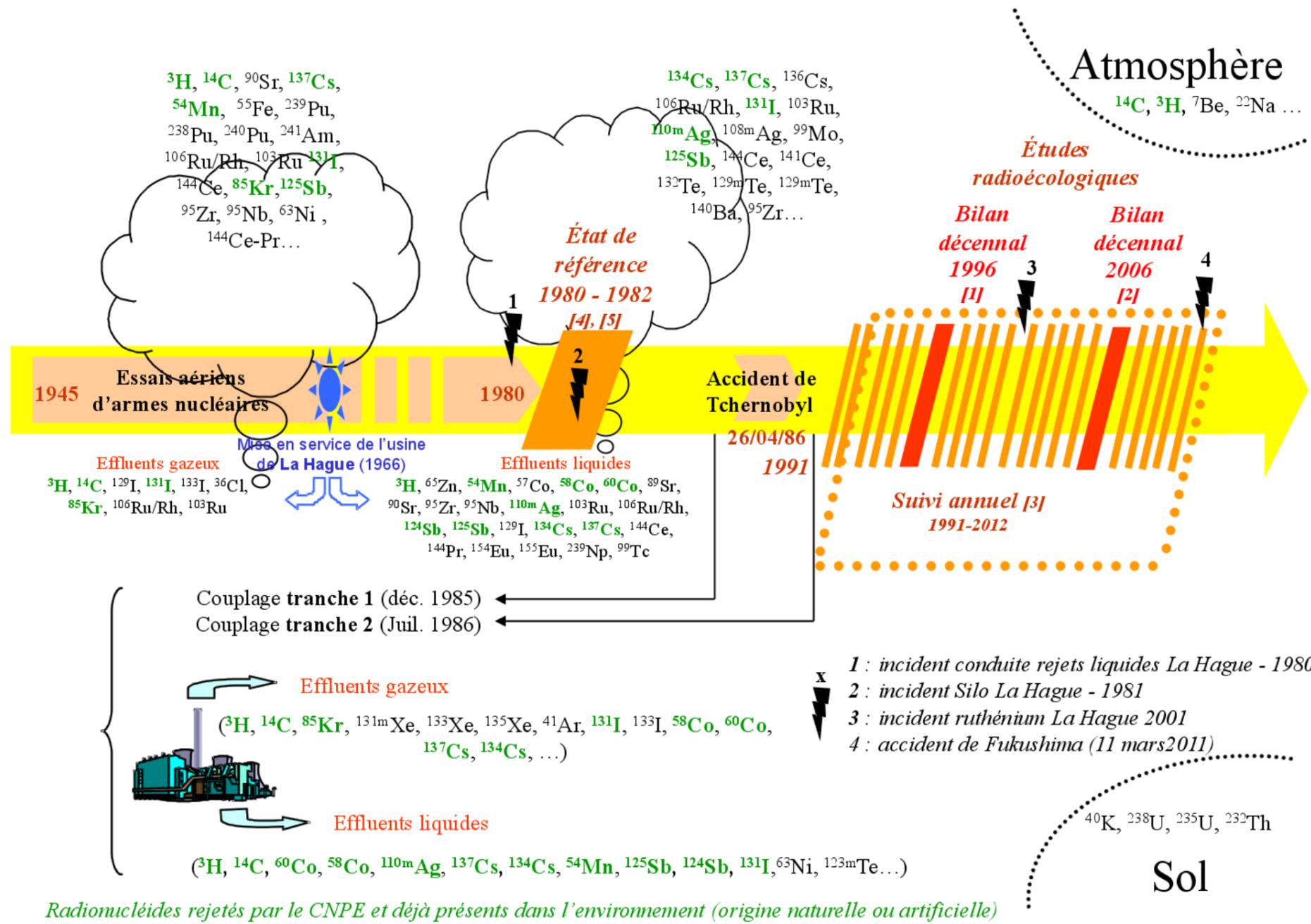


FIG-I-2.6.4 ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ EN TRITIUM (^3H) DANS LES EAUX DE PLUIE DE 1957 À 2008

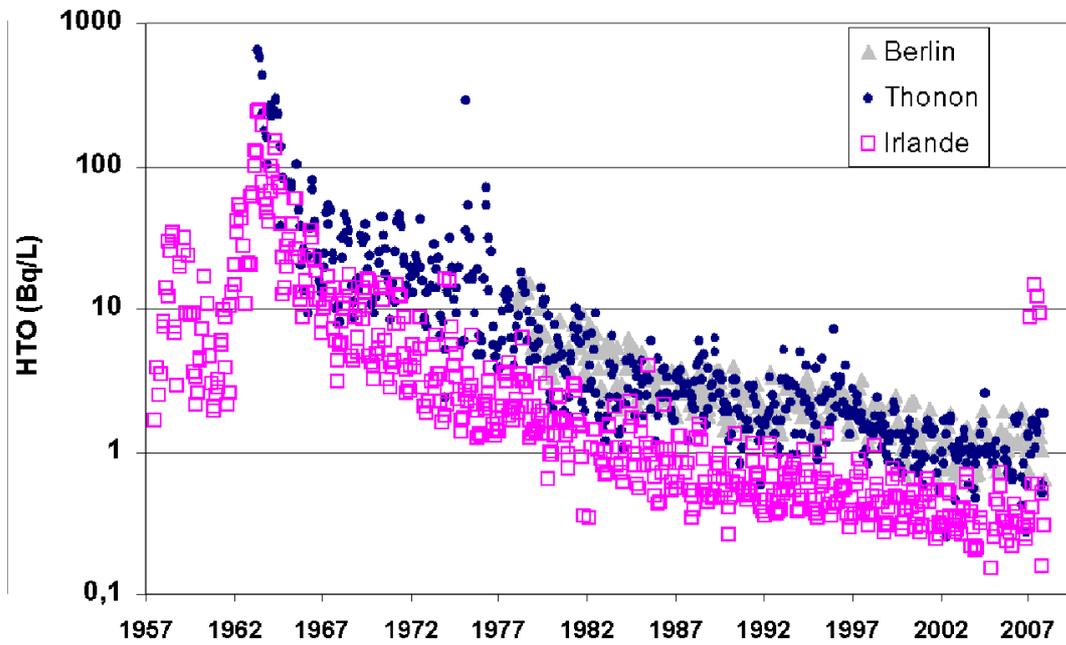


FIG-I-2.6.5 ACTIVITÉ SPÉCIFIQUE DU CARBONE 14 (¹⁴C) DANS LA BIOSPHÈRE DE 1950 À 2009

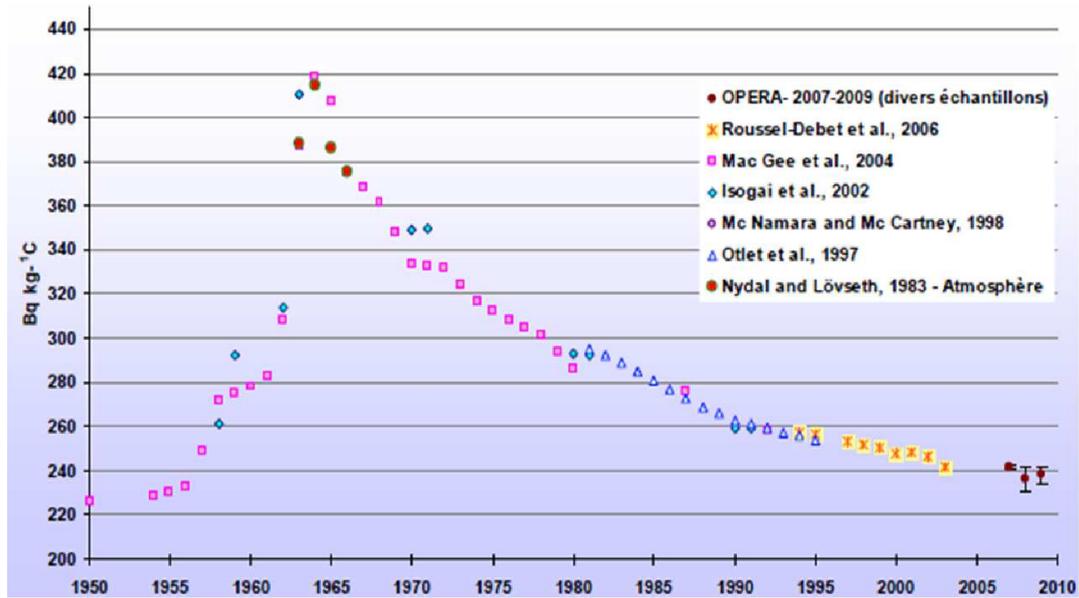
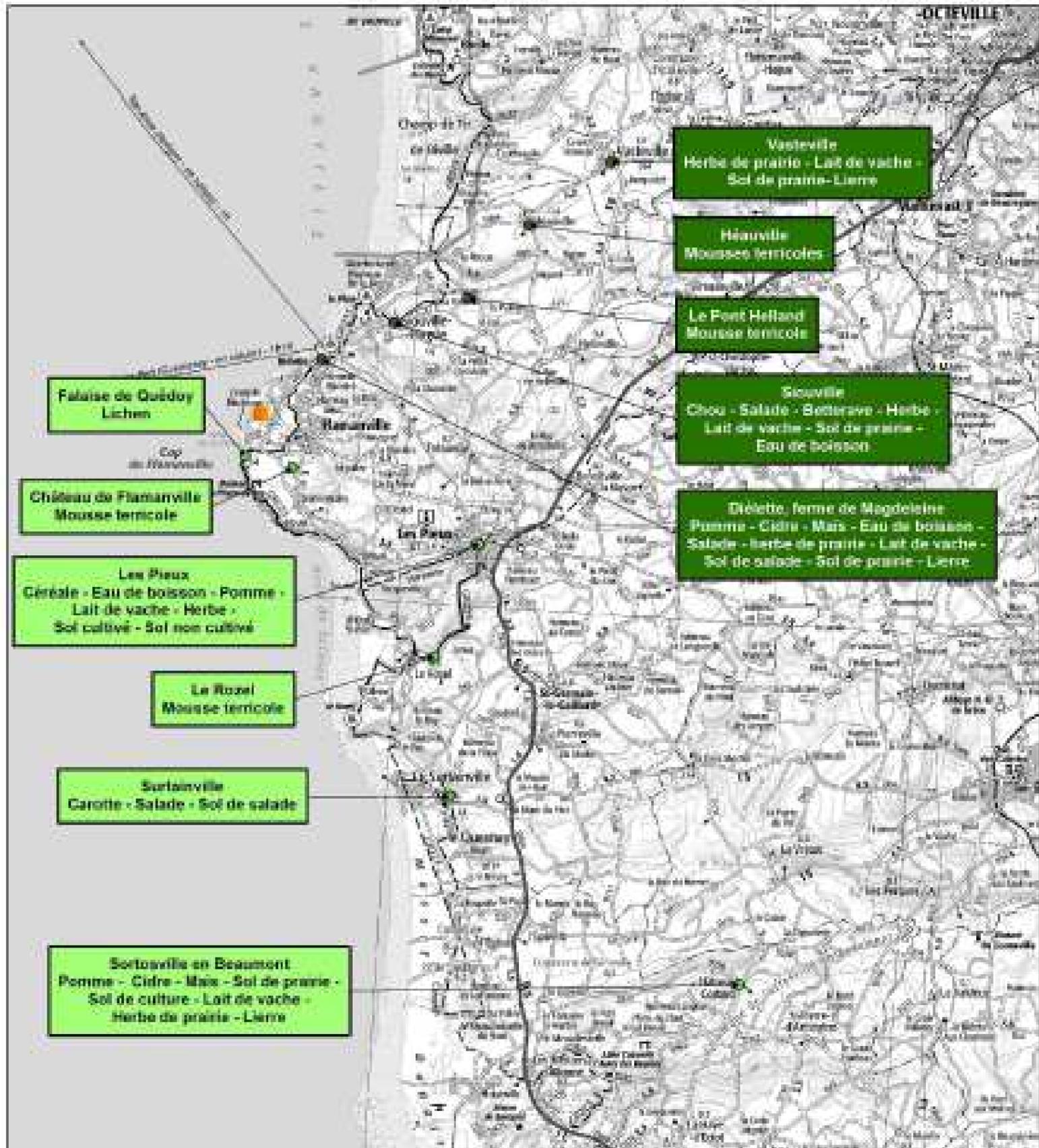


FIG-I-2.6.6 LOCALISATION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE DU SITE DE FLAMANVILLE

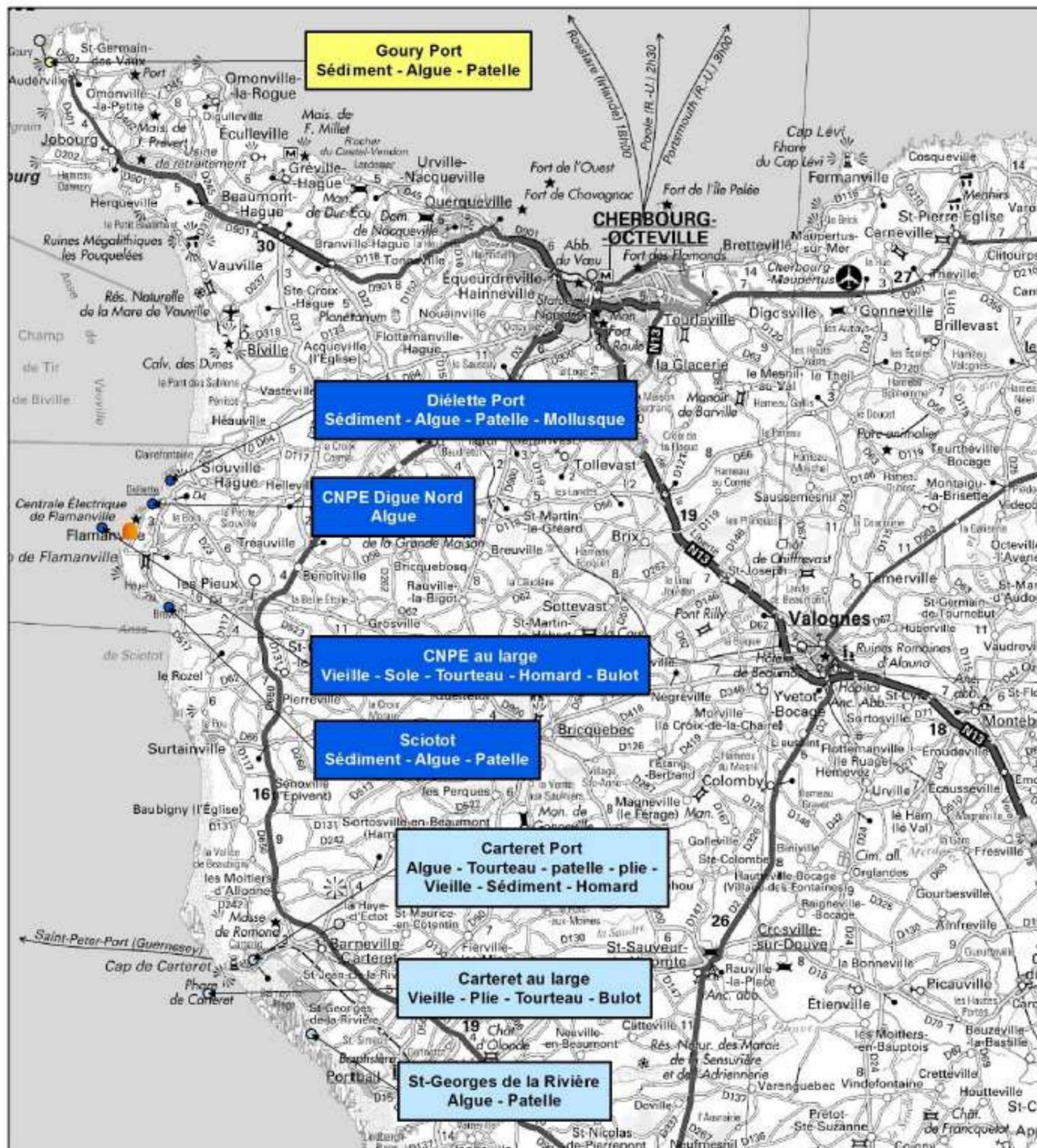


Légende

-  CNPE de Flamanville
-  Stations de prélèvement situées en zone influencée par les vents dominants
-  Stations de prélèvement situées en zone non influencée par les vents dominants

Révisé en 2021
 - Échelle de plan : 1:50 000 (Plan 2010, N° 100)
 - Carte réalisée dans le cadre du Plan de Surveillance de l'Environnement de l'Unité de Production de Flamanville
 - Approuvé par EDF



FIG-I-2.6.7 LOCALISATION DES STATIONS DE PRÉLÈVEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE FLAMANVILLE

Légende

- CNPE de Flamanville
- Stations de prélèvement situées en zone influencée par les rejets d'effluents liquides du site de Flamanville
- Stations de prélèvement situées en zone non influencée par les rejets d'effluents liquides du site de Flamanville
- Stations de prélèvement situées en zone influencée par les rejets d'effluents liquides du site AREVA La Hague



Sources :
 - Fond de plan : © IGN Paris 2012 - Scan Regionalis
 - Carte réalisée dans le cadre du Rapport de Sécurité (2016)
 de Flamanville
 - Reproductions éditoriales

SOMMAIRE

.2.7 ÉCONOMIE RURALE ET ACTIVITÉS ANNEXES	3
1. AGRICULTURE	3
1.1. AGRICULTURE ET ÉLEVAGE DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	3
1.2. CULTURE DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	3
1.3. ÉLEVAGE DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	3
2. AUTRES ACTIVITÉS DE LOISIRS	4
2.1. LA PÊCHE	4
2.1.1. LA PÊCHE EN RIVIÈRE	4
2.1.2. LA PÊCHE EN MER	4
2.1.3. AQUACULTURE ET CONCHYLICULTURE	6
2.2. LA CHASSE	7
2.3. AUTRES ACTIVITÉS DE LOISIRS	7
LISTE DES RÉFÉRENCES.	9

TABLEAUX :

TAB-2.7.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'AGRICULTURE DANS LE DEPARTEMENT DE LA MANCHE	10
TAB-2.7.2 PRINCIPALES CULTURES DANS LES COMMUNES SITUÉES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	11
TAB-2.7.3 CHEPTEL VIF DANS LES COMMUNES SITUÉES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	13
TAB-2.7.4 NOMBRE DE PERMIS DE PÊCHE DÉLIVRÉS EN 2008 PAR LES DEUX AAPPMA DONT DÉPENDENT LES COMMUNES SITUÉES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE	14
TAB-2.7.5 NOMBRE DE NAVIRES DANS LES PRINCIPAUX PORTS DE LA COTE NORD-OUEST DU COTENTIN EN 2008	15
TAB-2.7.6 CLASSEMENT DES ESPECES DEBARQUÉES DANS LE PORT DE CHERBOURG EN 2012	16

.2.7 ÉCONOMIE RURALE ET ACTIVITÉS ANNEXES

1. AGRICULTURE

L'étude de l'agriculture porte sur un périmètre de rayon 50 km autour du site de Flamanville puis s'attarde plus particulièrement au périmètre local de rayon 10 km.

Les chiffres présentés dans les paragraphes suivants sont issus des derniers Recensements Généraux Agricoles (RGA) de 2000 et de 2010 diffusés par L'AGRESTE¹.

1.1. AGRICULTURE ET ÉLEVAGE DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Seul le département de la Manche, appartenant à la région de la Basse-Normandie, se trouve dans un rayon de 50 km autour du site de Flamanville.

En 2010, la région Basse-Normandie comptait 23900 exploitations, soit environ 4,9% des exploitations françaises.

Le département de la Manche possède 47,4% des exploitations de la région.

Le tableau [TAB-2.7.1](#) présente la répartition et l'évolution des exploitations et de la Surface Agricole Utile (SAU) pour le département de la Manche.

Dans le département de la Manche, près de 39,4% de la SAU en 2010 correspond à des exploitations de superficie supérieure ou égale à 100 ha contre 16,4% en 2000. Au vu de la forte diminution du nombre d'exploitations et de la faible variation de la SAU entre les deux derniers recensements agricoles (voir tableau [TAB-2.7.1](#)), on peut donc conclure que la taille des exploitations a fortement augmenté.

En 2010, les exploitations du département sont principalement tournées vers l'élevage de bovins à lait (30,2%), de bovins à viande (18,5%) et l'élevage d'ovins, de caprins et autres herbivores (23,4%).

Entre 2000 et 2010, le nombre total de bovins sur le département est resté quasiment stable (-1,2%). A noter une légère diminution des vaches laitières (-9,3%) et des vaches nourrices (-4,2%).

1.2. CULTURE DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Les productions agricoles des communes situées dans un rayon de 10 km du site sont indiquées dans le tableau [TAB-2.7.2](#).

Les cultures fourragères sont prédominantes par rapport aux cultures céréalières dans toutes les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site. La principale culture rencontrée est le maïs fourrage et ensilage.

1.3. ÉLEVAGE DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

La tableau [TAB-2.7.3](#) donne l'effectif des différents cheptels dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville.

Dans la mesure des données communiquées (certaines données sont non transmises en raison du « secret statistique »), l'élevage de porcins et l'élevage de vaches laitières (environ 29% du nombre total de bovins) apparaissent comme les productions animales dominantes sur les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site.

1. L'AGRESTE est l'entité du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche chargée de la statistique agricole.

2. AUTRES ACTIVITÉS DE LOISIRS

La pêche et la chasse sont traitées au niveau départemental (rayon de 50 km), puis au niveau local (rayon de 10 km). Les autres activités de loisirs, notamment les zones de baignades, sont identifiées dans un périmètre proche du site (rayon de 10 km).

2.1. LA PÊCHE

2.1.1. La pêche en rivière

Les informations concernant la pêche en rivière pour le département de la Manche proviennent de la fédération départementale de pêche de la Manche.

Ainsi, en 2012, 13692 permis de pêche ont été distribués sur l'ensemble du département.

Les principales espèces pêchées sur le département sont : le saumon, l'anguille, le brochet, la truite, le vairon, l'alose, la lamproie, la carpe, la tanche, la brème, le gardon, la perche ou encore le rotengle.

Les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville dépendent de deux Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) :

- AAPPMA « la truite de la Scye », basée sur la commune de Barneville-Carteret, à 18,8 km au sud-est du site ;
- AAPPMA « la truite cherbourgeoise », basée sur la commune de Tourlaville, à 25 km au nord-est du site.

Le nombre de permis délivré par commune n'est pas actualisé chaque année, ainsi les données les plus récentes présentées dans le tableau [TAB-2.7.4](#) datent de 2008.

2.1.2. La pêche en mer

2.1.2.1. Généralités pour le Cotentin

De la production à la transformation, en passant par la commercialisation, la filière des produits de la mer dans le Cotentin [Réf \[1\]](#) occupe un poids important dans l'économie locale. Si le nombre de salariés est difficile à évaluer (diversité des activités et des régimes sociaux), on estime à environ 750 emplois directs et près de 700 équivalent temps plein qui seraient concernés par ces activités.

Confrontée aux problématiques de gestion de la ressource et à l'augmentation des prix du carburant, la filière pêche a perdu 6 unités hauturières en 6 ans diminuant la production et les apports au centre de marée de Cherbourg, -37,5% entre 2000 et 2011.

Entre 1990 et 2009, les captures de la pêche fraîche ont diminué d'environ 42%. Les effectifs des marins et des navires ont également baissé de près de moitié en 20 ans.

Le Cotentin compte une halle à marée, le centre de marée situé à Cherbourg, qui gère deux centres de débarque à Barfleur et à Barneville-Carteret (ouverture à l'automne 2012).

En 2011, le centre de marée de Cherbourg occupe le 15^{ème} rang national en termes de quantités vendues et le 17^{ème} en termes de valeur.

L'évolution du tonnage entre 2000 et 2011 est négative ; 5278 tonnes ont été vendues en 2011 contre 8443 en 2000, soit une baisse de 37,5%.

En tonnage les 5 espèces phares du Cotentin sont des poissons relativement communs comme le tacaud, la roussette, le merlan, le grondin rouge et la seiche.

En 2011, le Cotentin compte 147 navires actifs à la pêche dont plus de 70% sont répartis sur les principaux ports d'exploitation que sont Cherbourg, Barfleur, Saint-Vaast La Hougue et Barneville-Carteret.

80% de la flotte du Cotentin est composé de navires ne dépassant pas les 12 mètres.

Les données de l'Ifremer calculent le nombre d'Equivalent Temps Plein (ETP) évalué à partir du nombre moyen de marins présents à bord de chaque navire au cours de l'année. En 2010, le Cotentin a compté 384 ETP dont 60% étaient employés sur des navires côtiers, 32% sur des navires mixtes et 9% pour la pêche au large. Près d'un tiers des emplois sont localisés sur le port de Saint-Vaast La Hougue, suivent les ports de Cherbourg, Barfleur et Barneville-Carteret.

Si les évolutions d'emploi ne sont pas connues sur le Cotentin, l'analyse des chiffres nationaux ou régionaux permet de situer les tendances du secteur. Entre 1997 et 2008, les effectifs ont chuté de 26,9% en France métropolitaine.

En Basse-Normandie, la baisse du nombre de marins pêcheurs est estimée à 12,7% entre 2007 et 2010, soit une perte d'environ 300 emplois.

Selon les cahiers de FranceAgriMer [Réf \[2\]](#), la Basse-Normandie représente la deuxième région de la façade atlantique en termes de vente avec 101 millions d'euros. Par contre, elle se situe seulement au 4^{ème} rang en terme d'emploi avec 2000 emplois de marins pêcheurs embarqués sur les navires français en 2011.

2.1.2.2. Le port et la criée de Cherbourg

Cherbourg est la criée la plus proche du site de Flamanville, à environ 22 km au nord-est.

Le tonnage débarqué en 2010² est de 9025 tonnes (8^{ème} rang des criées), ce qui représente une valeur de 21,28 millions d'euros (11^{ème} rang des criées) pour un prix moyen de vente de 2,36 euros/kg (26^{ème} rang des criées).

D'après les données de la Chambre de Commerce et de l'Industrie de Cherbourg-Cotentin, les principales espèces débarquées en 2012 (détail par espèces) sont présentées dans le tableau [TAB-2.7.6](#).

2.1.2.3. Pêche professionnelle de la côte nord-ouest du Cotentin

Du nord vers le sud (de l'anse de Vauville à l'anse de Sciottot), on observe des activités de pêche aux engins dormants (casiers à crustacés, casier à bulots, casiers à seiches) sur les fonds rocheux, vers la côte. La pêche au filet est également pratiquée. Sur les fonds sableux, les professionnels (bateaux de Carteret et quelques unités de Granville et de Barfleur) pratiquent les arts traînants (drague à coquilles St Jacques, chalut pour poissons plats).

A proximité du site, on observe des secteurs de pêche aux casiers, entre le port de Diélette et les vestiges de l'ancien Wharf, ainsi que sur les têtes de roche (Les Grifaudières) proches de la digue de protection sud du site. Devant la centrale, on observe régulièrement des bateaux de Diélette pratiquant la pêche à la ligne (pêche des bars).

Port de Diélette

Il n'y a pas de criée au port de Diélette. Les pêcheurs sont des pêcheurs privés qui revendent à des particuliers ou des restaurants. Le surplus de la pêche est vendu à la criée de Cherbourg.

Port de Carteret

2. Site internet des criées de France

Il n'y a pas de criée dans le port de Carteret. La pêche est vendue à un mareyeur, (intermédiaire entre le pêcheur et la criée de Cherbourg) ou au marché de gros de Rungis (Paris).

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement du site de Flamanville effectuée par l'IFREMER [Réf \[3\]](#), l'étude du domaine halieutique comprend également un suivi de la pêche professionnelle de crustacés du Nord-Ouest Cotentin pour la flottille artisanale travaillant au casier.

La pêche dans les ports de Goury, Diélette et Carteret est diversifiée puisqu'est pratiquée simultanément le casier à gros crustacés, mais également le casier à bulot, le casier à étrille, le casier à seiche et le filet à sole ou à raie.

L'effort de pêche est concentré dans les zones très côtières en marées de vives-eaux, et plus au large dans les secteurs du Cap de La Hague ou des Ecréhoux en marées de mortes-eaux.

La production est difficile à évaluer car, comme vu plus haut, de nombreux professionnels vendent directement leur production ou ne remplissent pas les documents déclaratifs.

D'après les données de l'Ifremer, la production de la flotte de pêche du nord-ouest Cotentin est estimée à environ 1800 tonnes en 2010.

En 2010, les déclarations font apparaître une production d'environ 187 tonnes de crustacés (dont 54 tonnes d'araignées, 56 tonnes de homards et 72 tonnes de tourteaux), 1300 tonnes de buccins, 153 tonnes de bivalves (dont 112 tonnes de coquilles Saint-Jacques) et 24 tonnes de céphalopodes.

La production de poissons dans cette zone est de 42 tonnes pour les différentes espèces de raies, de 43 tonnes pour la petite et grande roussette et de 34 tonnes pour la sole.

A noter que la pêche est interdite par arrêté préfectoral dans la zone de cantonnement à proximité du site.

2.1.2.4. Pêche amateur

La pêche aux casiers à crustacés est réalisée essentiellement à la belle saison, sur les secteurs proches de la côte. Cette activité a pris de l'ampleur avec la création du port de plaisance de Diélette.

La pêche au lancer est réalisée depuis le rivage par de nombreuses personnes à partir du mois d'avril lorsque les bars et les maquereaux gagnent les zones de frayères sur la côte. Cette activité se pratique en particulier, le long de la digue de protection Nord et, au Sud, dans l'anse de Quédoy et au pied du Cap de Flamanville.

La zone des rejets est également très fréquentée du mois d'avril à mi-septembre par les « ligneurs ».

2.1.3. Aquaculture et conchyliculture

A l'instar du territoire national, la filière aquaculture en Basse-Normandie et dans le Cotentin est principalement le fait de la conchyliculture. La Basse-Normandie est une des plus jeunes régions productrices françaises, avec un essor important dans les années 70-80. La production sur l'année 2011 classe la région au troisième rang français pour l'huître et au deuxième pour la moule de Bouchot.

En 2006, la production en Basse-Normandie représentait plus de 25% de la production française, elle est retombée à 18% en 2010/2011.

L'apport du Cotentin à la filière conchylicole en Basse-Normandie est concentré sur les zones de Saint-Vaast La Hougue - Lestre pour l'huître et d'Utah Beach pour l'huître et la moule.

Il existe environ 300 entreprises conchylicoles en Basse-Normandie qui peuvent exploiter plusieurs concessions. Ces entreprises emploient 1 400 personnes (actifs familiaux et salariés permanents) en 2005 correspondant à 1195 ETP.

Le Cotentin et plus particulièrement les secteurs de Saint-Vaast La Hougue et d'Utah Beach représentent environ 300 ETP en 2005.

D'après les données de l'Iframer, il n'y a pas d'exploitation conchylicole recensée à proximité immédiate du site de Flamanville. Les exploitations les plus proches sont des exploitations ostréicoles et myticoles³ qui se situent au niveau de Porbail, à 26 km au sud-est du site.

La production salmonicole totale en Basse-Normandie (milieu marin et eau-douce) est en augmentation de 55% entre 1997 et 2007, due à l'arrivée dans les années 1990 de la ferme marine Saumon de France à Cherbourg à 25 km au nord-est du site. Installé dans la grande rade, cet élevage de saumon d'Atlantique représente 70% des 2018 tonnes produites en 2007 en Basse-Normandie. En 2011, la société a réalisé un chiffre d'affaires de 6M€, elle emploie une dizaine de salariés.

2.2. LA CHASSE

Les données concernant la chasse ont été fournies par la fédération départementale des chasseurs de la Manche. Ainsi pour la saison 2012/2013, 17500 permis ont été délivrés sur l'ensemble du département.

Les principales espèces chassées dans le département sont : le lapin, le lièvre, le pigeon, la bécasse, le chevreuil et le sanglier.

Le nombre de permis de chasse délivré dans les communes situées dans un rayon de 10 km autour du site n'est pas disponible auprès de la fédération départementale des chasseurs de la Manche.

2.3. AUTRES ACTIVITÉS DE LOISIRS

D'après les informations du comité départemental du tourisme de la Manche, de nombreuses activités peuvent être pratiquées aux alentours du site de Flamanville : la randonnée, le cyclisme, l'équitation. Il faut noter que le GR 223 (tour du Cotentin) contourne le CNPE en haut de falaise.

Des plages entourent le site de part et d'autre de l'avancée rocheuse du Cap de Flamanville : au Nord, l'Anse de Vauville et au Sud l'Anse de Sciotot, sur lesquelles se pratiquent la baignade et la plupart des sports nautiques.

De nombreuses activités nautiques sont également proposées. Ainsi, dans un rayon de 10 km autour du site de Flamanville, on trouve :

- le centre nautique de Diélette qui se trouve à environ 2,4 km au nord-est du site. Ce centre nautique permet la pratique de la planche à voile, du kayak et du wave-ski ;
- le club de kite surf de Siouville Hague située à 4 km au nord-est du site ;
- le club de plongée et le club de char à voile de la commune des Pieux, située à 5,7 km au sud-est du site.

D'après la base de données du Ministère de la santé concernant les points de baignade, les plages suivantes sont présentes dans un rayon de 10 km autour du site :

- 2 plages sont répertoriées sur la commune de Siouville-Hague, située à 4 km au nord-est du site, au niveau de l'Anse de Vauville ;
- 1 plage est répertoriée sur la commune des Pieux, située à 5,7 km au sud-est du site, au niveau de l'Anse de Sciotot ;
- 1 plage est répertoriée sur la commune du Rozel, située à 6,6 km au sud-est du site, au niveau de l'Anse de Sciotot ;
- 1 plage est répertoriée sur la commune de Surtainville, située à 9,8 km au sud-est du site.

3. Exploitation myticolle : exploitation d'élevage de moules



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 7

PAGE 8/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

A noter également qu'il existe des liaisons maritimes vers les îles Anglo-Normandes. Ainsi, des bateaux permettent à partir du port de Barneville-Carteret d'aller sur les îles de Jersey ou Guernesey. Le port de Diélette effectue des liaisons vers les îles de Guernesey et Aurigny.

La navigation, la plongée sous-marine et la baignade sont interdites par arrêté préfectoral dans un rayon de 200 m autour des points de rejet en mer des tranches 1-2 du CNPE de Flamanville.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 7

PAGE 9/18

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Rapport CCI Cherbourg Cotentin « Les filières des produits de la mer dans le cotentin » – Septembre 2012

[2] Rapport FranceAgriMer « Les filières pêche et aquaculture en France » – Edition avril 2013

[3] Rapport Ifremer « Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Flamanville » RT LER/FBN/12.05.CC - Année 2012

TAB-2.7.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'AGRICULTURE DANS LE DEPARTEMENT DE LA MANCHE

Région	Dép	Exploitations				SAU		
		Nombre au RGA 2000	Nombre au RGA 2010	% par rapport à la région	Évolution du nombre	RGA 2000	RGA 2010	Évolution
Basse-Normandie	Manche	18 242	11 328	47,4%	-37,9%	454 353	427 116	-6%

Dép Département

RGA Recensements Généraux Agricoles

SAU Surface Agricole Utile

Source : AGRESTE – Recensement Général Agricole de 2000 et 2010

TAB-2.7.2 PRINCIPALES CULTURES DANS LES COMMUNES SITUEES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Dép	Commune	Superficie agricole utilisée	Terres labourables	Céréales	Superficie fourragère principale (1)	Superficie toujours en herbe	Blé tendre	Orge et escourgeon	Maïs-grain et maïs semence	Maïs fourrage et ensilage	Légumes frais	Carottes
		Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
50	Benoîtville	577	410	161	409	167	124	15	NC	122	NC	NC
50	Biville	394	209	55	325	184	S	S	NC	S	NC	NC
50	Flamanville	396	202	55	341	195	38	S	S	74	NC	0
50	Héauville	1005	598	147	858	858	124	S	NC	270	NC	NC
50	Helleville	481	332	104	377	149	87	17	NC	S	NC	NC
50	Les Pieux	874	483	141	680	S	118	16	S	196	47	S
50	Le Rozel	362	267	73	264	91	32	31	NC	66	S	S
50	Saint-Germain-le-Gaillard	771	473	135	628	295	107	18	NC	155	NC	NC
50	Siouville-Hague	S	141	46	187	S	31	15	NC	43	NC	NC
50	Sotteville	458	310	73	368	137	56	S	NC	S	NC	NC

Dép	Commune	Superficie agricole utilisée	Terres labourables	Céréales	Superficie fourragère principale (1)	Superficie toujours en herbe	Blé tendre	Orge et escourgeon	Maïs-grain et maïs semence	Maïs fourrage et ensilage	Légumes frais	Carottes
		Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
50	Surtainville	860	447	54	609	409	37	8	S	162	181	15,7
50	Tréauville	1252	799	259	964	453	204	46	NC	276	S	S

(1) Sommes des fourrages et des surfaces toujours en herbe

S : secret statistique

NC : Non communiqué

Source : Ministère de l'Agriculture – Recensement Général Agricole de 2010

TAB-2.7.3 CHEPTEL VIF DANS LES COMMUNES SITUÉES DANS UN RAYON DE 10 KM AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE

Dép	Commune	Total Bovins	Total vaches	Total volailles	Vaches laitières	Vaches de race normande	Total porcins	Truies mères	Total équidés	Juments poulinières (selle, course)	Brebis mères
50	Benoîtville	808	353	NC	S	NC	4047	428	S	NC	155
50	Biville	640	219	NC	199	NC	S	NC	14	NC	175
50	Flamanville	753	271	NC	S	NC	NC	NC	S	NC	NC
50	Héauville	1747	650	NC	549	NC	NC	NC	S	NC	60
50	Helleville	829	345	S	S	NC	S	S	7	NC	S
50	Les Pieux	1723	618	S	430	NC	NC	NC	18	NC	155
50	Le Rozel	387	173	NC	S	NC	NC	NC	S	NC	S
50	Saint-Germain-le-Gaillard	1135	469	96	S	NC	S	NC	S	NC	366
50	Siouville-Hague	312	104	NC	74	NC	NC	NC	S	NC	NC
50	Sotteville	779	319	NC	217	NC	NC	NC	S	NC	S
50	Surtainville	1337	426	NC	407	NC	NC	NC	30	NC	50
50	Tréauville	1804	671	40	549	NC	S	S	30	NC	101

S : Secret statistique

NC : Non communiqué

Source : Ministère de l'Agriculture – Recensement Général Agricole de 2010

**TAB-2.7.4 NOMBRE DE PERMIS DE PÊCHE DÉLIVRÉS EN
2008 PAR LES DEUX AAPPMA DONT DÉPENDENT LES
COMMUNES SITUÉES DANS UN RAYON DE 10 KM
AUTOUR DU SITE DE FLAMANVILLE**

Nom de la commune	Nombre de permis de pêche délivrés par l'AAPPMA « La truite de la Scye »	Nombre de permis de pêche délivrés par l'AAPPMA « La truite Cherbourgeoise »
Flamanville	/	26
Siouville-Hague	/	24
Tréauville	/	14
Les Pieux	4	30
Le Rozel	/	2
Helleville	/	/
Benoîtville	2	19
Héauville	/	12
Saint-Germain-le-Gaillard	5	2
Sotheville	/	7
Biville	/	/
Surtainville	16	4

/ Aucun permis de pêche n'a été distribué sur la commune

Source Les AAPPMA « La truite de la Scye » et « La truite Cherbourgeoise » - Données 2008

TAB-2.7.5 NOMBRE DE NAVIRES DANS LES PRINCIPAUX PORTS DE LA COTE NORD-OUEST DU COTENTIN EN 2008

Port	Nombre de navires	+ de 10 m	- de 10 m
Cherbourg	35	17	18
Nord-Ouest*	5	2	3
Goury	2	0	2
Diélette	7	0	7
Carteret	22	13	9
Portbail	4	2	2

* Bateaux répertoriés par la Chambre de Commerce et de l'Industrie entre le Port de Cherbourg et le Port de Goury.

**TAB-2.7.6 CLASSEMENT DES ESPECES DEBARQUEES
DANS LE PORT DE CHERBOURG EN 2012**

Espèces	Tonnage (en kg)
SEICHE	688 777
TACAUD	607 832
MERLAN	594 395
ROUSSETTE	559 704
GRONDIN ROUGE	457 425
EGLEFIN	400 582
COQUILLE ST JACQUES	380 588
EMISSOLE	263 819
RAIE	227 825
SOLE	165 174
CONGRE	147 126
BAR	138 876
PLIE	126 918
CALMAR	118 011
BAUDROIE	109 977
LIEU JAUNE	105 076
GRISSET	102 120
CABILLAUD	89 260
REQUIN HAT	84 833
GRANDE ROUSSETTE	73 747
MAQUEREAU	67 843
ROUGET BARBET	60 286
GRONDIN PERLON	48 994
CHINCHARD	38 828
LIMANDE SOLE	37 366
BAR DE LIGNE	37 346

Espèces	Tonnage (en kg)
TOURTEAU	29 683
TURBOT	27 371
MOULE	27 055
VIEILLE COMMUNE	26 348
SAINT PIERRE	20 950
BUCCIN	20 785
LINGUE	19 527
BARBUE	15 293
HOMARD	12 173
LIMANDE COMMUNE	8 553
ARAIGNEE	7 540
VANNEAU	6 089
MULET	4 327
GRONDIN CAMARD	4 028
GRONDIN GRIS	3 186
MERLU	2 364
CARDINE	1 814
ETRILLE	1 272
DORADE ROYALE	1 208
HARENG	1 199
LANCON	837
BIGORNEAU	749
POULPE	692
GRANDE VIVE	673
FLET	522
LANGOUSTE	317
LIEU NOIR	209

Espèces	Tonnage (en kg)
DORADE ROSE (PAGEOT)	135
PEAU BLEUE	97
ORPHIE	58
DIVERS	33
BALISTE	28
DRAGONET	26
POISSON LUNE	12
SARDINE	10
SAUMON	10

Source Chambre de Commerce et de l'Industries de Cherbourg-Cotentin –
Rapport : « Bilan 2012 du centre de marée de Cherbourg-Cotentin ».



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 8

PAGE 1/42

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

SOMMAIRE

.2.8 CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES EN FONCTIONNEMENT NORMAL PROVENANT DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS GAZEUX ET LIQUIDES	4
1. REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES	4
1.1. MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES RETENUES	4
1.2. CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES	8
2. REJETS RADIOACTIFS GAZEUX	8
2.1. MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES RETENUES	8
2.2. CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES	12
3. CONCLUSION	13
LISTE DES RÉFÉRENCES.	14

TABLEAUX :

TAB-2.8.1	SYNOPTIQUE DES VOIES D'EXPOSITION RESULTANT DES REJETS LIQUIDES EN MER.....	15
TAB-2.8.2	SYNOPTIQUE DES VOIES D'EXPOSITION RESULTANT DES REJETS GAZEUX DANS L'ATMOSPHERE.....	16
TAB-2.8.3	RADIONUCLEIDES ET ACTIVITES REJETEES PRIS EN COMPTE DANS LES CALCULS	17
TAB-2.8.4	DONNEES ALIMENTAIRES EN PRODUITS DE LA MER POUR L'HOMME.....	19
TAB-2.8.5	FACTEURS DE CONCENTRATION DES PRODUITS DE LA PECHE (BQ/KG PAR BQ/L)	20
TAB-2.8.6	QUANTITES D'EAU DE MER ET DE SABLE INGEREES PAR INADVERTANCE	21
TAB-2.8.7	COEFFICIENTS DE PARTAGE EAU/SABLE KD_{SAB} (L/K).....	22
TAB-2.8.8	TRITIUM, COEFFICIENT DE FIXATION SUR LA MATIERE ORGANIQUE (S.D) ET TENEUR EN EAU DES ORGANISMES MARINS (KG D'EAU/KG FRAIS)	23
TAB-2.8.9	CARBONE 14, TENEUR EN CARBONE DANS LES PRODUITS DE LA PECHE (KG C/KG POIDS FRAIS)	24
TAB-2.8.10	COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE INGESTION (SV/BQ).....	25
TAB-2.8.11	COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE EXPOSITION EXTERNE (SV/H PAR BQ/M³)	26
TAB-2.8.12	DOSES EFFICACES TOTALES DUE AUX REJETS LIQUIDES DES TRANCHES 1-2 ET EPR PAR VOIES D'EXPOSITION	27
TAB-2.8.13	REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE PAR RADIONUCLEIDE	28
TAB-2.8.14	DOSES EFFICACES TOTALES DUES AUX REJETS LIQUIDES DES TRANCHES 1-2 ET EPR - SENSIBILITE DU GROUPE « GRAND CONSOMMATEUR ».....	29
TAB-2.8.15	REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE PAR RADIONUCLEIDE - SENSIBILITE DU GROUPE « GRAND CONSOMMATEUR ».....	30
TAB-2.8.16	RADIONUCLEIDES ET ACTIVITES REJETEES PRIS EN COMPTE DANS LES CALCULS	31

TAB-2.8.17	CARACTERISTIQUES DES LIEUX ETUDIES	32
TAB-2.8.18	DONNEES ALIMENTAIRES EN PRODUITS DE LA TERRE POUR L'HOMME	33
TAB-2.8.19	RATION ALIMENTAIRE DU BOVIN	34
TAB-2.8.20	RATION ALIMENTAIRE DE LA POULE.....	35
TAB-2.8.21	FACTEURS DE TRANSFERT AU LAIT, A LA VIANDE ET A L'ŒUF (JOUR.KG-1 FRAIS)	36
TAB-2.8.22	FRACTION DE CARBONE STABLE DANS LE POIDS FRAIS DES ALIMENTS (KGC.KG-1 POIDS FRAIS)	37
TAB-2.8.23	COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE POUR L'EXPOSITION EXTERNE APPLICABLES A TOUTES LES CLASSES D'AGE	38
TAB-2.8.24	COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE INHALATION (SV/ BQ)	39
TAB-2.8.25	COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE INGESTION (SV/BQ)	40
TAB-2.8.26	DOSES EFFICACES PAR VOIE D'EXPOSITION (SV/AN).....	41
TAB-2.8.27	REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE PAR RADIONUCLEIDE	42

.2.8 CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES EN FONCTIONNEMENT NORMAL PROVENANT DES REJETS D'EFFLUENTS RADIOACTIFS GAZEUX ET LIQUIDES

Les effluents radioactifs de la centrale sont sous deux formes :

- rejets liquides radioactifs dans la mer, essentiellement issus du rejet du système de contrôle et rejet des effluents liquides de l'îlot nucléaire (KER),
- rejets gazeux radioactifs via les cheminées de rejet, issus du circuit de traitement des effluents gazeux (TEG), du bâtiment réacteur, de la mise sous vide du condenseur et des ventilations et balayages.

Les déchets solides ne donnent pas lieu à des rejets dans l'environnement. Il n'y a pas de stockage définitif de déchets solides sur le site.

L'évaluation des conséquences radiologiques des rejets radioactifs est faite au moyen des codes de calcul suivants développés par EDF :

- **□** : « Évaluation de l'impact des rejets radioactifs liquides en fonctionnement normal »,
- **□** : « Méthode d'évaluation de l'Impact des Rejets Radioactifs Gazeux dans l'Environnement en fonctionnement normal ».

Ces codes déterminent, à partir des activités rejetées annuellement et des différentes voies d'exposition (voie interne comme l'ingestion ou voie externe comme l'exposition sur les plages), le niveau d'exposition maximal (dose efficace annuelle) reçu par les personnes du public vivant au voisinage de la centrale, dans la zone la plus impactée par les rejets gazeux, et ayant des activités qui les exposent plus particulièrement aux rejets liquides. Ces personnes constituent le « groupe de référence ».

La modélisation analytique s'appuie sur un ensemble d'hypothèses simplificatrices mais conservatives [Réf \[1\]](#) et [Réf \[2\]](#) permettant de donner un ordre de grandeur de l'exposition du groupe de référence. L'importance de l'impact est analysée par comparaison de la dose efficace totale à la dose limite de 1 mSv¹ figurant dans le Code de la Santé Publique (article R1333.8). L'ensemble des populations résidant de manière permanente ou temporaire autour du site est soumis à un impact inférieur ou égal à celui calculé pour le groupe de référence.

Les synoptiques des voies d'exposition des rejets radioactifs en mer et dans l'atmosphère sont présentés dans les tableaux [TAB-2.8.1](#) et [TAB-2.8.2](#).

En cohérence avec la décision n° 2018-DC-0639 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 19 juillet 2018 fixant les valeurs limites de rejet dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base n° 108, n° 109 et n° 167 exploitées par Électricité de France (EDF) dans la commune de Flamanville, l'évaluation des conséquences radiologiques est faite en considérant les activités rejetées par **les trois tranches du site de Flamanville**.

1. REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES

1.1. MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES RETENUES

Le site de Flamanville est situé en bord de mer. Les voies d'exposition prises en compte sont les suivantes :

- exposition externe due à des séjours sur les plages,

1. Cette valeur limite doit cependant tenir compte également des doses dues aux rejets radioactifs des autres installations nucléaires de la région.

- exposition externe due à la baignade en mer,
- exposition interne par ingestion de produits de la mer tels que les poissons, les mollusques et les crustacés,
- exposition interne due à l'ingestion de sable et d'eau de mer par inadvertance, lors de la pratique d'un sport nautique, d'un séjour sur les plages ou de la baignade.

L'ensemble des radionucléides et des activités rejetées par le site de Flamanville pris en compte dans les calculs est donné au tableau [TAB-2.8.3](#). Il s'agit des activités maximales rejetées en une année. Pour le tritium, deux limites de rejets sont mentionnées suivant le mode de gestion du combustible des tranches 1-2. Il est retenu l'activité rejetée maximale correspondant à une gestion du combustible Haut Taux de Combustion.

Le groupe de référence (supposé être le plus impacté par les rejets liquides) est constitué des habitants des communes proches de la centrale, susceptibles de fréquenter les plages proches du site, de se baigner à proximité, de pratiquer la pêche près de la côte ou de consommer les produits de la « pêche locale », pêchés à proximité des ouvrages de rejet.

Les expositions externes dues aux séjours sur les plages et à la baignade ainsi que les expositions internes par ingestion d'eau et de sable par inadvertance sont évaluées au niveau des plages des anses de Vauville et Sciotot situées à moins de 10 km de la centrale.

Pour le calcul de l'exposition par ingestion de produits de la mer, les rations retenues sont issues de l'enquête locale CREDOC de 1998 pour l'adulte et l'enfant de 10 ans (cf. [Réf \[3\]](#)), et de l'enquête nationale Fantino réalisée en 2005 pour l'enfant de 1 an (cf. [Réf \[4\]](#)). Elles se composent de poisson, mollusques et crustacés. Elles sont présentées dans le [TAB-2.8.4](#).

Les taux d'autoconsommation appliqués pour chaque catégorie d'aliments ont été établis à partir de l'enquête locale réalisée autour du site pour l'adulte et l'enfant de 10 ans, et à partir de l'enquête INSEE 1991 (cf. [Réf \[5\]](#)) pour l'enfant de 1 an. Ces taux d'autoconsommation sont donnés dans le tableau [TAB-2.8.4](#).

La décroissance radioactive liée au stockage des produits alimentaires est prise en compte.

Par ailleurs, une étude de sensibilité est réalisée sur la base d'une consommation plus importante en produits de la mer. Les calculs sont donc également effectués pour ce groupe nommé « grand consommateur » pour l'adulte et l'enfant de 10 ans. Les résultats sont donnés à titre indicatif.

Les valeurs des principaux paramètres utilisés dans les calculs sont rappelées dans les différents tableaux.

1) Modalités de rejet

Le rejet des effluents radioactifs liquides des tranches 1-2 se fait par l'intermédiaire du bassin de rejet de la tranche 1 préférentiellement (ou de la tranche 2 si la tranche 1 est à l'arrêt). Dans le bassin de rejet, les effluents se mélangent aux eaux de refroidissement de la tranche (circuits CRF, SEC, débit nominal de \square m³/s). Les eaux du bassin de rejet sont rejetées ensuite en mer via une galerie sous-marine de 500 à 600 m se terminant par un diffuseur. Les eaux de refroidissement de la tranche assurent donc une prédilution des rejets liquides avant rejet en mer. Le rejet des effluents radioactifs liquides de la tranche EPR se fait par la même galerie de rejet que celle rejetant les effluents des tranches 1-2, i.e. avec un débit de \square m³/s.

2) Activité volumique ajoutée à l'eau de mer

La concentration volumique moyenne de l'eau de mer en un point est fonction de l'activité rejetée pour chaque radionucléide et des conditions de dilution propres au site (première dilution dans les eaux de refroidissement puis deuxième dilution en mer).

En ce qui concerne la deuxième dilution en mer, le facteur de dilution des rejets dans l'eau de mer est déterminé de la façon suivante :

2. Il s'agit de la consommation correspondant au 95ème percentile de la ration alimentaire pour le poisson, les crustacés et les mollusques.

- pour la voie d'exposition par ingestion de produits de la mer, un coefficient de dilution de 0,21 correspondant à une zone située dans le champ proche des rejets est retenu. Ce coefficient de dilution est déterminé à partir de la modélisation de la dispersion des rejets thermiques, en supposant qu'il y a proportionnalité entre l'activité volumique des rejets et l'échauffement. Ce coefficient de dilution dans le champ proche est pris à une distance suffisamment proche (quelques centaines de mètres) des rejets pour être sous leur influence mais aussi suffisamment éloignée pour avoir une bonne homogénéité de la masse d'eau et un temps de séjour non négligeable des organismes vivants.
- pour la voie d'exposition externe due aux séjours sur les plages et à la baignade, ainsi que pour l'exposition interne par ingestion de sable et d'eau de mer lors d'une baignade ou de la pratique d'un sport nautique, l'activité volumique de l'eau est calculée avec un facteur de dilution de 0,07 correspondant au champ lointain des rejets.

Ces deux dilutions successives se traduisent par une activité volumique de l'eau d'environ 50 Bq/m³ dans le champ proche (0,21 x 1.109 / (24x3600x45)) et d'environ 20 Bq/m³ au niveau des plages (0,07 x 1.109 / (24x3600x45)), pour un débit de rejet de 1 GBq par jour.

- 3) Exposition interne par ingestion de produits de la pêche
Les poissons, les crustacés (et les mollusques) sont supposés vivre en permanence dans la zone située dans le champ proche des rejets.
Les radionucléides rejetés par le site dans la mer se concentrent dans les organismes marins plus ou moins vite. Ce phénomène de concentration est évalué à l'aide d'un facteur de concentration qui exprime, pour un radionucléide donné, hors tritium et hors carbone 14, le rapport entre l'activité massique des produits de la pêche et l'activité volumique de l'eau de mer. Les cas du tritium et du carbone 14 sont traités aux paragraphes 4. et 5. ci-dessous.
Ces facteurs sont donnés dans le tableau [TAB-2.8.5](#).
- 4) Exposition interne par ingestion d'eau de mer et de sable par inadvertance
Au cours de la baignade, d'un séjour sur les plages ou de la pratique d'un sport nautique, un individu peut avaler de l'eau et du sable par inadvertance. Les valeurs retenues pour les quantités ingérées pour l'adulte, l'enfant de 10 ans et de 1 an sont celles issues du Groupe Radioécologie Nord Cotentin (GRNC) (cf. [Réf \[6\]](#)). Elles sont regroupées dans le tableau [TAB-2.8.6](#).
- 5) Exposition externe due aux séjours sur les plages et à la baignade
L'individu présent sur les plages (pour les activités de pêche à pied, de promenade...), subit une exposition externe due au sable. L'activité du sable se déduit de l'activité de l'eau de mer par l'intermédiaire du coefficient de partage eau/sable. Ce coefficient traduit l'état d'équilibre entre l'adsorption et la désorption des radionucléides sur le sable. Il est présenté au tableau [TAB-2.8.7](#).
Le temps de présence annuel sur les plages est pris égal à 100 h/an. Cette valeur est utilisée par le Groupe Radioécologie Nord Cotentin (GRNC) pour les jeunes et les enfants et inclut le temps passé à la pêche à pied. Il est considéré que cette valeur est également valable pour l'adulte.
De même, au cours de la baignade, l'individu immergé dans l'eau de mer contaminée subit une exposition externe qui tient compte de la concentration dans l'eau de mer, du temps de baignade et des facteurs de doses dus à une exposition externe par immersion.
Le temps annuel de baignade est pris égal à 20 h/an. Cette valeur est utilisée par le Groupe Radioécologie Nord Cotentin (GRNC) pour toutes les classes d'âge et représente un temps de baignade de 20 min/jour pendant 2 mois.
- 6) Cas particulier du tritium
Le tritium (³H) rejeté par voie liquide par les CNPE se présente très majoritairement sous forme d'eau tritiée³.
Le comportement du tritium dans l'environnement est particulier dans la mesure où, en tant qu'isotope de l'hydrogène, il participe au cycle de vie de cet élément dans l'environnement naturel : il peut être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des organismes vivants.
Pour prendre en compte la spéciation du tritium, le modèle adopté pour simuler le transfert du tritium dans l'environnement prend en compte la spécificité des mécanismes de transfert entre les

3. Le rapport entre les quantités de tritium liquide rejeté sous forme de tritium organique et sous forme d'eau tritiée est de l'ordre de 1/1 000 000 (mesures effectuées par le CEA en 1999 sur le contenu de cuves d'effluents radioactifs avant rejet sur les sites de Belleville et de Nogent).

différents compartiments de l'environnement (eau, produits de la pêche) selon la forme de tritium considérée :

- pour le tritium libre : le modèle prend en compte la mise à l'équilibre de l'activité en tritium sous forme d'eau tritiée dans le compartiment considéré avec son activité au sein des autres compartiments de l'écosystème. Pour le transfert aux produits de la mer, l'activité en tritium sous forme d'eau tritiée est supposée égale à l'activité moyenne en tritium dans l'eau de mer ;
- pour le tritium organiquement lié : le modèle prend en compte la conservation du rapport isotopique $^3\text{H}/^1\text{H}$ entre les compartiments de l'écosystème. L'activité en tritium dans la matière organique est alors proportionnelle à l'activité en tritium sous forme d'eau tritiée et à la teneur relative en hydrogène stable dans la matière organique par rapport à l'eau (coefficient de fixation).

L'activité massique des produits de la pêche en tritium tient compte de l'activité volumique de l'eau en tritium, de la teneur en eau des organismes marins et du coefficient de fixation du tritium sur la matière organique de l'aliment. L'activité massique du tritium correspond à la somme des deux contributions « eau tritiée » et « tritium organique ».

La teneur en eau des organismes marins et les coefficients de fixation du tritium sur la matière organique sont récapitulés dans le tableau [TAB-2.8.8](#).

L'exposition externe au tritium n'est pas considérée en raison des propriétés physiques du rayonnement émis par ce radionucléide (émetteur bêta de faible énergie).

7) Cas particulier du carbone 14

Le carbone 14 (^{14}C) est supposé se comporter comme le carbone stable quelle que soit la forme physico-chimique. Le rapport isotopique entre l'isotope 12 et l'isotope 14 reste constant lors des transferts entre les différents constituants de l'écosystème.

Le ^{14}C est incorporé à la matière organique du phytoplancton au cours de la photosynthèse. A l'équilibre, l'activité spécifique du carbone végétal est égale à l'activité spécifique du carbone dans l'eau. Les maillons supérieurs de la chaîne trophique absorbent le ^{14}C essentiellement à partir de la nourriture : l'activité spécifique d'un organisme est égale, à l'équilibre, à celle de sa source de nourriture.

Le ^{14}C rejeté dans les effluents liquides est supposé être à 100% sous forme minérale.

L'activité massique des produits de la pêche tient compte de l'activité volumique de l'eau de mer, de la teneur en carbone stable dans le produit et de la teneur en carbone stable de l'eau de mer ; cette dernière est prise égale à 25,2 g/m³ (valeur issue de l'ouvrage « Marine Ecology », Kinne, 1970).

Les teneurs en carbone stable dans les produits de la pêche sont données au tableau [TAB-2.8.9](#).

L'exposition externe au ^{14}C n'est pas considérée étant donné les propriétés physiques du rayonnement émis par ce radionucléide.

8) Évaluation de la dose efficace annuelle

Les valeurs des coefficients de dose efficace pour la voie d'exposition par ingestion sont données dans le tableau [TAB-2.8.10](#). Ces valeurs sont extraites de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003⁴ extrait du J.O. de la République Française du 13/11/2003.

Les coefficients de dose efficace due à l'exposition externe à un milieu d'épaisseur infinie et par immersion sont donnés dans le tableau [TAB-2.8.11](#). Ils sont extraits du Federal Guidance n°12⁵.

Les valeurs de coefficients de dose utilisées tiennent compte de la filiation des radionucléides étudiés⁶.

L'article R1333-8 du Code de la Santé Publique fixe la limite de dose efficace annuelle totale, toutes voies d'exposition et tous isotopes confondus, à 1 mSv pour les personnes du public (hors exposition à la radioactivité naturelle et hors pratiques médicales).

4. Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.
5. External exposure to radionuclides in air, water and soil. Oak Ridge National Laboratory, 1993.
6. Les coefficients de dose par ingestion sont des coefficients de dose globaux. La filiation est automatiquement prise en compte. En ce qui concerne l'exposition externe, pour le Cs137, la filiation est prise en compte (valeur issue de la base ECRIN).

1.2. CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

Les résultats sont donnés dans les tableaux [TAB-2.8.12](#) et [TAB-2.8.13](#).

La dose efficace annuelle aux limites autorisées pour le site de Flamanville due aux rejets radioactifs liquides, pour les voies d'exposition interne par ingestion et externes dues aux séjours sur les plages et à la baignade, tous radionucléides confondus, est estimée :

- pour l'adulte à 9.10^{-7} Sv/an,
- pour l'enfant de 10 ans à 5.10^{-7} Sv/an,
- pour l'enfant de 1 an à 3.10^{-7} Sv/an

Ces doses représentent **moins de 1 μ Sv** soit **moins de 1/1 000ème** de la limite annuelle fixée à **1 mSv** par l'article R1333-8 du Code de la Santé Publique.

A titre indicatif, pour le groupe « grand consommateur » de produits de la mer, la dose est estimée à $3.6.10^{-6}$ Sv/an pour l'adulte et à $1.9.10^{-6}$ Sv/an pour l'enfant de 10 ans. La dose efficace par voie d'exposition et la contribution par radionucléide pour ce groupe « grand consommateur » est présentée dans les tableaux [TAB-2.8.14](#) et [TAB-2.8.15](#).

2. REJETS RADIOACTIFS GAZEUX

2.1. MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSES RETENUES

Les voies d'exposition prises en compte sont les suivantes :

- l'exposition externe au panache,
- l'exposition externe au dépôt sur et dans le sol,
- l'exposition interne par inhalation du panache,
- l'exposition interne par ingestion d'aliments.

L'ensemble des radionucléides et des activités rejetées par le site de Flamanville pris en compte dans les calculs est donné dans le tableau [TAB-2.8.16](#). Il s'agit des **activités maximales rejetées en une année**.

L'évaluation des conséquences radiologiques du site de Flamanville, dues aux rejets gazeux, est établie pour les lieux suivants :

- Diélette,
- Les Hougues,
- Cité Sainte Barbe,
- La Berquerie,
- Hameau Es Louis,
- Hameau Courtois,
- Hameau Guérard,
- La Coquaise.
- Hameau Moitié

Ces lieux donnent une vision représentative de l'ensemble des situations rencontrées autour du site. Pour chacun de ces lieux, les Coefficients de Transfert Atmosphériques (CTA), traduisant l'importance de l'activité volumique en un point, ont été calculés afin de déterminer le lieu le plus impacté par les rejets radioactifs à l'atmosphère.

Les caractéristiques de ces lieux sont données dans le tableau [TAB-2.8.17](#). Ceux-ci montrent que le coefficient de transfert atmosphérique (traduisant l'importance de l'activité volumique en un point) le plus pénalisant correspond au lieu « La Berquerie », qui est donc considéré comme groupe de référence vis-à-vis des rejets radioactifs gazeux. Les habitants de ce lieu, constitués d'individus adultes ainsi que d'enfants âgés de 10 ans et 1 an, sont supposés rester toute l'année sur leur lieu d'habitation.

L'évaluation des conséquences radiologiques du site, dues aux rejets gazeux, est donc présentée pour le lieu « La Berquerie », situé à 750 m du point de rejet dans la direction de 80°⁷.

Il est à noter, que compte-tenu de l'évolution des données météorologiques, le lieu le plus impacté par les rejets radioactifs à l'atmosphère a évolué depuis le DARPE, qui pour rappel était le hameau « Les Hougues ».

Pour le calcul de l'exposition par ingestion, les rations retenues sont issues de l'enquête locale CREDOC de 1998 pour l'adulte et l'enfant de 10 ans (cf. [Réf \[3\]](#)), et de l'enquête nationale Fantino réalisée en 2005 pour l'enfant de 1 an (cf. [Réf \[4\]](#)). Elles se composent de légumes feuilles, légumes racines, légumes fruits, lait, viande, œufs et céréales. Elles sont présentées dans le tableau [TAB-2.8.18](#).

Les taux d'autoconsommation appliqués pour chaque catégorie d'aliments ont été établis à partir de l'enquête locale réalisée autour du site pour l'adulte et l'enfant de 10 ans, et à partir de l'enquête INSEE 1991 (cf. [Réf \[5\]](#)) pour l'enfant de 1 an. Ces taux d'autoconsommation sont donnés dans le tableau [TAB-2.8.18](#).

La décroissance radioactive liée au stockage des produits alimentaires est prise en compte.

Afin de considérer une durée de dépôt des radionucléides au sol pénalisante, la durée de fonctionnement de l'installation retenue est de 60 ans (en notant que la durée de fonctionnement est de 40 ans pour les tranches Fla 1 et Fla 2 et de 60 ans pour la tranche EPR).

Les valeurs des principaux paramètres utilisés dans les calculs sont rappelées dans les différents tableaux.

1) Évaluation du transfert par les différents vecteurs

Le site de Flamanville est situé en bord de mer. La diffusion atmosphérique à courte distance est fortement influencée par les particularités topographiques du site. Le calcul de la dispersion atmosphérique est spécifique à ce site.

Le site de Flamanville est installé sur une plate-forme réalisée par excavation de la falaise à \square m NGF. L'altitude de la falaise au niveau du site est d'environ 79 m NGF.

Les effluents radioactifs atmosphériques sont rejetés par les cheminées de ventilation des Bâtiments des Auxiliaires Nucléaires (BAN). Dans l'étude, le point de rejet retenu pour l'ensemble des rejets du site est centré sur la cheminée de la tranche 2, située à distance sensiblement égale entre la cheminée de la tranche 1 et celle de la tranche EPR. Les rejets ont lieu à \square m par rapport à la plate-forme soit \square m NGF, correspondant à une trentaine de mètres au dessus de la falaise.

Dans les calculs, les débits d'activité vers l'atmosphère sont considérés comme constants, sachant que sur l'ensemble de l'année, les variations n'ont que très peu d'effet.

Dispersion atmosphérique

Le transfert des éléments radioactifs rejetés avec les effluents gazeux fait intervenir, en premier lieu, la diffusion de ces effluents dans l'atmosphère qui permet d'évaluer l'activité volumique de l'air dans l'environnement.

L'activité volumique en un point est fonction d'une part du débit de rejet et d'autre part d'un coefficient de transfert atmosphérique (CTA) qui tient compte de la distance au point de rejet et des conditions météorologiques.

Pour les sites en plaine, ce CTA est déterminé sur la base d'un modèle utilisant un grand nombre de données expérimentales (modèle IPSN- abaques « Le Quinio »).

7. Les distances au point de rejet correspondent à la situation de l'habitation la plus proche. L'angle 0° indique la direction du Nord. Le sens de rotation angulaire est l'inverse du sens trigonométrique.

Pour les sites présentant une topographie irrégulière (comme les sites dits « falaise »), l'analyse de la dispersion est complétée par des essais physiques. Pour le site de Flamanville, deux types d'essais ont été réalisés :

- des essais sur maquette en soufflerie réalisés en 1980 et réactualisés en 2006,
- des expériences de traçage in situ (1982).

Les CTA retenus pour les calculs d'impact au niveau des différents lieux étudiés sont ceux obtenus avec les essais sur maquette, ceux-ci sont les plus pénalisants. Afin de tenir compte des conditions atmosphériques réelles sur le site de Flamanville, les CTA obtenus en soufflerie sont ensuite pondérés par les données météorologiques locales (période 2002-2011) qui tiennent compte notamment des proportions de temps sec et de temps de pluie, de la fréquence du vent dans la direction du lieu pour lequel le calcul est effectué, et de la probabilité d'être en conditions de diffusion "normale" ou "mauvaise" par temps sec et par temps de pluie.

Les caractéristiques de transfert atmosphérique retenues sont précisées dans le tableau [TAB-2.8.17](#).

Dépôt au sol et remise en suspension

Pour l'exposition externe due au dépôt au sol, le calcul ne prend pas en compte les gaz rares, chimiquement inertes, qui ne se déposent pas, ainsi que le tritium, présent sous forme d'eau tritiée, qui ne s'accumule pas à la surface du sol et le carbone 14, émetteur d'un rayonnement ionisant (b pur) à faible pouvoir de pénétration dans l'atmosphère.

Une partie de l'activité de l'air est transférée au sol par dépôt, selon des lois différentes en fonction du type de temps, sec ou pluvieux.

La terre fixe les radionucléides par sorption, l'eau de pluie les entraîne par lessivage, l'équilibre entre les deux actions conduit à une "accumulation-décroissance". Un coefficient d'"accumulation-décroissance" du radionucléide au cours du temps comptabilise l'ensemble des apports compte tenu de la décroissance radioactive et des pertes écologiques.

La vitesse de dépôt sur le sol nu est de 10^{-2} m/s pour les iodes⁸ et $5 \cdot 10^{-3}$ m/s pour les aérosols.

Le taux de lavage du panache par la pluie est de $7 \cdot 10^{-5}$ s⁻¹ pour les iodes et $3 \cdot 10^{-4}$ s⁻¹ pour les aérosols.

L'activité volumique atmosphérique due à la remise en suspension dans l'air des dépôts au sol (vent, pratiques culturales...) est négligée. En effet, sur la base d'une activité surfacique totale de $8,5 \cdot 10^{-1}$ Bq/m² au lieu « La Berquerie » (groupe de référence) et en considérant un facteur de remise en suspension de 10^{-8} m⁻¹ (valeur utilisée dans le cadre des études réalisées par le Groupe Radioécologie Nord Cotentin⁹), l'activité volumique totale de l'air, estimée à 3,9 Bq/m³ pour le lieu le plus exposé, ne serait augmentée que de $8,5 \cdot 10^{-9}$ Bq/m³ environ.

Transfert le long des chaînes alimentaires

Les gaz rares, gaz inertes n'interférant pas avec les tissus vivants, n'entrent pas dans la chaîne alimentaire. Ils ne sont donc pas considérés dans ces calculs.

- Iodes et autres « PF/PA » :

Transfert dans les produits d'origine végétale

Le transfert dans le milieu végétal se fait par le dépôt sec des radionucléides sur le végétal, les apports de radionucléides par l'eau de pluie et les apports dus aux radionucléides présents dans le sol.

Le rendement cultural en poids frais est pris égal à 0,5 kg frais/m² pour tous les végétaux, ce facteur traduit la capacité de captation de la surface du végétal.

Le taux d'irrigation annuel est fixé à 200 L/m².an pour tous les végétaux.

La pluviométrie en moyenne annuelle est de 796,9 mm/an, et l'évapotranspiration potentielle totale est de 657 mm/an environ (voir sous-chapitre 2.3).

Transfert dans les produits d'origine animale

Le transfert dans le milieu animal se fait par ingestion de végétaux, abreuvement d'eau et inhalation de radionucléides présents dans l'atmosphère.

La ration retenue pour le bovin est présentée dans le tableau [TAB-2.8.19](#). Elle se compose d'herbe, de foin et de maïs ensilage. La ration retenue pour la poule, présentée dans le tableau [TAB-2.8.20](#), se compose de céréales.

8. L'iode est considérée sous forme moléculaire I₂, ce qui est une hypothèse majorante.

9. Groupe Radioécologie Nord Cotentin - GT4 - Volume 4 - « Estimation des doses et des risques de leucémie associés. » - Juillet 1999.

La décroissance radioactive liée au stockage des produits de l'alimentation du bovin et de la poule est prise en compte.

Les facteurs de transfert au lait, à la viande et à l'œuf de poule pour les différents radionucléides et types d'exposition sont donnés dans le tableau [TAB-2.8.21](#).

- Tritium :

Le tritium se retrouve dans les compartiments où l'eau est présente en phase vapeur ou liquide.

A l'échelle annuelle, le tritium présent dans le végétal s'équilibre entre les différents compartiments, et se trouve être relié à l'humidité moyenne de l'atmosphère ; l'hydrogène étant un constituant de la matière organique, le tritium se retrouvera également dans celle-ci par suite de la synthèse chlorophyllienne. L'activité dans un produit animal tient compte de l'atmosphère tritiée et de l'eau d'abreuvement tritiée. Un coefficient de fixation du tritium sur la matière organique des animaux de 0,5 est considéré.

La température en moyenne annuelle est de 11,7 °C, l'humidité atmosphérique absolue à saturation en moyenne annuelle est donc de $1,03 \cdot 10^{-2}$ kg/m³ et l'humidité atmosphérique absolue en moyenne annuelle de $8,8 \cdot 10^{-3}$ kg/m³ (voir sous-chapitre 2.3).

Le taux de lavage du panache par la pluie et le facteur de transfert entre l'atmosphère et l'eau de pluie sont respectivement de $2 \cdot 10^{-4}$ s⁻¹ exposant et de 0,2 m²/L pour le tritium.

- Carbone 14

Sous forme minérale dioxyde de carbone (CO₂), le ¹⁴C est incorporé à la matière organique des végétaux au cours de la photosynthèse. A l'équilibre, l'activité spécifique (rapport du carbone 14 sur carbone stable) du carbone végétal est égale à l'activité spécifique du carbone atmosphérique.

Sous forme organique méthane (CH₄), il ne participe pas à la photosynthèse et, par suite, ne se transfère pas directement aux végétaux et aux animaux. Le méthane est oxydé progressivement dans l'atmosphère dans une suite de réactions photochimiques, qui aboutissent à la formation de dioxyde de carbone. Il s'agit de réactions à cinétique lente, la formation de dioxyde de carbone ne peut donc pas être prise en compte à l'échelle locale.

Par conséquent, pour les transferts par la chaîne alimentaire, les calculs sont effectués en ne tenant compte que du ¹⁴C sous forme de ¹⁴CO₂ (forme minérale) soit 20 % du ¹⁴C total rejeté. En effet, il est considéré que le ¹⁴C gazeux rejeté à la cheminée des réacteurs d'EDF est réparti de la façon suivante : 80 % en méthane (forme organique) et 20 % en dioxyde de carbone (forme minérale). Ces données s'appuient sur l'analyse du retour d'expérience international sur les rejets de ¹⁴C dans les effluents atmosphériques des Réacteurs à Eau Pressurisée, notamment celui de l'EPRI (EPRI TR-105715, projet 2724-04, final report, November 1995 : « Characterization of C14 generated by the nuclear power industry ») et de l'AIEA (Technical Report Series n°421 « Management of waste containing tritium and carbon-14 »).

L'activité en ¹⁴C dans les produits alimentaires est fonction de son activité volumique moyenne dans l'air sous forme minérale, de la fraction de carbone stable dans le produit et de la concentration atmosphérique en carbone stable fixée à 0,19 g/m³.

La fraction de carbone stable dans les aliments est donnée dans le tableau [TAB-2.8.22](#).

2) Évaluation de la dose efficace annuelle

Les valeurs de coefficients de dose utilisées dans le code de calcul tiennent compte des produits de filiation des radionucléides étudiés¹⁰.

Le tritium est considéré sous forme d'eau tritiée et l'iode sous forme moléculaire.

Exposition externe

La dose efficace due à l'exposition externe est calculée en considérant que l'adulte, l'enfant de 10 ans et l'enfant de 1 an passent toute l'année 34 % du temps à l'extérieur des habitations. Ce temps de présence est issu de la base de données CIBLEX (valeur associée à la catégorie socio-professionnelle « Exploitant/ouvrier agricole » - cf. [Réf \[7\]](#)).

Par ailleurs, les facteurs de protection de l'habitat associés à l'exposition externe au panache et à l'exposition externe au dépôt au sol sont respectivement de 0,85 et de 0,95 (soit respectivement des facteurs d'exposition de 0,15 et 0,05 ; valeurs utilisées dans le cadre des études réalisées par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin).

10. Les coefficients de dose par inhalation et par ingestion sont des facteurs de dose globaux. La filiation est automatiquement prise en compte. En ce qui concerne l'exposition externe, pour le radionucléide ¹³⁷Cs, la filiation est prise en compte (valeurs issues de la base ECRIN).

Les coefficients de dose, pour l'exposition externe au panache et au dépôt au sol, sont présentés dans le tableau [TAB-2.8.23](#). Ils sont extraits du Federal Guidance n°12¹¹. Le tritium et le carbone 14 ne sont pas concernés, l'exposition externe à ces deux radionucléides étant négligée en raison des caractéristiques physiques de leur rayonnement

Exposition interne

Les coefficients de dose pour l'exposition interne par inhalation et par ingestion sont présentés dans les tableaux [TAB-2.8.24](#) et [TAB-2.8.25](#). Ils sont extraits de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003¹².

Pour la voie inhalation :

- Le type de clairance¹³ pulmonaire pris en compte pour la voie inhalation est généralement celui recommandé par la CIPR 72 s'il existe, sinon la forme la plus pénalisante est considérée.
- Le volume d'air inhalé est pris égal à 9220 m³/an pour l'adulte, 5590 m³/an pour l'enfant de 10 ans et à 1900 m³/an pour l'enfant de 1 an (cf. [Réf \[7\]](#)).
- La totalité du ¹⁴C rejeté est prise en compte, en supposant que 80 % sont rejetés sous forme organique et 20 % sous forme minérale.
- Les gaz rares n'interviennent pas dans le calcul. En effet, l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 indique : « Pour la plupart des radionucléides du type gaz inerte, l'exposition interne résultant de gaz absorbés dans les tissus de l'organisme ou contenus dans les poumons est négligeable si on la compare à l'exposition externe de la peau et des autres organes lorsqu'une personne est immergée dans un gaz radioactif. ».

Pour la voie ingestion :

- Seul le ¹⁴C sous forme minérale, qui participe à la photosynthèse, est pris en compte.
- Les gaz rares n'entrent pas dans le calcul.

Limite de dose efficace annuelle

L'article R1333.8 du Code de la Santé Publique fixe la limite de dose efficace annuelle totale, toutes voies d'exposition et tous radionucléides confondus, à 1 mSv pour les personnes du public (hors exposition à la radioactivité naturelle et hors pratiques médicales).

2.2. CONSÉQUENCES RADIOLOGIQUES

Les doses efficaces par voie d'exposition et la contribution par radionucléide pour le groupe de référence « La Berquerie » sont présentées les tableaux [TAB-2.8.26](#) et [TAB-2.8.27](#).

La dose efficace annuelle aux limites autorisées due aux rejets atmosphériques du site de Flamanville, toutes voies d'exposition et tous radionucléides confondus, au lieu « La Berquerie » est estimée :

- pour l'adulte et l'enfant de 10 ans à 2.10⁻⁶ Sv/an,
- pour l'enfant de 1 an à 5.10⁻⁶ Sv/an.

Ces doses représentent **moins de 6 µSv/an** soit **moins de 6/1000ème** de la limite annuelle d'exposition pour une personne du public fixée à 1 mSv par l'article R1333-8 du Code de la Santé Publique.

A titre indicatif, la dose efficace annuelle au lieu « Les Hougues » (ancien groupe de référence du DARPE) est évaluée à environ 1 µSv/an pour l'adulte et l'enfant de 10 ans, et à environ 3 µSv pour l'enfant de 1 an.

11. External exposure to radionuclides in air, water and soil. Oak Ridge National Laboratory, 1993.

12. Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

13. La clairance est le coefficient d'épuration correspondant à l'aptitude d'un tissu, d'un organe, à éliminer une substance.

3. CONCLUSION

Les personnes représentatives considérées vis-à-vis des rejets radioactifs du site de Flamanville sont les habitants du lieu « La Berquerie » qui sont supposés cumuler l'effet des expositions aux rejets atmosphériques et l'effet des expositions dues aux rejets liquides, dans le cas où ils consommeraient des aliments produits localement et des produits pêchés au niveau des rejets.

Dans ces conditions et en supposant les rejets aux limites autorisées pour le site de Flamanville dans son ensemble, les doses efficaces annuelles seraient inférieures à 3 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'adulte et l'enfant de 10 ans, et inférieures à 6 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'enfant de 1 an.

A titre indicatif, pour le groupe « grand consommateur » de produits de la mer, les doses sont estimées à moins de 6 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ pour l'adulte et l'enfant de 10 ans.

Ces doses représentent **moins de 6/1000ème** de la limite annuelle fixée à **1 mSv** par l'article R1333-8 du Code de la Santé Publique.

On peut rappeler, de plus, que ces doses additionnelles sont à comparer à l'exposition à la radioactivité naturelle omniprésente, qui est en moyenne annuelle de 2400 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ en France, et dont les fluctuations d'une région à une autre peuvent faire varier cette valeur du simple au double : « l'impact dosimétrique » du site de Flamanville est ainsi sans commune mesure avec l'exposition à la radioactivité naturelle.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1] Note EDF/SEPTEN E-N-T-TR/01-00226A du 10.07.2001 Note de principe du code de calcul 

[2] Note EDF/SEPTEN ENTEAG030270A du 08.01.04 Note de principe du code de calcul 

[3] CREDOC – Juin 1998 – « Enquête sur la consommation alimentaire dans le Nord Cotentin pour la COGEMA » - Rapport final

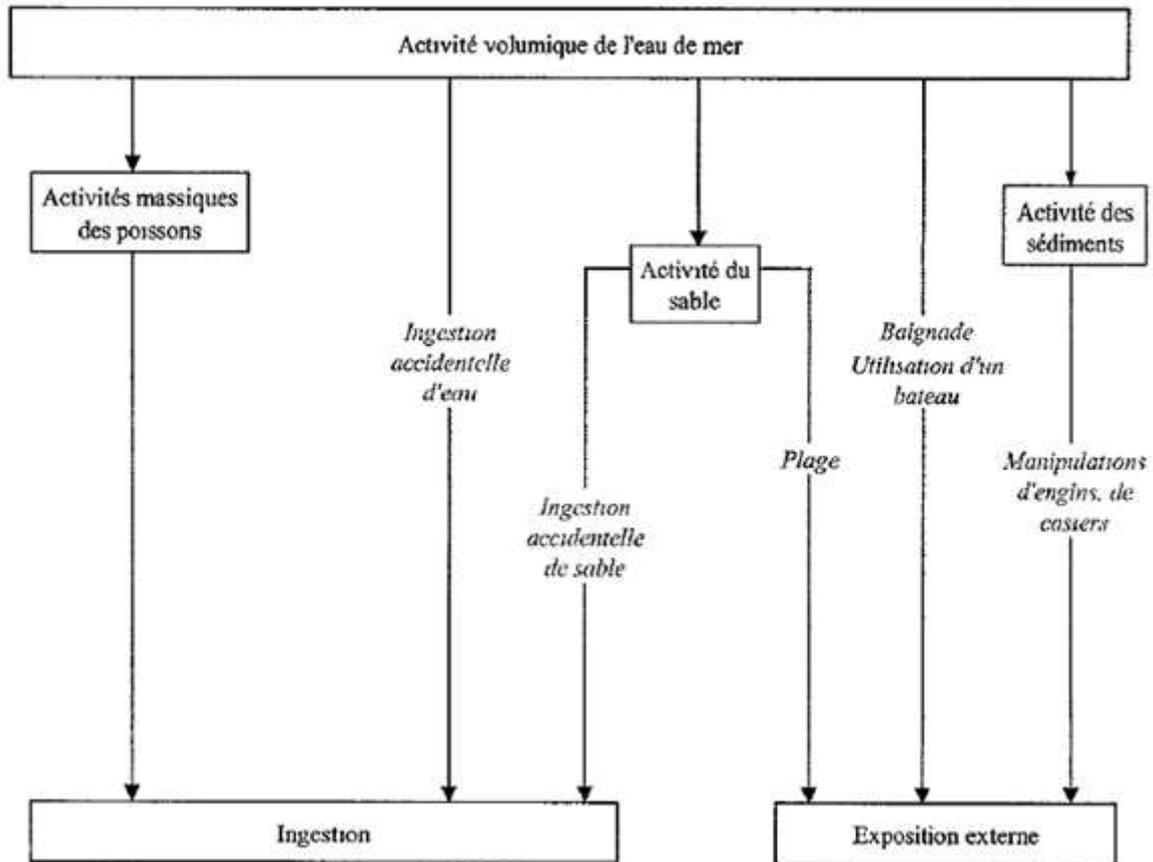
[4] Archive de pédiatrie 15 446-455 – 2008 – « Apports nutritionnels en France en 2005 chez les enfants non allaités âgés de moins de 36 mois,» Fantino M. et Gourmet E.

[5] Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques – 09/1993 – « Consommation et lieux d’achats des produits alimentaires en 1991, Résultats Consommation-Modes de vie n° 54-55 »

[6] Rapport Groupe Radioécologie Nord-Cotentin – Rapport détaillé du GT4 – Volume 4 – 07/1999 – « Estimation des doses et des risques de leucémie associés »

[7] CIBLEX, novembre 2003 – Banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d’un site pollué, Publication ADEME – IRSN

TAB-2.8.1 SYNOPTIQUE DES VOIES D'EXPOSITION RESULTANT DES REJETS LIQUIDES EN MER



TAB-2.8.3 RADIONUCLÉIDES ET ACTIVITÉS REJETÉES PRIS EN COMPTE DANS LES CALCULS

REJETS LIQUIDES

Radionucléides	Tranches 1-2 et EPR (activité annuelle maximale)
Ag 110m	0,5525 GBq
Co 58	3,0745 GBq
Co 60	3,4775 GBq
Cs 134	0,351 GBq
Cs 137	0,637 GBq
Mn 54	0,403 GBq
Sb 124	0,494 GBq
Sb 125	0,923 GBq
Ni 63	2,509 GBq
Te 123m	0,5135 GBq
Autres (Cr 51)	0,065 GBq
<i>Total</i>	<i>13 GBq</i>
I 131	0,12 GBq
H3 14	165 TBq
C14	280 GBq

Remarques :

1) La catégorie « autres » regroupe l'ensemble des différents radionucléides pouvant être détectés de façon épisodique. Dans les conditions de l'étude, elle est représentée par le Cr51. Le calcul de

14. La limite annuelle de rejets en tritium de 165 TBq s'applique dans le cas d'une gestion du combustible à Haut Taux de Combustion (HTC) sur les tranches 1-2. La limite annuelle de rejets en tritium dans le cas d'une gestion autres que HTC est de 145 TBq. Pour la tranche EPR, il n'est pas fait de distinction entre les différents modes de gestion du combustible. Pour les calculs, il est retenu l'activité rejetée maximale en tritium à savoir 165 TBq/an.



RAPPORT DE SURETE

— DE FLAMANVILLE 3 —

Version Publique

Edition DEMANDE DE MISE EN SERVICE

CHAPITRE 2

SECTION 8

PAGE 18/42

CENTRALES NUCLÉAIRES

Palier EPR

la dose est effectué en supposant que le Cr51 représente l'ensemble de la catégorie "autres" soit une activité totale rejetée de 0,065 GBq.

- 2) La répartition de l'activité globale en autres produits de fission et d'activation entre les différents radionucléides est établie à partir de la moyenne des rejets de toutes les tranches 1300 MWe calculée sur la période 2005-2009, aucun retour d'expérience n'étant disponible pour la tranche EPR.

TAB-2.8.4 DONNEES ALIMENTAIRES EN PRODUITS DE LA MER POUR L'HOMME

Produit consommé	Adulte		Enfant de 10 ans		Taux d'autoconsommation	Enfant de 1 an	Taux d'autoconsommation
	(i)	(ii)	(i)	(ii)			
Poisson (kg/an)	15,1	46,0	6,5	19,9	40 %	4,5	22 %
Mollusque (kg/an)	2,6	15,7	0,5	3,2	75 %	-	-
Crustacé (kg/an)	2,5	13,2	0,9	5,9	54 %	-	-

(i) : consommateur moyen de produits de la mer

(ii) : grand consommateur de produits de la mer

**TAB-2.8.5 FACTEURS DE CONCENTRATION DES
PRODUITS DE LA PECHE
(BQ/KG PAR BQ/L)**

	Poissons	Crustacés	Mollusques
Ag	1000	5000	100000
Co	100	1000	1000
Cs	50	30	10
I	10	100	100
Mn	500	1000	10000
Sb	1000	300	100
Te	1000	10000	10000
Ni	500	100	100
Cr	400	500	500

**TAB-2.8.6 QUANTITES D'EAU DE MER ET DE SABLE
INGERÉES PAR INADVERTANCE**

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 an
Eau de mer (L/an)	0,1	0,1	0,05
Sable (g/an)	0,5	1	5

TAB-2.8.7 COEFFICIENTS DE PARTAGE EAU/SABLE $K_{D_{SAB}}$
(L/K)

	$K_{D_{SAB}}$
C	5
H	1
Ag	90
Co	60
Cs	270
I	1
Mn	49
Sb	45
Te	125
Ni	400
Cr	67

**TAB-2.8.8 TRITIUM, COEFFICIENT DE FIXATION SUR LA
MATIERE ORGANIQUE (S.D) ET TENEUR EN EAU DES
ORGANISMES MARINS (KG D'EAU/KG FRAIS)**

	Poissons	Crustacés	mollusques
Teneur en eau des organismes marins	0,80	0,80	0,85
Coefficient de fixation sur la matière organique	0,64	0,64	0,64

**TAB-2.8.9 CARBONE 14, TENEUR EN CARBONE DANS
LES PRODUITS DE LA PECHE (KG C/KG POIDS FRAIS)**

	Teneur en carbone dans les produits de la pêche
Poissons	0,095
Crustacés	0,08
Mollusques	0,08

TAB-2.8.10 COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE
INGESTION (SV/BQ)

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 an ¹⁵
H 3 (eau tritiée)	1,80E-11	2,30E-11	4,80E-11
H 3 (tritium organique)	4,20E-11	5,70E-11	1,20E-10
C 14	5,80E-10	8,00E-10	1,60E-09
Ag 110m	2,80E-09	5,20E-09	1,40E-08
Co 58	7,40E-10	1,70E-09	4,40E-09
Co 60	3,40E-09	1,10E-08	2,70E-08
Cs 134	1,90E-08	1,40E-08	1,60E-08
Cs 137	1,30E-08	1,00E-08	1,20E-08
I 131	2,20E-08	5,20E-08	1,80E-07
Mn 54	7,10E-10	1,30E-09	3,10E-09
Sb 124	2,50E-09	5,20E-09	1,60E-08
Sb 125	1,10E-09	2,10E-09	6,10E-09
Te 123m	1,40E-09	2,80E-09	8,80E-09
Ni 63	1,50E-10	2,80E-10	8,40E-10
Cr 51	3,80E-11	7,80E-11	2,30E-10

15. Coefficient de dose pour la classe [1-2 ans[

TAB-2.8.11 COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE
EXPOSITION EXTERNE
(SV/H PAR BQ/M³)

	Coefficients de dose efficace due à une exposition à un milieu solide d'épaisseur infinie	Coefficients de dose efficace due à une exposition externe par immersion
H 3	-	-
C 14	-	-
Ag 110m	3,31E-13	1,06E-12
Co 58	1,15E-13	3,71E-13
Co 60	3,12E-13	9,86E-13
Cs 134	1,83E-13	5,90E-13
Cs 137	6,57E-14	2,13E-13
I 131	4,18E-14	1,43E-13
Mn 54	9,94E-14	3,20E-13
Sb 124	2,25E-13	7,13E-13
Sb 125	4,72E-14	1,58E-13
Te 123m	1,21E-14	5,18E-14
Cr 51	3,36E-15	1,19E-14
Ni 63	-	-

**TAB-2.8.12 DOSES EFFICACES TOTALES DUE AUX
REJETS LIQUIDES DES TRANCHES 1-2 ET EPR PAR VOIES
D'EXPOSITION**

ADULTE	Sv/an
Dose efficace due à l'exposition externe	<1E-09
Dose efficace due à l'exposition interne	9E-07
Dose efficace TOTALE	9E-07
ENFANT DE 10 ANS	Sv/an
Dose efficace due à l'exposition externe	<1E-09
Dose efficace due à l'exposition interne	5E-07
Dose efficace TOTALE	5E-07
ENFANT DE 1 AN	Sv/an
Dose efficace due à l'exposition externe	<1E-09
Dose efficace due à l'exposition interne	3E-07
Dose efficace TOTALE	3E-07

**TAB-2.8.13 REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE
PAR RADIONUCLÉIDE**

Radionucléide	ADULTE Contribution à la dose efficace totale	ENFANT 10 ANS Contribution à la dose efficace totale	ENFANT 1 AN Contribution à la dose efficace totale
H3	0,5%	0,5%	0,5%
C14	91,9%	92,4%	97,0%
AG110M	5,6%	4,2%	0,5%
CO58	0,2%	0,2%	0,1%
CO60	0,8%	1,5%	0,6%
CS134	< 1%	< 0,1%	< 0,1%
CS137	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
I131	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
MN54	0,1%	0,1%	< 0,1%
SB124	0,1%	0,2%	0,5%
SB125	0,1%	0,2%	0,3%
TE123M	0,5%	0,5%	0,3%
NI63	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
CR51	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%

**TAB-2.8.14 DOSES EFFICACES TOTALES DUES AUX
REJETS LIQUIDES DES TRANCHES 1-2 ET EPR -
SENSIBILITE DU GROUPE « GRAND CONSOMMATEUR »**

ADULTE	Sv/an
Dose efficace due à l'exposition externe	<1E-09
Dose efficace due à l'exposition interne	3,6E-06
Dose efficace TOTALE	3,6E-06
ENFANT DE 10 ANS	Sv/an
Dose efficace due à l'exposition externe	<1E-09
Dose efficace due à l'exposition interne	1,9E-06
Dose efficace TOTALE	1,9E-06

**TAB-2.8.15 REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE
PAR RADIONUCLEIDE - SENSIBILITE DU GROUPE «
GRAND CONSOMMATEUR »**

Radionucléide	ADULTE Contribution à la dose efficace totale	ENFANT 10 ANS Contribution à la dose efficace totale
H3	0,5%	0,5%
C14	89,0%	89,5%
AG110M	8,1%	6,3%
CO58	0,2%	0,3%
CO60	1,0%	2,1%
CS134	< 0,1%	< 0,1%
CS137	< 0,1%	< 0,1%
I131	< 0,1%	< 0,1%
MN54	0,2%	0,1%
SB124	0,1%	0,2%
SB125	< 0,1%	0,1%
TE123M	0,6%	0,8%
NI63	< 0,1%	< 0,1%
CR51	< 0,1%	< 0,1%
Total	100,0%	100,0%

TAB-2.8.16 RADIONUCLÉIDES ET ACTIVITÉS REJETÉES PRIS EN COMPTE DANS LES CALCULS

REJETS GAZEUX

Radionucléides	Tranches 1-2 et Tranche EPR (activité annuelle maximale)
Co 58	0,06045 GBq
Co 60	0,03045 GBq
Cs 134	0,0171 GBq
Cs 137	0,0168 GBq
Cr 51	0,0252 GBq
<i>Total PF/PA*</i>	<i>0,15 GBq</i>
Kr 85	1720 GBq
Xe 133	26720 GBq
Xe 135	6380 GBq
Ar 41	60 GBq
Xe 131m	5120 GBq
<i>Total gaz rares</i>	<i>40000 GBq</i>
I 131	0,371 GBq
I 133	0,479 GBq
I 132	0,114 GBq
I 135	0,036 GBq
<i>Total Iodes</i>	<i>1 GBq</i>
H3	11000 GBq
C14	2300 GBq

* produits de fission et d'activation

Remarques :

La répartition des activités globales en iodes, gaz rares et autres produits de fission et d'activation entre les différents radionucléides est établie à partir de la moyenne des rejets de toutes les tranches 1300 MWe calculée sur la période 2005-2009, aucun retour d'expérience n'étant disponible pour la tranche EPR.

TAB-2.8.17 CARACTERISTIQUES DES LIEUX ETUDIES

Hauteur prise en compte : 80 m	Dielette	Les Hougues	Cité Ste Barbe (Sud)	La Berquerie	Hameau ès Louis (Nord)	Hameau Courtois	Hameau Guérard	La Coquaise (Nord)	Hameau Moitié
Distance au point de rejet (m)	1300	800	950	750	750	950	700	850	900
Secteur lieu (°)	40	60	80	80	100	100	120	120	160
Secteur données vent (°)	220	240	260	260	280	280	300	300	340
Proportion de temps sec	0,895								
Proportion de temps de pluie	0,105								
Probabilité d'être en conditions normales de diffusion par temps sec	0,752								
Probabilité d'être en conditions normales de diffusion par temps de pluie	0,927								
Probabilité d'être sous le vent par temps sec	0,058	0,074	0,083	0,083	0,081	0,081	0,069	0,069	0,043
Probabilité d'être sous le vent par temps de pluie	0,104	0,118	0,105	0,105	0,07	0,07	0,046	0,046	0,022
Vitesse moyenne du vent par temps de pluie	13,3	13,1	12,9	12,9	12,4	12,4	11	11	8,6
CTA Normal soufflerie (s/m ³)	3,7E-06	6,1E-06	5,3E-06	7,2E-06	6,2E-06	5,6E-06	3,4E-06	6,5E-06	7,6E-06
CTA Mauvais soufflerie (s/m ³)	3,9E-05	5,3E-05	4,7E-05	9,6E-05	8,6E-05	5,2E-05	5,1E-05	5,7E-05	5,6E-05
CTA pondéré soufflerie (s/m ³)	7,1E-07	1,3E-06	1,3E-06	2,3E-06	2,0E-06	1,3E-06	9,7E-07	1,2E-06	7,8E-07

TAB-2.8.18 DONNEES ALIMENTAIRES EN PRODUITS DE LA TERRE POUR L'HOMME

Aliments	Rations alimentaires (kg/an) (*)		Taux d'autoconsommation (%) (*)	Rations alimentaires (kg/an) (**)		Taux d'autoconsommation (%) (***)
	Adulte	Enfant de 10 ans		Enfant de 1 an		
Légumes feuilles	8,2	1,7	57	16,8	72	
Légumes racines	35,8	24,7	54	33,4	76	
Légumes fruits	97,2	44,5	15	52,6	36	
Viande	56,8	34,0	36	15,3	51	
Lait	102 (L/an)	138 (L/an)	18	180 (L/an)	29	
Céréales	86,6	69,9	0	28,0	8	
Œufs	7,6	4,6	63	1,4	66	

(*) : Enquête locale CREDOC 1998

(**) : Données enquête nationale de 2005 (Fantino)

(***) : INSEE 1991

TAB-2.8.19 RATION ALIMENTAIRE DU BOVIN

	Temps de consommation (mois)	Fréquence	Produits consommés	Consommation (kg/j)
Ration	12	1	Eau	18
			Herbe	40
			Foin	2
			Maïs ensilage	15

Note : Le temps de séjour moyen de l'eau de pluie dans un abreuvoir a été estimé à environ 7 jours.

TAB-2.8.20 RATION ALIMENTAIRE DE LA POULE

	Temps de consommation (mois)	Fréquence	Produits consommés	Consommation (kg/j)
Ration	12	1	Eau	0,2
			Céréales	0,06

**TAB-2.8.21 FACTEURS DE TRANSFERT AU LAIT, A LA
VIANDE ET A L'ŒUF
(JOUR.KG-1 FRAIS)**

Par ingestion et par abreuvement

	Lait de vache	Viande de bœuf	Œuf de poule
I	1E-02	4E-02	3E+00
Co	2E-03	3E-02	1E-01
Cr	2E-03	3E-02	9,2E-03
Cs	1E-02	5E-02	4E-01

Par inhalation

	Lait de vache	Viande de bœuf	Œuf de poule
I	6E-03	4E-03	0
Co	3E-03	2E-03	0
Cr	3E-03	6E-03	0
Cs	4E-03	2E-02	0

**TAB-2.8.22 FRACTION DE CARBONE STABLE DANS LE
POIDS FRAIS DES ALIMENTS (KGC.KG-1 POIDS FRAIS)**

Herbe ou fourrage vert	0,160
Foin	0,330
Légume feuille	0,035
Autres légumes	0,072
Fruits	0,065
Lait	0,067
Viande	0,265
Maïs ensilage	0,360
Céréales	0,360
Œufs	0,156

TAB-2.8.23 COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE POUR L'EXPOSITION EXTERNE APPLICABLES A TOUTES LES CLASSES D'AGE

	Coefficient de dose Exposition au panache (Sv.m ² .Bq ⁻¹ .an ⁻¹)	Coefficient de dose Exposition au dépôt sur le sol (Sv.m ² .Bq ⁻¹ .an ⁻¹)	Coefficient de dose Exposition aux 1 ^{ères} couches du sol (Sv.kg sol sec.Bq ⁻¹ .an ⁻¹)
Ar41	2,05E-06	-	-
Kr85	3,76E-09	-	-
Xe133	4,92E-08	-	-
Xe135	3,76E-07	-	-
Xe131m	1,23E-06	-	-
I 131	5,74E-07	1,19E-08	3,53E-07
I 132	3,53E-06	6,97E-08	2,09E-06
I 133	9,28E-07	1,88E-08	5,60E-07
I 135	2,62E-06	4,86E-08	1,48E-06
Co58	1,50E-06	3,00E-08	8,94E-07
Co 60	3,98E-06	7,42E-08	2,25E-06
Cr51	4,77E-08	9,72E-10	2,93E-08
Cs 134	2,39E-06	4,80E-08	1,43E-06
Cs 137	8,62E-07	1,75E-08	5,20E-07

TAB-2.8.24 COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE
INHALATION (SV/BQ)

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 an
H 3 eau tritiée	1,8E-11	2,3E-11	4,8E-11
C 14 (CO ₂)	6,2E-12	8,9E-12	1,9E-11
C 14 (CH ₄)	2,9E-12	4,0E-12	7,8E-12
I 131	2,0E-08	4,8E-08	1,6E-07
I 132	3,1E-10	6,4E-10	2,3E-09
I 133	4,0E-09	9,7E-09	4,1E-08
I 135	9,2E-10	2,1E-09	8,5E-09
Co58	1,6E-09	2,4E-09	6,5E-09
Co 60	1,0E-08	1,5E-08	3,4E-08
Cr51	3,7E-11	6,6E-11	2,1E-10
Cs 134	6,6E-09	5,3E-09	7,3E-09
Cs 137	4,6E-09	3,7E-09	5,4E-09

TAB-2.8.25 COEFFICIENTS DE DOSE EFFICACE
INGESTION (SV/BQ)

	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 an
H 3 eau tritiée	1,8E-11	2,3E-11	4,8E-11
C 14 (CO ₂)	5,8E-10	8,0E-10	1,6E-09
C 14 (CH ₄)	-	-	-
I 131	2,2E-08	5,2E-08	1,8E-07
I 132	2,9E-10	6,2E-10	2,4E-09
I 133	4,3E-09	1,0E-08	4,4E-08
I 135	9,3E-10	2,2E-09	8,9E-09
Co58	7,4E-10	1,7E-09	4,4E-09
Co 60	3,4E-09	1,1E-08	2,7E-08
Cr51	3,8E-11	7,8E-11	2,3E-10
Cs 134	1,9E-08	1,4E-08	1,6E-08
Cs 137	1,3E-08	1,0E-08	1,2E-08

TAB-2.8.26 DOSES EFFICACES PAR VOIE D'EXPOSITION
(SV/AN)

	La Berquerie
ADULTE	Sv/an
Dose efficace due au dépôt au sol	6E-08
Dose efficace due au panache	2E-07
Dose efficace due à l'inhalation	2E-07
Dose efficace due à l'ingestion	1,4E-06
Dose efficace TOTALE	2E-06
Enfant de 10 ans	Sv/an
Dose efficace due au dépôt au sol	6E-08
Dose efficace due au panache	2E-07
Dose efficace due à l'inhalation	2E-07
Dose efficace due à l'ingestion	1,4E-06
Dose efficace TOTALE	2E-06
Enfant de 1 an	Sv/an
Dose efficace due au dépôt au sol	6E-08
Dose efficace due au panache	2E-07
Dose efficace due à l'inhalation	9E-08
Dose efficace due à l'ingestion	4,5E-06
Dose efficace TOTALE	5E-06

**TAB-2.8.27 REPARTITION DE LA DOSE EFFICACE TOTALE
PAR RADIONUCLEIDE**

La Berquerie			
Radionucléide	ADULTE	ENFANT 10 ANS	ENFANT 1 AN
H3	15,6%	13,7%	11,4%
C14	64,2%	61,7%	55,6%
I131	8,2%	12,6%	28,6%
I133	0,2%	0,2%	0,3%
CS134	0,6%	0,5%	0,2%
CS137	1,2%	1,0%	0,4%
CO58	0,1%	0,2%	< 0,1%
CO60	2,0%	2,0%	0,7%
CR51	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
I132	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
I135	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
KR85	< 0,1%	< 0,1%	< 0,1%
XE133	2,7%	2,7%	0,9%
XE135	4,8%	4,9%	1,6%
AR41	0,2%	0,3%	< 0,1%
XE131M	0,1%	0,1%	< 0,1%