



Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest

Laboratoire indépendant d'analyse de la radioactivité

Association loi 1901 SIRET : 950 369 868 00027 APE : 7120B

138 rue de l'Eglise – 14200 HEROUVILLE-SAINT-CLAIR

Tél. : (+33) 2.31.94.35.34 Fax : (+33) 2.31.94.85.31

Email : acro-laboratoire@wanadoo.fr

N°TVA : FR 62 950 369 868

Bilan des connaissances relatives au niveau de la radioactivité dans l'environnement des Monts d'Arrée à partir de l'examen des études radioécologiques et résultats de la surveillance réglementaire.

*Travail engagé à l'initiative de la **CLI de Brennilis** dans le cadre de sa mission d'information du public*

rapport d'étude

Version du 20 juin 2011

1 Feuille qualité :

DEMANDE	
Mission	Analyse critique des documents et rapports techniques sur l'état initial
Demandeur	CLI de BRENNILIS
Référent	Emmanuel QUERE
Contrat n°	2010-DEE-32 Tranche ferme

REALISATION	
ACRO 138 rue de l'Eglise 14200 HEROUVILLE SAINT CLAIR tél. : 02.31.94.35.34 / fax : 02.31.94.85.31	
Auteur(s)	PIGREE G. et MIGEON A.
Prélèvements	Sans objet
Traitement des échantillons	Sans objet
Analyses	Sans objet

DOCUMENT	
Date d'édition	21/06/2011
Version n°	01
Identification	Etat initial, v1
Pages (nombre)	62 (annexes comprises)
Titre	Rapport
Objet	Bilan des connaissances relatives au niveau de la radioactivité dans l'environnement des Monts d'Arrée à partir des résultats radioécologiques et des résultats de la surveillance réglementaire
Mots-clés	Finistère ; Monts d'Arrée ; Brennilis ; démantèlement ; centrale nucléaire ; surveillance radiologique de l'environnement
Paramètres	Eléments radioactifs : / physico-chimiques : / lieu(x) : Communes de Brennilis et Loqueffret ; EL4D ; INB 162

ETAT DES REVISIONS	
00	L4 Document interne de travail non consolidé et non approuvé
01	Document final

REMARQUE(S) PARTICULIERE(S)	
La reproduction du document n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.	

2 Sommaire

1	Feuille qualité :	2
2	Sommaire	3
3	Avant-propos et résumé	5
3.1	Avant-propos.....	5
3.1.1	<i>Objectif et limites du travail</i>	5
3.1.2	<i>Moyens et démarche</i>	5
3.1.3	<i>Besoins et enjeux</i>	6
3.2	Résumé	6
3.2.1	<i>Constats pour la chaîne alimentaire</i>	6
3.2.2	<i>Constats pour l'eau potable</i>	7
3.2.3	<i>Constats dans l'air</i>	7
3.2.4	<i>Constats dans l'eau de pluie</i> :.....	7
3.2.5	<i>Constats pour les sols non perturbés par les eaux souterraines ou crues de l'Ellez</i>	8
3.2.6	<i>Constats pour les eaux souterraines circulant sous le site</i>	8
3.2.7	<i>Constats pour les eaux de surface</i>	9
3.2.8	<i>Constats pour les sols constitutifs de l'ancien chenal de rejets</i>	10
3.2.9	<i>Constats pour les sols-berges et sédiments le long de l'Ellez</i>	10
4	La radioactivité dans l'air	11
4.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	11
4.1.1	<i>Bilan pour l'indice bêta global des aérosols</i>	12
4.1.1.1	Organisation des mesures	12
4.1.1.2	Situation observée ces dernières années [2007 - 2010].....	12
4.1.1.3	Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992].....	13
4.1.1.4	Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur	14
4.1.2	<i>Bilan pour le tritium atmosphérique</i>	15
4.1.2.1	Organisation des mesures	15
4.1.2.2	Situation observée ces dernières années [2009 - 2010]	15
4.1.2.3	Situation observée auparavant.....	16
4.2	Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s).....	17
4.2.1	<i>Bilan qualitatif pour l'air à partir de l'analyse de lichens et de mousses terrestres</i>	17
4.2.1.1	Organisation du travail	17
4.2.1.2	Résultats et constats	17
5	La radioactivité dans l'eau de pluie	18
5.1	Bilan tiré des surveillances IRSN et de l'exploitant	18
5.1.1	<i>Bilan pour l'indice bêta global des eaux de pluie</i>	19
5.1.1.1	Organisation des mesures	19
5.1.1.2	Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]	19
5.1.1.3	Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992].....	19
5.1.1.4	Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur.....	20
5.1.2	<i>Bilan pour le tritium des eaux de pluie</i>	21
5.1.2.1	Organisation des mesures	21
5.1.2.2	situation observée ces dernières années.....	21
5.1.2.3	situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992]	21
5.1.2.4	situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur	22
6	La radioactivité des sols	23
6.1	Sols non perturbés par les eaux souterraines et les crues de l'Ellez	23
6.1.1	<i>Situation observée ces dernières années [2002 - 2008]</i>	23
6.1.1.1	Organisation des travaux et localisation des lieux étudiées	23
6.1.1.2	Résultats et constats	24
7	La radioactivité de l'eau potable	26
7.1	Les valeurs guides et références de qualité	26
7.2	Résultats et constats.....	27
7.2.1	<i>Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]</i>	27
7.2.1.1	Organisation des mesures	27
7.2.1.2	Résultats et constats pour la source de la Vierge	27
7.2.2	<i>Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986-1992]</i>	28
7.2.2.1	Organisation des mesures	28
7.2.2.2	Résultats et constats.....	28
7.2.3	<i>Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur</i>	28
8	La radioactivité des eaux souterraines circulant sous le site nucléaire	29
8.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	30
8.1.1	<i>Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]</i>	30
8.1.1.1	Organisation des mesures	30
8.1.1.2	Résultats et constats	30
8.1.2	<i>Situation observée au moment du démarrage du démantèlement</i>	31
8.1.2.1	Organisation du travail	31
8.1.2.2	Résultats et constats.....	31
8.1.3	<i>Situation observée auparavant</i>	31
8.1.3.1	Organisation des mesures	31
8.1.3.2	Bilan pour l'indice bêta global des eaux souterraines	32
8.1.3.3	Bilan pour le tritium des eaux souterraines	33

9	La radioactivité des eaux de surface	35
9.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	36
9.1.1	<i>Situation observée ces dernières années [2007 – 2010]</i>	36
9.1.1.1	Organisation des mesures	36
9.1.1.2	Résultats et constats	36
9.1.2	<i>Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986-1992]</i>	37
9.1.2.1	Organisation des mesures	37
9.1.2.2	Résultats et constats	37
9.1.3	<i>Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur</i>	38
9.1.3.1	Organisation des mesures	38
9.1.3.2	Résultats et constats	38
9.2	Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)	39
9.2.1	<i>Bilan qualitatif pour l'eau à partir des analyses faites sur les végétaux aquatiques</i>	40
9.2.1.1	Organisation des travaux et localisation des lieux étudiés	40
9.2.1.2	Composante (bruit de fond) des eaux en césium-137 et strontium-90	40
9.2.1.3	Composante (bruit de fond) des eaux en actinium-227 (et descendants)	41
9.2.1.4	Composante des eaux due aux activités nucléaires (aspect qualitatif)	41
10	Conséquences observées sur la chaîne alimentaire	42
10.1	Le couvert végétal (herbe)	44
10.1.1	<i>Situation observée ces dernières années [2007 – 2010]</i>	44
10.1.1.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	44
10.1.1.2	Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)	44
10.2	Le lait	45
10.2.1	<i>Situation observée ces dernières années [2007 – 2010]</i>	45
10.2.1.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	45
10.2.1.2	Bilan tiré d'une étude spécifique	45
10.2.2	<i>Situation observée auparavant</i>	46
10.2.2.1	Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant	46
10.3	Les légumes et denrées cultivées	46
10.3.1	<i>Bilan tiré d'une étude spécifique</i>	46
10.3.1.1	Organisation du travail	46
10.3.1.2	Résultats et constats	46
10.4	Les poissons	47
10.4.1	<i>Bilan tiré d'études spécifiques</i>	47
10.4.1.1	Organisation des travaux	47
10.4.1.2	Situation observée dans le lac Saint-Michel	47
10.4.1.3	Situation observée dans l'Ellez en aval de l'installation	47
11	La radioactivité artificielle des sols constitutifs de l'ancien chenal de rejets	48
11.1	Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)	48
11.1.1	<i>Situation observée ces dernières années [2006 – 2008]</i>	48
11.1.1.1	Organisation des travaux	49
11.1.1.2	Résultats et constats pour la strate superficielle	49
11.1.1.3	Résultats et constats pour les strates inférieures	50
11.1.1.4	Autres résultats et constats	50
12	La radioactivité des sédiments et des berges-sols le long de l'Ellez	51
12.1	Bilan tirés d'étude(s) spécifique(s)	52
12.1.1	<i>Présentation</i>	52
12.1.1.1	Organisation des travaux	52
12.1.1.2	Localisation des prélèvements	52
12.1.2	<i>Situation observée ces dernières années dans le lac Saint-Michel</i>	53
12.1.3	<i>Situation observée ces dernières années aux abords du site</i>	53
12.1.3.1	En amont de l'ancien chenal de rejets des effluents liquides	53
12.1.3.2	En aval de l'ancien chenal de rejets des effluents liquides	54
12.1.4	<i>Situation observée ces dernières années dans Saint-Herbot</i>	54
13	Le phénomène des Monts d'Arée ou la présence d'actinium-227 en excès	55
13.1	Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)	55
13.1.1	<i>Eléments de compréhension</i>	55
13.1.2	<i>Problématique et origine</i>	55
13.1.3	<i>Comment expliquer la présence d'actinium-227 dans le chenal ?</i>	57
13.1.4	<i>Résultats saillants</i>	58
14	Références bibliographiques	59
15	Annexes	60
15.1	Poissons – résultats disponibles	60
15.2	Végétaux aquatiques - résultats disponibles	61

3 Avant-propos et résumé

3.1 Avant-propos

3.1.1 Objectif et limites du travail

Le travail engagé avait principalement pour objectif de dresser un état des lieux radiologique du site incluant tout particulièrement son environnement.

En présence d'un vécu industriel assez ancien devant faire l'objet d'un démantèlement, plusieurs orientations sont possibles :

1. **Préciser ce qui est à démanteler/assainir** et, par extension, sérier le « terme source » ; le travail concerne alors le site industriel à proprement parler.
2. **Définir des références** auxquelles on se reportera par la suite pour évaluer les conséquences du démantèlement sur l'environnement à l'extérieur du site et sur les eaux souterraines.
3. **Evaluer** s'il y a lieu de suspecter **l'existence de points singuliers** en rapport avec le passé industriel, particulièrement à l'extérieur des limites du site.

Par la suite, les deux dernières orientations ont alimenté le travail d'état des lieux.

Concernant la première orientation, il est apparu délicat en l'état actuel de dresser un état des lieux correct. De toute évidence, l'industriel est engagé dans une démarche de consolidation de la connaissance mais celle-ci ne sera effective qu'avec la parution du décret de démantèlement partiel, car certaines opérations nécessaires impliquent une autorisation préalable.

Avec la parution dudit décret, une communication régulière sera organisée par l'industriel sur ce sujet. L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a inscrit cette obligation dans l'article 6 (du projet de décret) en réponse à la demande de la CLI et de la CLE.

3.1.2 Moyens et démarche

Pour faire ce travail, nous avons utilisé les données en « circulation » qu'elles proviennent soit de la surveillance de l'exploitant ou des services de l'état, soit d'études spécifiques menées par des tiers. Au final, plusieurs milliers de données, probablement 10 000, ont été traitées. Par souci de synthèse, une seule source d'informations a été privilégiée lorsque les données étaient redondantes pour aboutir au même constat.

Les événements connus ayant concernés l'environnement et, plus généralement, la situation radioécologique antérieure ont été examinés dans le but de sérier d'éventuels points singuliers en rapport avec le vécu industriel.

L'analyse a porté sur les 35 dernières années décomposées (selon les possibilités offertes) en 3 périodes :

- ↪ ces dernières années [(2002)2007-2010] ;
- ↪ la mise à l'arrêt [1986 – 1992] ;
- ↪ les dernières années de fonctionnement du réacteur [(1976)1980 – 1985].

La demande de la commission d'enquête a animé fondamentalement la démarche appelant à construire un référentiel pour appréhender les futurs résultats des contrôles environnementaux. Cette volonté explique l'articulation et le contenu du rapport.

3.1.3 Besoins et enjeux

En rapport avec la 1^{ère} orientation (Etat des lieux du site) :

Dans le périmètre du site, il existe des remblais et béton souillés et le besoin d'assainir pour partie les sols apparaît comme un enjeu du projet de démantèlement.

La présence, notée en 1997, de césium-137 dans les eaux souterraines à l'aplomb de l'enceinte réacteur doit retenir l'attention car elle suggère l'existence possible de « poches de pollution » sous l'enceinte. Considérant la logique d'assainissement (qui se comprend), ces poches (si elles sont avérées) ne pourront être supprimées sans démanteler préalablement l'intérieur de l'enceinte réacteur (objet de la phase 3 du démantèlement), et permettre ainsi d'y accéder.

En rapport avec la 2^{ème} orientation (références pour évaluer les impacts) :

Au fil de l'examen des données, **la réalisation d'études ou d'analyses supplémentaires ne paraît pas indispensable pour appréhender les résultats de la future surveillance.** En revanche, le besoin d'adapter la surveillance transparaît et la proposition formulée dans l'analyse des dernières prescriptions techniques reste globalement d'actualité.

En rapport avec la 3^{ème} orientation (situations singulières) :

La présence de PCB (en lien avec le vécu industriel) doit être suspectée dans les masses sédimentaires du réservoir Saint-Herbot et l'état du stock pourrait être précisé au moins de manière sommaire.

Dans un rayon de 200 à 300 mètres autour de la STE, il conviendrait de s'assurer de l'absence de points singuliers en rapport avec le passé industriel, y compris sur le plan des transferts notamment à la végétation. Les niveaux de la radioactivité artificielle mesurés dans les berges-sols, mais également en retrait du lit de la rivière, motivent cette proposition. Dans cette perspective, on ne peut exclure le besoin d'obtenir d'autres références (en césium-137 par ex. pour les sols) que celles proposées dans le présent état des lieux. A cette occasion, il serait tout à fait indiqué de connaître l'activité par unité de surface et son profil en fonction de la profondeur. Tout comme il serait indiqué d'obtenir des informations sur les teneurs en tritium (organiquement) lié (OBT) et en carbone-14.

3.2 Résumé

3.2.1 Constats pour la chaîne alimentaire

Ces dernières années, les mesures réalisées sur le couvert végétal, les légumes, les poissons et le lait ne laissent pas entrevoir que la chaîne alimentaire ait pu être affectée (sur le plan radiologique) en liaison avec les activités menées (sur le site industriel) et les pollutions de sols.

Dans le cas des poissons prélevés en aval de l'installation, la situation est finalement peu différente de celle observée en amont dans le lac Saint-Michel. La présence de césium-137 et de strontium-90 trouve ses origines principalement dans les sols encore marqués par les retombées des essais nucléaires. Et il en est de même pour expliquer la présence quasi-systématique de césium-137 à la fois dans le couvert végétal et dans certains légumes.

Observation(s) : *Dans l'Ellez, il convient tout de même de rester attentif à la migration de particules contaminées du temps de l'exploitation du réacteur, et particulièrement de tritium organiquement lié.*

3.2.2 Constats pour l'eau potable

Ces dernières années, différents paramètres radiologiques sont contrôlés dans les eaux (destinées à la consommation humaine) provenant de la source dite « de la Vierge ».

Par rapport aux références de qualité définies dans l'arrêté 11 janvier 2007 (NOR : SANP0720201A), seule l'activité alpha globale est légèrement supérieure à la valeur indicative de 0,1 Bq/L en raison du contexte géologique (roche « granitique »).

Cette radioactivité naturelle « véhiculée » avec les eaux souterraines se caractérise également par un indice bêta global de $0,32 \pm 0,08$ Bq/L et la présence d'infime quantité d'actinium-227 ; un radionucléide naturel largement observé dans les Monts d'Arée.

Enfin, on ne note pas la présence significative de tritium.

En ce qui concerne le passé, seule la situation observée durant la mise à l'arrêt du réacteur, soit entre 1986 et 1992, a pu être reconstruite. Aucune valeur significative n'est relevée, y compris à la suite de l'incident Sulzer.

3.2.3 Constats dans l'air

Ces dernières années, l'indice bêta global des aérosols collectés dans le bourg de Brennilis est inférieur à $560 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ la plupart du temps et n'est pas différent de celui mesuré en d'autres lieux (*i.e.* au Vésinet dans les Yvelines). Les analyses isotopiques confirment du reste l'absence de radionucléides artificiels caractéristiques des rejets gazeux du site nucléaire.

Concernant la présence de tritium dans l'air, une seule forme chimique (*i.e.* HT) ferait l'objet de mesure et celle-ci n'est pas décelable la plupart du temps ($< 0,2 \text{ Bq}/\text{m}^3$) hormis en 2009 où quelques valeurs positives sont observées. Compte tenu de la nature des rejets, les résultats pour la vapeur d'eau tritiée devraient être communiqués.

Par le passé, entre 1980 et 1992, la surveillance concernait uniquement les aérosols et de fortes amplitudes sont observées en lien avec les retombées des derniers essais chinois de l'arme atomique et, plus récemment, de l'accident nucléaire survenu à la centrale de Tchernobyl. L'indice bêta global des aérosols a pu atteindre respectivement 10 000 et 110 000 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ dans les mêmes conditions de mesure qu'actuellement.

Observation(s) : *En l'état actuel des investigations, il est vraisemblable que des radionucléides émetteurs alpha (tels que l'américium-241) aient pu être rejetés dans l'atmosphère avant le début du démantèlement, comme tend à le démontrer l'étude du rapport $^{241}\text{Am}/^{240+241}\text{Pu}$ dans des lichens et mousses terrestres prélevés non loin de la cheminée du site. Dans tous les cas, rien n'indique que ces retombées aient pu être importantes ou s'étendre au-delà du voisinage de la cheminée.*

3.2.4 Constats dans l'eau de pluie :

Ces dernières années, dans le bourg de Brennilis, l'indice bêta global est strictement inférieur à 0,25 Bq/L comme ailleurs le long de la façade atlantique entre Toulouse et Guipavas (par ex.).

Dans le cas du tritium, la teneur est inférieure à 5 Bq/L en cette période d'inactivité du site. Il est probable qu'elle soit du reste peu différente de celle mesurée par le Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) à Vienne (en Autriche), lequel rapporte des valeurs mensuelles comprises entre 0,83 et 1,75 Bq/L.

Par le passé, entre 1976 et 1992, dans les conditions de mesures, les conséquences des derniers essais nucléaires chinois sont observées dans les précipitations mais pas celles de l'accident de Tchernobyl ; l'indice bêta global a pu atteindre 2,5 Bq/L.

Dans le cas du tritium, entre 1980 et 1985 (seule période étudiée), les eaux de pluie à Brennilis ont été fréquemment « marquées » jusqu'à 160 Bq/L en lien avec les rejets gazeux du site.

3.2.5 Constats pour les sols non perturbés par les eaux souterraines ou crues de l'Ellez

A distance du site, la radioactivité artificielle gamma des sols se résume actuellement à la seule présence de césium-137 à des teneurs le plus fréquemment comprises entre 10 et 20 Bq/kg de matière sèche. Ces niveaux sont globalement plus élevés dans la région des Monts d'Arrée que dans d'autres sites en France. Considérant les mesures faites sur les eaux de pluie mais également dans des sols provenant d'endroits non perturbés par les rejets gazeux de la centrale, les retombées des essais nucléaires atmosphériques restent la cause la plus probable.

Enfin, ni les analyses de tritium organiquement lié, ni celles relatives au plutonium et à l'américium-241 ne témoignent d'une quelconque anomalie.

Au voisinage immédiat du site, là encore seul du césium-137 est actuellement décelé par spectrométrie gamma et la situation (telle qu'elle est examinée) se détache finalement peu de ce qui est observé ailleurs, y compris pour le tritium organiquement lié (OBT). Dans le cas du ¹³⁷Cs, les teneurs sont le plus fréquemment comprises entre 20 et 30 Bq/kg sec.

Observation(s) : *Au voisinage immédiat du site, on ne peut exclure que les sols présentent des niveaux en tritium organiquement lié, voire en carbone-14, supérieurs aux valeurs obtenues à distance. La présence dans les sols de fragments de végétaux anciens (marqués par les rejets gazeux du temps de l'exploitation du réacteur) pourrait expliquer la situation.*

3.2.6 Constats pour les eaux souterraines circulant sous le site

Ces dernières années, l'exploitant organise d'abord une surveillance de la qualité radiologique des eaux souterraines pompées dans les environs de la STE et du bâtiment combustible (BCI) actuellement démantelé.

Dans le cas du tritium, aucune valeur significative n'est relevée.

Dans le cas de l'indice bêta global, l'activité volumique n'excède pas 0,52 Bq/L sur la période étudiée et il existe peu de différence entre les 2 pompages. Un indice bêta global de $0,20 \pm 0,07$ Bq/L caractériserait assez bien les eaux, lequel est avant tout le reflet de la radioactivité naturelle circulant avec ces mêmes eaux.

Par le passé, en 1997, soit au moment du démarrage du démantèlement, l'aquifère est visiblement perturbé par la présence de « poches de pollution » tels que des bétons et remblais souillés. A certains endroits, les eaux souterraines contiennent jusqu'à 3,3 Bq/L de césium-137, c'est-à-dire qu'elles présentent des teneurs beaucoup plus élevées que dans les aquifères communs où la concentration est au plus de l'ordre de 0,01 Bq/L. Les environs de la STE, du BCI et de l'enceinte réacteur sont concernés.

Durant l'exploitation du réacteur et après au cours de sa mise à l'arrêt, on note principalement une contamination chronique des eaux souterraines par le tritium au voisinage de l'enceinte réacteur et du BCI ; ailleurs il n'y a pas de résultats. Jusqu'à 900 Bq/L de tritium sont mesurés dans les conditions de la surveillance. Après l'arrêt du réacteur (courant 1985), cette contamination des eaux diminue progressivement et n'est plus décelable dès 1992 ; le tritium emprunte les propriétés de l'eau et se dilue-disperse très vite dès que les apports en sont stoppés. Entre deux, l'incident survenu en 1988 dans le local Sulzer entraîne une élévation momentanée, laquelle est jugulée par pompage intensif de la nappe.

Enfin, du temps du fonctionnement du réacteur, il est vraisemblable qu'au moins les fissures du bassin de stockage des combustibles usés (BCI) aient contribué à la migration d'autres éléments.

Observation(s) : *Si on écarte le tritium qui suit le cheminement de l'eau, les autres radionucléides artificiels ayant migré en direction de l'aquifère n'ont pas tardé à s'associer aux particules constitutives de celui-ci et à se sédentariser en grande partie. Cette forte affinité pour les particules explique pourquoi les niveaux de césium-137 dans les eaux souterraines sont en apparence faibles et pourquoi d'autres éléments ne sont pas observés alors qu'ils coexistent obligatoirement.*

3.2.7 Constats pour les eaux de surface

Ces dernières années, les contrôles effectués sur les eaux ne mettent pas en évidence de tritium et plus généralement d'anomalie en aval - ni en amont - de l'installation. De ce point de vue, la situation radiologique n'est pas différente de celle observée ailleurs. Un indice bêta global d'environ 0,18 Bq/L caractériserait bien les eaux de l'Ellez depuis le lac Saint-Michel jusqu'au réservoir Saint-Herbot.

Il y a également lieu de tenir compte d'une composante en césium-137 et strontium-90 qui trouve ses origines dans les sols encore marqués par les retombées des essais nucléaires atmosphériques. C'est pourquoi du ^{137}Cs et du ^{90}Sr sont mesurés dans les poissons (par ex.).

De même, il faut de tenir compte d'une composante en actinium-227 (et descendants) qui résulte des apports des résurgences localisées sur le granite d'Huelgoat. Au voisinage de la centrale, l'existence d'une enclave plutonique hercynienne appartenant à cette même formation géologique fait que les eaux de l'Ellez vont contenir plus ou moins d'actinium-227 en aval du barrage de Nestavel (les causes sont à rechercher dans les résurgences situées dans les environs du hameau de Forc'ham et non dans les activités menées sur le site nucléaire). Cette composante naturelle des eaux de surface en ^{227}Ac (et descendants) s'observe clairement dans les mousses aquatiques et s'ajoute à celle due aux éléments issus de la famille de l'uranium-238 (comme le radium-226).

En aval du site nucléaire, il convient d'observer que le marquage des végétaux et mousses aquatiques est plus faible ces dernières années [2001 – 2008] que par le passé. La présence de tritium lié par exemple traduirait vraisemblablement plus le déplacement (depuis l'amont vers l'aval) de particules contaminées du temps de l'exploitation du réacteur qu'une contribution directement liée aux activités menées sur le site.

En ce qui concerne le passé, seule la situation durant la mise à l'arrêt du réacteur, soit entre 1986 et 1992, a pu être correctement reconstruite. Auparavant, la vision est très limitée.

Durant ces périodes, seul du tritium est parfois décelé hormis en octobre 1980 où un pic de « pollution » est observé dans le réservoir Saint-Herbot. Un « rejet intempestif » contenant entre autre du césium-137 en serait à l'origine sans plus de précision. Visiblement le milieu en a conservé les stigmates durant au moins plusieurs années.

Les déversements pratiqués sous la forme d'eau tritiée (HTO) n'auraient pas entraîné de teneur supérieure à 1500 Bq/L sauf évidemment au voisinage du point de rejets. Vraisemblablement du tritium lié a coexisté au moins durant la phase d'exploitation. A la différence de la forme libre (HTO), ce tritium lié semble avoir suivi le cheminement des particules et s'être déposé et sédentarisé dans les masses sédimentaires du réservoir Saint-Herbot. C'est a priori ce même tritium lié qui, durant son transport, aurait été à l'origine par le passé des contaminations manifestes notées dans les poissons et les végétaux ou mousses aquatiques.

Enfin, il est évident que du carbone-14, provenant du site nucléaire et pour lequel il n'existe pas de comptabilité, a également coexisté dans les eaux de l'Ellez au moins durant la phase d'exploitation. Les fortes valeurs observées dans les vairons et truites en mai 1984 en attestent. Là encore, ce carbone-14 s'est au moins en partie déposé et sédentarisé dans les masses sédimentaires du réservoir Saint-Herbot.

3.2.8 Constats pour les sols constitutifs de l'ancien chenal de rejets

Dans l'horizon superficiel des sols constitutifs du chenal (fond et parois), on note ces dernières années la présence systématique et concomitante de ^{137}Cs et de ^{60}Co à des teneurs très variables et qui peuvent atteindre respectivement 6000 et 3000 Bq/kg sec. En présence de niveaux modérés de contamination, d'autres radionucléides artificiels peuvent aussi être observés parmi le spectre suivant : tritium lié, ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr probablement, $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{241}Am et isotopes du plutonium. Dans le cas du tritium lié, les teneurs peuvent être très importantes puisque on mesure par exemple jusqu'à 8600 Bq/kg sec.

Cette contamination tend à décroître **avec la profondeur** et un léger marquage seulement subsisterait encore à 45/60 cm de profondeur.

Au voisinage de la STE, la présence de PCB est notée.

3.2.9 Constats pour les sols-berges et sédiments le long de l'Ellez

La situation radiologique est très différente entre l'amont et l'aval de l'installation.

Dans le lac Saint-Michel, la radioactivité artificielle gamma des masses sédimentaires se résume à la seule présence de césium-137 à des teneurs qui varient notablement en fonction des lieux et n'excèdent pas localement 32 Bq/kg sec. Cet élément trouve ses origines dans l'érosion des sols encore marqués par les retombées des tirs nucléaires.

Concernant les isotopes du plutonium, le strontium-90, le carbone-14 et le tritium lié, les valeurs relevées sont des plus faibles et la situation n'est pas différente de celle observée hors des Monts d'Arée dans des lacs non perturbés. Dans le cas du nickel-63, l'absence de cet élément est finalement confirmée.

Dans le réservoir Saint-Herbot, différents radionucléides artificiels caractéristiques des activités nucléaires du site de Brennilis sont détectés.

Synthétiquement, les masses sédimentaires ont conservé la mémoire du passé industriel, plus particulièrement des rejets pratiqués en tritium, en carbone-14, en césium-137 et en nickel-63. Pour illustration, on mesure jusqu'à 1537 Bq/L de tritium lié et jusqu'à 170 Bq/kg sec de ^{137}Cs . Dans le cas du tritium, les valeurs mesurées suggèrent que du tritium lié ait circulé avec les eaux de surface. Pour autant, aucune contribution industrielle en plutonium et en uranium n'est mise en évidence.

Ce stock se situe visiblement à une profondeur comprise entre 10 et 50 cm et une migration du fond vers la surface n'est pas à exclure, au moins dans le cas du tritium pour tenter d'expliquer les valeurs plus élevées qu'ailleurs dans les sédiments superficiels, donc récents. Malgré cela, l'horizon superficiel est très peu affecté en comparaison puisque seulement du tritium lié et du césium-137 sont significativement présents avec des teneurs qui n'excèdent pas en moyenne 80 Bq/L et 33 Bq/kg sec respectivement.

Aux abords du site, les sondages entrepris dans le lit de l'Ellez et les berges (immergées ou non) tendent d'abord à montrer la présence de ^{137}Cs à des niveaux qui se détachent nettement de ce qui est observé ailleurs, et ceci à la fois en aval et **en amont** de l'ancien chenal de rejets des effluents radioactifs. On mesure jusqu'à 162 Bq/kg sec de ^{137}Cs au contact de l'eau et jusqu'à 137 Bq/kg sec dans les berges hors de l'eau à 35-50 cm de profondeur.

Parfois un peu d'américium-241 et de cobalt-60 sont mesurés, y compris à l'exutoire du réseau pluvial. En aval, dans le lit de l'Ellez, des excès manifestes en ^{14}C et tritium lié peuvent être également notés. Pour illustration, on mesure jusqu'à 2130 Bq/L de tritium lié.

Plus généralement, la situation radiologique décrite aux abords du site pose question en regard du passé industriel. Dans tous les cas, trop peu de résultats sont disponibles pour apprécier correctement la situation dans cette zone sensible du fait de sa proximité avec des ouvrages réputés contaminés que sont la STE et l'ancien chenal de rejets.

4 La radioactivité dans l'air

L'air transporte toutes sortes de substances radioactives sous la forme de gaz, ou associées aux particules les plus fines et dénommées aérosols. Chacune des formes évolue différemment.

Les radionucléides transportés ont d'abord une origine naturelle et leur présence dans l'atmosphère résulte de la remise en suspension d'éléments **telluriques** ou d'échanges avec la haute atmosphère où sont produits les radionucléides dits **cosmogéniques**.

D'autres radionucléides transportés ont une origine **artificielle** au sens qu'ils ne peuvent être produits indépendamment de réactions nucléaires initiées par l'homme pour différents besoins, de façon maîtrisée ou non. Des radionucléides existant dans la nature peuvent également être créés de cette manière comme le tritium ou le carbone-14.

Parfois, les activités humaines vont accentuer les niveaux de la radioactivité naturelle sans pour autant la « fabriquer ». L'origine est alors qualifiée **d'anthropogénique** pour souligner l'influence de l'homme. L'étude des concentrations dans l'air permet de discriminer la radioactivité naturelle de celle d'origine anthropogénique sous réserve de connaître parfaitement les niveaux non perturbés par l'homme et leur variabilité dans le temps (effet de saison par ex.).

Radionucléides d'origine anthropogénique et artificielle sont les **contaminants** de l'air parce que leur présence n'est pas souhaitée du fait qu'ils accroissent le risque d'exposition des hommes.

Suite à l'émission de contaminants dans l'atmosphère, la concentration diminue rapidement avec la distance par effet de **dispersion-dilution**. Pour illustration, depuis une cheminée haute de 100m, lors d'un rejet gazeux à débit constant (assimilable à un panache) de 1 million de becquerels par seconde (1 MBq/s), il n'est pas rare d'observer des concentrations induites au sol qui n'excèdent pas 1 à 10 Bq/m³ d'air à 1 km. Mais si les quantités mises en jeu sont importantes et les conditions « d'injection » dans l'atmosphère sont favorables, ces contaminants seront encore décelables à grande distance.

C'est pourquoi la contamination de l'air est d'abord étroitement dépendante des événements d'envergure survenus dans le monde comme les essais atmosphériques de l'arme atomique et les accidents nucléaires (selon les époques).

Observation(s) :

Ordre de grandeur déduit des résultats communiqués dans le rapport IPSN référencé DPRE - SERNAT 00-21 et faisant suite à la mesure de krypton-85, gaz rare radioactif rejeté par les installations de retraitement d'AREVA NC.

4.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

Dans la perspective de la surveillance des conséquences des rejets gazeux d'une installation nucléaire, l'endroit où sont effectués les prélèvements d'air (pour analyse) se situe toujours « globalement » sous les vents, généralement où il existe une certaine densité de population dès lors que la distance qui la sépare de l'émissaire - cheminée - est raisonnable. La direction des vents n'étant pas établie comme l'est celle des courants marins, la surveillance renseigne d'abord sur les conséquences observables à long terme pour un régime de fonctionnement continu et normal de l'installation.

Dans les Monts d'Arée, les prélèvements exploités sont organisés, depuis le début, dans le bourg de Brennilis, soit à environ 1,5 km de la centrale. **Deux paramètres sont mesurés** : l'indice bêta global dans les aérosols depuis 1974 ; le tritium dans l'air depuis janvier 2009.

*Nota : pour les aérosols, des données sont disponibles à partir de fin 1963 en rapport avec la surveillance menée à l'époque par le **SCPRI** - Service Centrale de Protection contre les Rayonnements Ionisants.*

4.1.1 Bilan pour l'indice bêta global des aérosols

4.1.1.1 Organisation des mesures

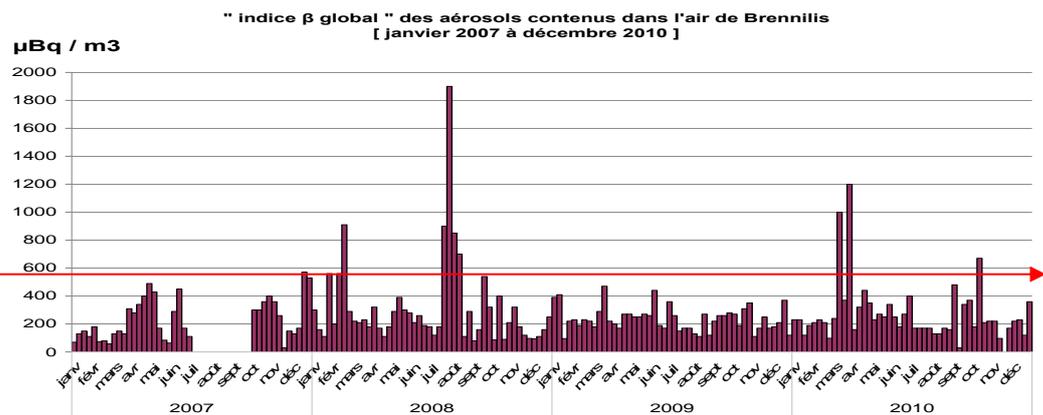
Invariablement, les aérosols sont collectés sur un filtre durant 7 à 8 jours et leur analyse s'effectue en différée, après 5 jours de repos.

Comme ailleurs, la surveillance est articulée autour de la détermination de l'indice bêta global, probablement en référence à un spectre de $^{90}\text{Sr-Y}$. Du fait de la méthode employée, les radionucléides ne sont pas discriminés et l'indice reflète pour partie la radioactivité naturelle. Dans tous les cas, seuls les radionucléides émetteurs d'un rayonnement bêta sont pris en compte et c'est pourquoi la concentration mesurée est toujours plus faible que ce qui l'en est réellement. Néanmoins, la méthode permet de balayer un large spectre d'artificiels comportant entre autre : ^{60}Co , $^{90}\text{Sr-Y}$, ^{137}Cs et toute sorte de produits de fission présents dans les retombées des essais et accidents nucléaires comme l'iode-131.

4.1.1.2 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

Figure 4-a : indice bêta global des aérosols mesuré à Brennilis entre 2007 et 2010.

Mesures après 5 jours de repos

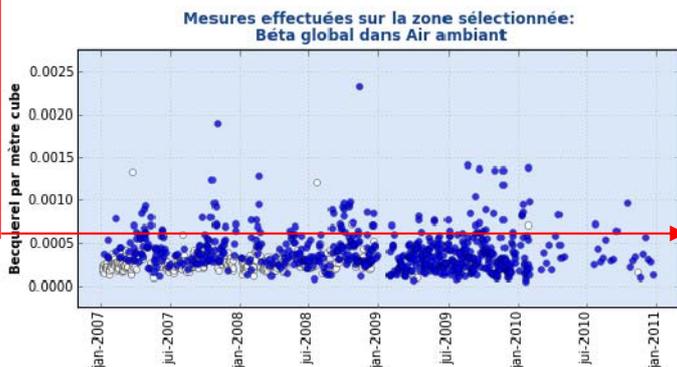


Source : d'après données EdF (communiquées au RNM pour l'année 2010).

Période : [2007 - 2010]

Mesures après 5 jours de repos

Ces dernières années toutes les valeurs sont significatives du fait de l'amélioration de la sensibilité des mesures. Les aérosols contenus dans l'air de Brennilis présentent un indice bêta global inférieur à $220 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ la moitié du temps, et inférieur à $560 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ la plupart du temps (95% des observations) ; voir trait rouge.



Pour appréhender les niveaux, on peut utilement se référer à des mesures faites à une distance raisonnable d'installation nucléaire émettrice de rejets gazeux, soit dans les environs de la région parisienne, sur le site IRSN du Vésinet (Yvelines) ; les aérosols y sont collectés chaque jour sauf depuis janvier 2010.

Confrontées, les deux populations de données sont assez semblables avec une même amplitude et variabilité.

Figure 4-b :

Source : IRSN - OPERA
<http://environnement.irsn.fr/>
Période : [2007 - 2010]

Attention les résultats sont exprimés en Bq/m^3 :
 $0,0005 \text{ Bq}/\text{m}^3 = 500 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$

Mesures après 5 jours de repos

La variabilité des résultats devrait d'abord traduire le fait que la quantité et la qualité des aérosols dans la masse d'air étudiée sont différentes entre deux prélèvements, ce qui aura obligatoirement une influence sur l'activité volumique (exprimée en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).

Puis, les niveaux mesurés sont le reflet de la radioactivité naturelle transportée par les aérosols.

La rémanence de la contamination due aux événements d'envergure, comme les essais nucléaires ou l'accident de Tchernobyl, se limite aujourd'hui au seul ^{137}Cs . D'après [Bouisset et al., 2004], la teneur en ^{137}Cs des aérosols est actuellement inférieure à $0,4 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ [avant l'accident de Fukushima] et sa présence est due à la remise en suspension de particules de sols contaminées par le passé.

A Brennilis, la situation n'est pas différente et il est possible d'avancer que les aérosols ne sont pas contaminés par des radionucléides artificiels émis avec les rejets gazeux de la centrale. L'examen des mesures isotopiques (par spectrométrie gamma) faites par l'IRSN sur les aérosols collectés ces dernières années et disponibles via le réseau OPERA permet de conclure dans ce sens car aucun résultat n'est significatif.

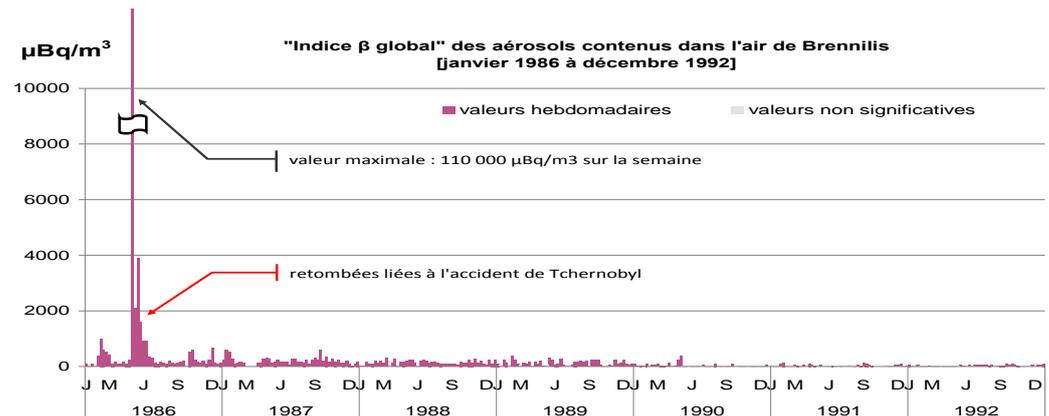
↳ **A l'avenir, une valeur de 560 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ pourrait donc constituer une référence d'interprétation pour l'indice bêta global des aérosols collectés à Brennilis.**

4.1.1.3 Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992]

Figure 4-c : indice bêta global des aérosols mesuré à Brennilis, entre 1986 et 1992.

Mesures après 5 jours de repos

Source : d'après les données de l'exploitant de l'INB
Période : [1986 - 1992]



Au cours du premier semestre 1986, les retombées consécutives à l'accident nucléaire survenu à la centrale de Tchernobyl sont nettement visibles. Les aérosols collectés entre le 1^{er} et le 8 mai présentent un indice bêta global de 110 000 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Cette situation dégradée ne perdure pas. Elle s'estompe très rapidement et un retour à la « normale » est observé à partir de la mi-juin. Dès lors, les aérosols contenus dans l'air à Brennilis présentent un indice bêta global peu différent de celui qui est mesuré ces dernières années et aucune anomalie n'est mise en évidence. Pour illustration, l'indice évoqué n'excède pas 650 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ entre la mi-juin 1986 et la fin décembre 1992.

A partir des analyses faites chaque jour par l'IRSN (SCPRI) durant la première semaine de mai 1986 – **Tableau 1** –, on constate que c'est finalement durant les 2 à 3 premiers jours du mois de mai que la région des Monts d'Arée est particulièrement concernée par les masses d'air contaminées en provenance d'Ukraine. De ce point de vue, la situation observée en Bretagne n'est pas différente de ce qu'il en est ailleurs. Par contre, la région de Brennilis - comme le reste de la Bretagne - est moins exposée comme en atteste la comparaison avec le site du Vésinet (situé en région parisienne) puisque l'air est en moyenne 10 fois moins « radioactif » à Brennilis qu'au Vésinet. Cette situation va contribuer à minimiser les dépôts en Bretagne.

S'interessant aux contaminants véhiculés avec les aérosols, [Galle *et al.*, 2003] précise que ce sont les isotopes radioactifs de l'iode et du tellure qui sont majoritaires. D'une durée de vie assez courte, ces radionucléides ne sont pas à l'origine de dépôts radioactifs qui vont persister comme c'est le cas avec le césium-137. D'ailleurs, les résultats rapportés soulignent bien que le ¹³⁷Cs contribue peu (env. 10%) à l'indice bêta global, en Bretagne comme ailleurs.

Tableau 1 : activité volumique quotidienne (en $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) des aérosols collectés au Vésinet (78) et à Brennilis (29), entre le 1^{er} et le 7 mai 1986 ; détermination de l'indice bêta global et du ¹³⁷Cs. source IRSN - OPERA

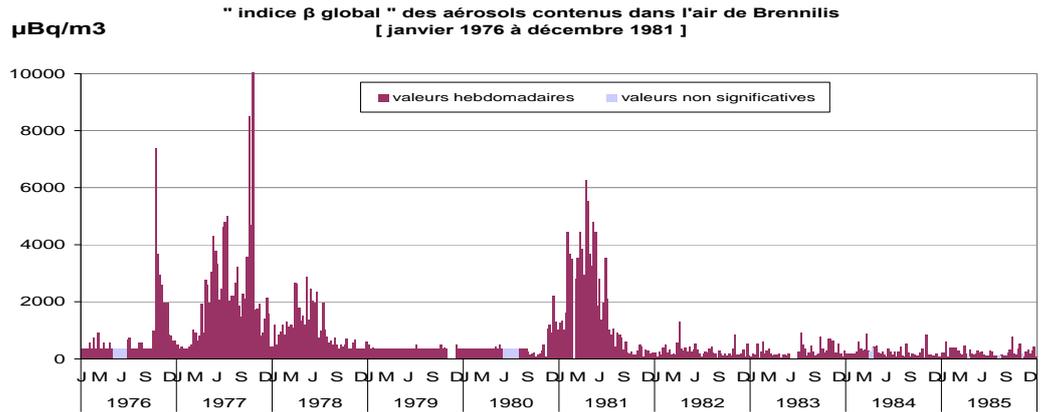
	activité β totale après 5 jours [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$]		activité ¹³⁷ Cs [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$]	
	Vésinet (78)	Brennilis (29)	Vésinet (78)	Brennilis (29)
01/05/1986	< 590	< 400	< 1050	< 1 136
02/05/1986	12 000 000	690 000	1 313 000	63 000
03/05/1986	2 900 00	990 000	327 800	116 000
04/05/1986	39 000	3 500	3 240	< 1 128
05/05/1986	38 000	4 500	3 350	< 1 100
06/05/1986	86 000	< 510	9 564	< 1 070
07/05/1986	30 000	19 000	2 789	4 489

4.1.1.4 Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur

Figure 4-d : indice bêta global des aérosols mesuré à Brennilis, entre 1976 et 1985.

Mesures après 5 jours de repos

Source : d'après les données de l'exploitant de l'INB
Période : [1976 - 1985]



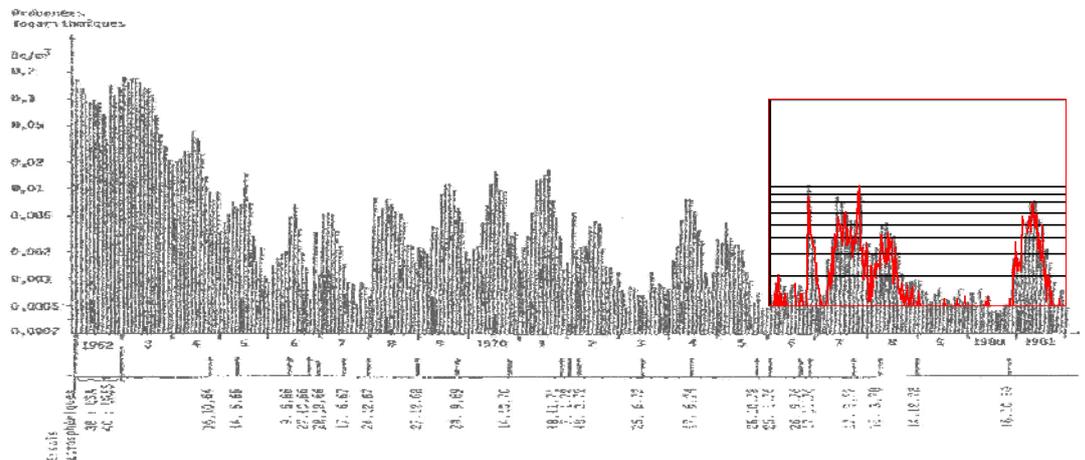
Durant les dernières années de fonctionnement du réacteur, les aérosols contenus dans l'air de Brennilis peuvent être caractérisés par un indice bêta global inférieur à 650 µBq/m³ la plupart du temps. A certaines époques, des valeurs beaucoup plus fortes sont observées, particulièrement en octobre 1977 avec un peu plus de 10 000 µBq/m³.

Pour statuer sur l'origine du phénomène observé, [Galle et al., 2003] fournit une intéressante mise en perspective des conséquences des essais nucléaires atmosphériques sur le niveau de contamination des aérosols collectés au Vesinet (Yvelines) et analysés dans les mêmes conditions qu'à Brennilis. La superposition des niveaux mesurés à Brennilis (trait rouge) sur ceux relevés par les auteurs de l'article est quasi-parfaite comme en témoigne la figure 4E : phasage et concentration sont les mêmes.

Ces élévations très nettes traduisent donc une contamination des aérosols due aux retombées des essais nucléaires atmosphériques de l'époque (tirs chinois), qui se caractérise par la présence de radionucléides artificiels « à vie longue » comme le ¹³⁷Cs ou le ⁹⁰Sr mais également « à vie courte » comme le ⁹⁵Zr, ¹³¹I, ¹⁴⁴Cr, ¹⁰³Ru et ¹⁰⁶Ru.

Concernant la contamination des aérosols par des radionucléides « à vie longue » dont les dépôts s'accumulent et présentent une rémanence à l'échelle de plusieurs décennies, [Bouisset et al., 2004] indique que la teneur en ¹³⁷Cs des aérosols a pu atteindre 110 µBq/m³ entre 1976 et 1981. Dans le cas du ⁹⁰Sr, autre radionucléide prépondérant libéré par les essais nucléaires, la littérature consultée ne permet pas de sérier la contamination des aérosols et donc de l'air. Toutefois, il est possible de dire que les teneurs dans l'air n'ont pas excédé celles du ¹³⁷Cs.

Figure 4-e : indice bêta global des aérosols mesuré au Vesinet (78) entre 1962 et 1981. Source [Galle et al., 2003]



4.1.2 Bilan pour le tritium atmosphérique

4.1.2.1 Organisation des mesures

D'après la norme M60-312, le tritium est présent dans l'air sous les mêmes formes que l'hydrogène : vapeur d'eau (HTO) principalement, gaz hydrogène (HT), méthane (CH₃T).

Pour effectuer la mesure, un équipement assure la circulation d'air préalablement filtré dans une série de barboteurs contenant de l'eau et permettant de piéger le tritium par échange. Selon l'objectif visé, la collecte concerne soit la vapeur d'eau tritiée (HTO), soit les formes HT (+ CH₃T) après oxydation, voire toutes. Dans ce dernier cas, on parle de **tritium atmosphérique total**.

Dans le bourg de Brennilis, le tritium présent dans l'air fait l'objet d'un suivi depuis janvier 2009 à partir de prélèvements effectués durant 7 jours. La mesure ne serait pas exhaustive car le tritium sous forme de vapeur d'eau contenue dans l'air n'est visiblement pas comptabilisé d'après les informations communiquées au RNM.

4.1.2.2 Situation observée ces dernières années [2009 - 2010]

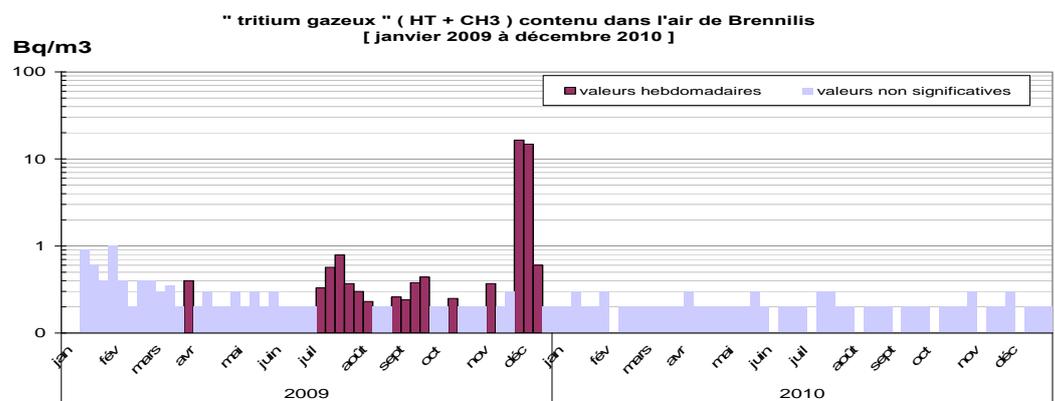


Figure 4-f : tritium gazeux (HT+CH₃T) mesuré chaque semaine dans l'air à Brennilis, entre janvier 2009 et décembre 2010.

Source : résultats EdF communiqués au réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement - RNM
<http://www.mesure-radioactivite.fr/public/>

Ces dernières années, l'air contient moins de 0,2 Bq/m³ de tritium gazeux sous forme HT (+ CH₃T) la plupart du temps. Durant le second semestre 2009, quelques valeurs significatives sont notées avec 15 à 16 Bq/m³ en décembre.

Pour appréhender les niveaux, on peut se référer à des mesures faites ailleurs, dans les mêmes conditions. Dans la rade de Brest à Plougastel-Daoulas et dans les environs du site de stockage CSFMA de l'ANDRA (Aube), les mesures faites renseignent d'abord sur la situation qui peut être normalement observée indépendamment d'une contribution industrielle locale. Dans ces endroits, l'air contient moins de 0,2 Bq/m³ de tritium gazeux sous forme HT (+ CH₃T) et aucune valeur significative n'est notée.

En conséquence la situation observée à Brennilis depuis janvier 2010 est comparable à celle relevée ailleurs dans des lieux non perturbés par des rejets gazeux de tritium.

A contrario, l'élévation des niveaux durant le second semestre 2009, particulièrement en décembre, suggère une contribution locale. Pour autant, il n'est pas évident de conclure aux conséquences des rejets gazeux du site. D'abord, il est peu concevable que la concentration mesurée à distance soit supérieure à celle du rejet qui en serait à l'origine, ce que suggèrent les résultats rapportés pour la forme HT (cf. **Tableau 2**). Ainsi constate-t-on 15 Bq/m³ dans l'air à Brennilis pour 2 à 4 dans les effluents gazeux rejetés durant la même période. Puis, compte-tenu des niveaux de rejets à cette période, le tritium ne devrait par être décelé si on retient un **coefficient de transfert atmosphérique** (CTA) usuellement employé (de l'ordre de 10⁻⁵ à 10⁻⁷ s/m³). Pour illustration, dans les environs du site AREVA NC – La Hague dont les niveaux de rejets en tritium sont actuellement presque 500 fois plus élevés, l'air contient moins de 1 Bq/m³ de **tritium atmosphérique total** (HTO+HT+CH₃T).

Peut être l'exploitant du site a-t-il étudié cet aspect ?

Env. 5,5 GBq pour décembre et de l'ordre de 80 GBq pour l'année.

Forme du tritium atmosphérique rejeté par le site des Monts d'Arrée

Entre le 30 novembre et le 21 décembre 2009, l'exploitant a entrepris de discriminer les formes du tritium observées à la fois dans l'environnement (à Brennilis) et dans les effluents gazeux. On constate d'abord que **le tritium rejeté avec les effluents gazeux du site l'est presque exclusivement sous forme de vapeur d'eau (HTO)**. C'est donc sous cette forme que le tritium sera présent dans l'atmosphère au voisinage du site car sa conversion en HT lors de son transport n'est pas un mécanisme évoqué dans la littérature scientifique. Il serait donc opportun de communiquer également les résultats pour la vapeur d'eau tritiée d'autant plus que le dispositif de surveillance le permet (voir tableau ci-dessous).

Tableau 2 : Activité volumique (en Bq/m³) des différentes formes de tritium contenues dans l'air à Brennilis et dans les effluents gazeux rejetés par la cheminée principale du site des Monts d'Arrée - [EdF, 2009].

N° semaine	A Brennilis		A la cheminée principale	
	HTO	HT (+CH ₃ T)	HTO	HT (+CH ₃ T)
	« vapeur »	« gazeux »	« vapeur »	« gazeux »
Semaine n°50	15,3 ± 1,7	16,5 ± 1,8	139 ± 20	4,5 ± 0,9
Semaine n°51	8,8 ± 1,1	14,8 ± 1,6	108 ± 15	1,7 ± 0,3
Semaine n°52	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	139 ± 18 (total)	

4.1.2.3 Situation observée auparavant

Le tritium contenu dans l'air n'était pas analysé et il n'y a donc aucun résultat.

L'absence de ce genre de surveillance à une époque où le CEA la pratiquait autour de son site de Valduc (par exemple) doit être regrettée. Elle aurait d'abord permis de mieux connaître les répercussions des rejets gazeux de tritium à une époque où ceux-ci étaient particulièrement importants comparativement à d'autres sites nucléaires. Puis, ces données auraient contribué à conforter le modèle actuellement utilisé pour décrire les transferts atmosphériques consécutifs à un rejet à la cheminée en offrant la possibilité d'une confrontation modèle-mesures.

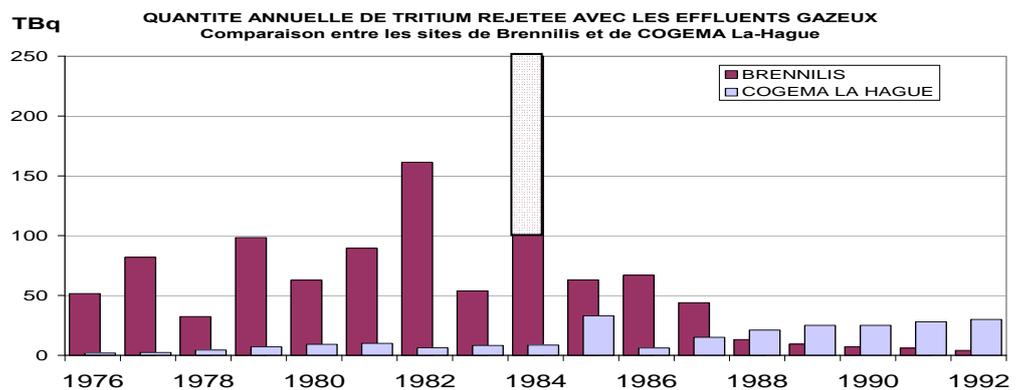
Les rejets gazeux en tritium de ce modeste réacteur de 70MWe étaient disproportionnés par rapport aux autres installations nucléaires, et s'accompagnaient vraisemblablement de rejets en carbone-14. Pour illustration, les rejets gazeux en tritium de la centrale étaient jusqu'en 1987 bien plus élevés que ceux des usines de retraitement de La-Hague comme on le constate sur la **Figure 4-g** ; certains mois, ils pouvaient dépassés les 10 TBq - **Figure 5-g**.

Figure 4-g : Comparaison des niveaux de rejets gazeux annuels en tritium (en TBq) entre la centrale de Brennilis et les usines de retraitement de AREVA-NC La Hague ; de 1976 à 1992.

Sources :

Brennilis : reconstruction à partir des registres de l'exploitant.

Cogéma-La Hague : reconstruction à partir de l'inventaire des rejets radioactifs des installations nucléaires - volume 1 (juillet 1989) - GRNC



REMARQUE concernant le niveau des rejets au mois de mai 1984 :

Selon la source des données, la quantité de tritium relâchée dans l'air en mai 1984 est très différente. D'après l'état récapitulatif des rejets transmis au Ministère de la Santé (SCPRI), une valeur de 158,1 TBq est annoncée et reportée les mois suivants. Mais d'après les écrits consignés dans le rapport d'exploitation de l'époque (transmis fin mai 2011 à l'ACRO), le niveau des rejets aurait été de 158,1 Ci (soit 5,8 TBq). **Entre les deux sources d'information, l'unité est différente (becquerel versus curie), une erreur existe.**

4.2 Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)

Dans la perspective de statuer sur l'origine des éléments de la famille de l'uranium-235 observés en excès dans les environs de la centrale nucléaire des Monts d'Arrée, les niveaux de la radioactivité dans des lichens et mousses terrestres ont été précisés [ACRO/LSCE, 2009]. Largement connus pour leur potentiel de bioaccumulation de différents éléments traces, dont des éléments radioactifs, ce genre de bio-indicateurs collectés sur des substrats inertes renseigne qualitativement sur la qualité de l'air de façon rétrospective sur une période toujours délicate à cerner, au mieux égale à l'âge du support.

4.2.1 Bilan qualitatif pour l'air à partir de l'analyse de lichens et de mousses terrestres

4.2.1.1 Organisation du travail

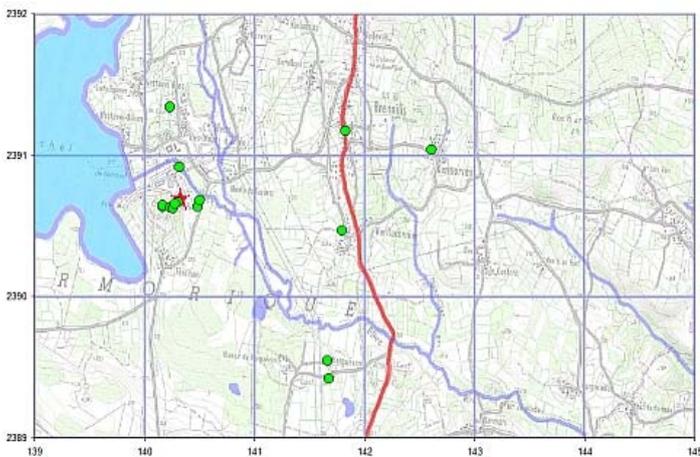


Figure 4-h : Localisation des bio-indicateurs atmosphériques étudiés par [ACRO/LSCE, 2009]

Les bio-indicateurs évoqués ont été prélevés courant mars 2007 dans un rayon d'environ 2 km par rapport à la centrale et les abords immédiats de la cheminée de rejets ont été privilégiés. Tous ont été obtenus à partir de supports inertes, ce qui limite les échanges (à l'air dans le cas présent).

Dans chaque échantillon, les radionucléides émetteurs gamma artificiels que sont le ^{137}Cs , le ^{60}Co , l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, l' ^{241}Am , etc. et naturels - comme ^{210}Pb , ^{227}Ac (^{227}Th), etc. - ont été dosés par spectrométrie gamma. Mousses terrestres et lichens prélevés sur un pluton granitique au sommet de la colline, à une centaine de mètres de la cheminée, ont quant à eux fait l'objet d'une radiochimie pour doser précisément l' ^{241}Am et le couple $^{239+240}\text{Pu}$.

4.2.1.2 Résultats et constats

Pour les auteurs, les constats dressés s'opposent d'abord à l'idée que les rejets d'effluents gazeux de la centrale, récents ou passés, puissent être à l'origine des excès observés dans les Monts d'Arrée concernant la famille de l'uranium-235. Cette conclusion est motivée par l'absence d'actinium-227 dans les échantillons, particulièrement dans ceux qui témoignent des rejets gazeux de la centrale.

En l'état actuel de la connaissance, il est vraisemblable que les rejets gazeux de la centrale aient contenu des émetteurs alpha du genre de l'américium, au moins durant un certains laps de temps. Cette conclusion est motivée par le fait que le rapport $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ est trop différent de celui qui caractérise les retombées des essais nucléaires atmosphériques. A partir des radiochimies, l'IRSN (2010) (Tableau 3) aboutit à des rapports dont la valeur est au moins 100 fois supérieure à celle attendue. A priori, le ratio n'est pas respecté à cause de la teneur trop élevée en ^{241}Am et c'est pourquoi l'absence de cet élément dans les échantillons prélevés à distance suggère que seul le voisinage immédiat de la cheminée est concerné.

Observation(s) :

Rapports des activités caractéristiques des retombées des essais nucléaires atmosphériques :

$$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu} = 0.03 \pm 0.01$$

$$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu} = 0.40 \pm 0.10$$

Tableau 3 : Teneurs (mBq par kg de matière sèche) en américium-241 et en isotopes 239+240 du plutonium mesurées dans les échantillons collectés dans l'environnement terrestre du SMA en 2007 - [IRSN, 2010].

	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$
Lichens	$34\,470 \pm 2\,248$	126 ± 9	274 ± 38
Mousses terrestres	$9\,817 \pm 654$	154 ± 14	64 ± 10

Concernant les autres radionucléides artificiels également mesurés, seul du ^{137}Cs est mis en évidence et la situation n'est pas différente de celle qui a pu être observée ailleurs (et à distance d'INB) avec ce genre de bio-indicateurs [ACRO, 1997 et 1998]. Pour information, la teneur en ^{137}Cs n'excède pas 67 Bq/kg de matière sèche (dans les lichens de Kermorvan).

5 La radioactivité dans l'eau de pluie

Observation(s) :

Synthèse en partie faite d'après
[Renaud Ph. et al., 2005]

Par temps sec, les éléments sous forme d'aérosols ou de gaz solubles contenus dans une masse d'air vont se déposer lentement le long du parcours. On parle de « **dépôts secs** ». Le relief, la nature du couvert végétal et le vent influencent l'intensité de ces dépôts.

Par temps de pluies, les gouttes d'eau emprisonnent les aérosols en se formant et précipitent ceux contenus dans la masse d'air située entre le sol et les nuages. Les gaz solubles peuvent également être captés par les gouttes de pluie. On parle alors de **lessivage** dans et sous le nuage, et finalement de « **dépôts humides** ».

A concentration atmosphérique égale, les dépôts humides sont plus intenses que les dépôts secs sur une surface donnée. Ce sont ces mêmes dépôts pluvieux qui conduisent généralement à observer des disparités entre les lieux.

Les contaminants transportés par les eaux de pluie vont d'abord être captés (en partie) par les surfaces végétales comme les feuilles et cette **interception** sera d'autant plus réduite que la quantité d'eau tombée est importante (phénomène de lessivage des feuilles).

Au sol, le devenir des radionucléides déposés ainsi est assez diversifié. Une fraction des contaminants va s'infiltrer avec les eaux de pluie. Pour autant, la nappe phréatique sous-jacente ne va pas être obligatoirement concernée. Divers mécanismes « contrarient » cette migration en favorisant la rétention des radionucléides dans l'horizon superficiel du sol, selon leur forme physico-chimique. Dans le cas du tritium sous la forme d'eau tritiée (HTO), celui-ci va suivre le cheminement de l'eau et pourra effectivement rejoindre la nappe. Toutefois, l'évapotranspiration naturelle des sols est un facteur limitant. Dans une prairie, il est admis que 70% de l'eau de pluie tombée est restituée à l'atmosphère par ce mécanisme.

Une autre fraction va être exportée avec les eaux de ruissellement vers d'autres surfaces si la topographie s'y prête et le sol est peu apte à absorber l'eau. Dans les « cuvettes », c'est-à-dire les endroits où ces eaux de ruissellement s'accumulent, les niveaux de la radioactivité vont être plus importants qu'ailleurs. Enfin, le réseau hydrographique superficiel pourra être concerné car il est généralement l'exutoire de ces eaux de ruissellement.

5.1 Bilan tiré des surveillances IRSN et de l'exploitant

L'exploitant surveille les niveaux de la radioactivité des eaux de pluie dans les mêmes conditions géographiques que les analyses d'air. Le point de prélèvement est localisé dans le bourg de Brennilis, à la station météorologique. Les paramètres mesurés sont l'indice bêta global depuis janvier 1974 et le tritium (HTO) depuis janvier 2009.

L'IRSN – Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire – effectue, lui aussi, régulièrement des mesures dans les Monts d'Arée selon une organisation qui a évolué au fil du temps. Cette surveillance a débuté du temps du SCPRI à partir d'échantillons collectés (semble t-il) à la station météorologique de Brennilis. Il est probable que cette surveillance des niveaux de la radioactivité des eaux de pluie ait débuté bien avant janvier 1980, mais aucune archive antérieure n'est disponible à l'ACRO. Invariablement, l'indice bêta global et le tritium total ont été déterminés. Depuis quelques années, des analyses isotopiques sont réalisées par spectrométrie gamma et des résultats sont disponibles pour les principaux radionucléides émetteurs bêta-gamma comme le ^{137}Cs ou le ^{60}Co .

5.1.1 Bilan pour l'indice bêta global des eaux de pluie

5.1.1.1 Organisation des mesures

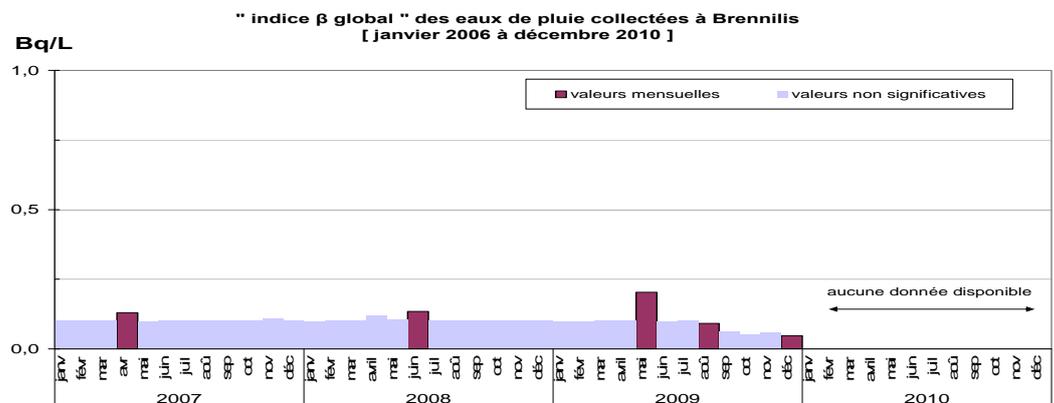
Les eaux de pluie sont collectées durant chaque mois et leur analyse s'effectue en différé. A priori, les résultats rendent compte à la fois de la fraction insoluble et soluble de la radioactivité concernée. Du temps du SCPRI, l'IRSN privilégiait une fréquence hebdomadaire et discriminait les 2 formes. Pour chaque échantillon, deux résultats étaient donc disponibles.

La mesure concerne l'indice bêta global qui est exprimé a priori en référence à un spectre de $^{90}\text{Sr-Y}$. Du fait de la méthode, les radionucléides ne sont pas discriminés et l'indice reflète pour partie la radioactivité naturelle. Dans tous les cas, seuls les radionucléides émetteurs d'un rayonnement bêta sont pris en compte et c'est pourquoi la concentration mesurée est toujours plus faible que ce qui l'en est réellement. **Quant aux éléments très volatils (comme l'iode-131) qui auraient été solubilisés lors du lessivage de la masse d'air, ils se trouvent écartés car l'échantillon est préalablement chauffé pour en éliminer l'eau par évaporation.**

5.1.1.2 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

Figure 5-a : indice bêta global mesuré dans les eaux de pluie collectées à brennilis, entre 2008 et 2010.

Source : IRSN - OPERA
<http://environnement.irsn.fr/>
 Période : [2007 - 2010]



Ces dernières années, l'indice bêta global est généralement inférieur à 0,1 Bq/L dans les eaux de pluie et les rares valeurs significatives ne se détachent pas réellement puisqu'elles n'excèdent pas 0,2 Bq/L. En 2010, la situation est comparable si on se réfère cette fois aux données issues de la surveillance d'EdF et communiquées au Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM).

Observation(s)

IRSN - OPERA
<http://environnement.irsn.fr/>

Stations étudiées (12 au total)
 Guipavas, Brennilis, Angers, Chinon, Civaux, Angoulême, Brive la Gaillarde, Golfech, Toulouse, Biarritz, Bordeaux et le Blayais

Période : [janv. 05 -janv. 10]

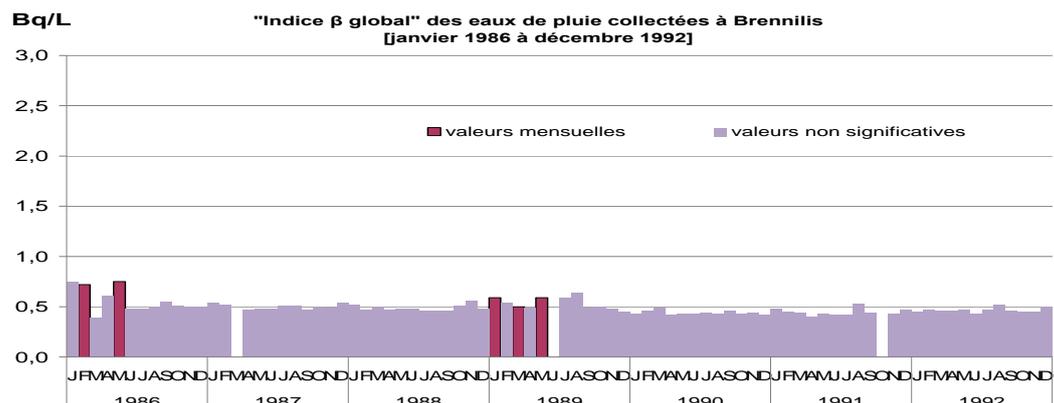
Considérant les 12 stations surveillées par l'IRSN et situées en front ouest de l'atlantique, depuis Toulouse jusqu'à Guipavas (Finistère), il ressort (pour comparaison) que l'indice bêta global dans les eaux de pluie est rarement significatif et toujours inférieur à 0,25 Bq/L. En conséquence la situation constatée à Brennilis n'est pas différente de celle observée ailleurs, notamment à distance d'une installation nucléaire.

➤ **A l'avenir, une valeur de 0,25 Bq/L pourrait constituer une référence d'interprétation pour l'indice bêta global des eaux de pluie collectées à Brennilis**

5.1.1.3 Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992]

Figure 5-b : indice bêta global mesuré dans les eaux de pluie collectées à brennilis, entre 1986 et 1992.

Source : d'après les données de l'exploitant de l'INB



Entre 1986 et 1992, la sensibilité des mesures est voisine de 0,5 Bq/L et rares sont les valeurs significatives. Ces dernières ne se détachant pas réellement « du bruit de fond », toute interprétation serait hasardeuse.

Néanmoins, il est intéressant de noter que le lessivage des masses d'air contaminées en provenance d'Ukraine n'a pas entraîné d'élévation notable de l'indice bêta global dans les eaux de pluie collectées durant le mois de mai 1986. Ce constat conforte l'hypothèse que la région des Monts d'Arée a été finalement peu concernée par les retombées de césium radioactif suite à l'accident nucléaire de Tchernobyl. Aussi le ^{137}Cs mesuré dans les sols de la région trouverait principalement une origine dans les retombées des essais nucléaires atmosphériques, dont les derniers ont été pratiqués par la Chine jusqu'en octobre 1980.

NOTA : Il est important de souligner que la méthode de mesure employée conduit à écarter les éléments volatils comme l'iode-131 et c'est pourquoi il n'y a pas réellement d'augmentation de l'indice au mois de mai 1986 comparativement à ce qui est observé dans les aérosols. Dans ce cas précis, cet indice est le reflet des isotopes radioactifs du césium ($^{134}+^{137}$) qui ont été entraînés avec les eaux de pluie durant le mois.

5.1.1.4 Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur

Figure 5-c : indice bêta global mesuré dans les eaux de pluie collectées à Brennilis, entre 1976 et 1985.

Source : d'après les données de l'exploitant de l'INB

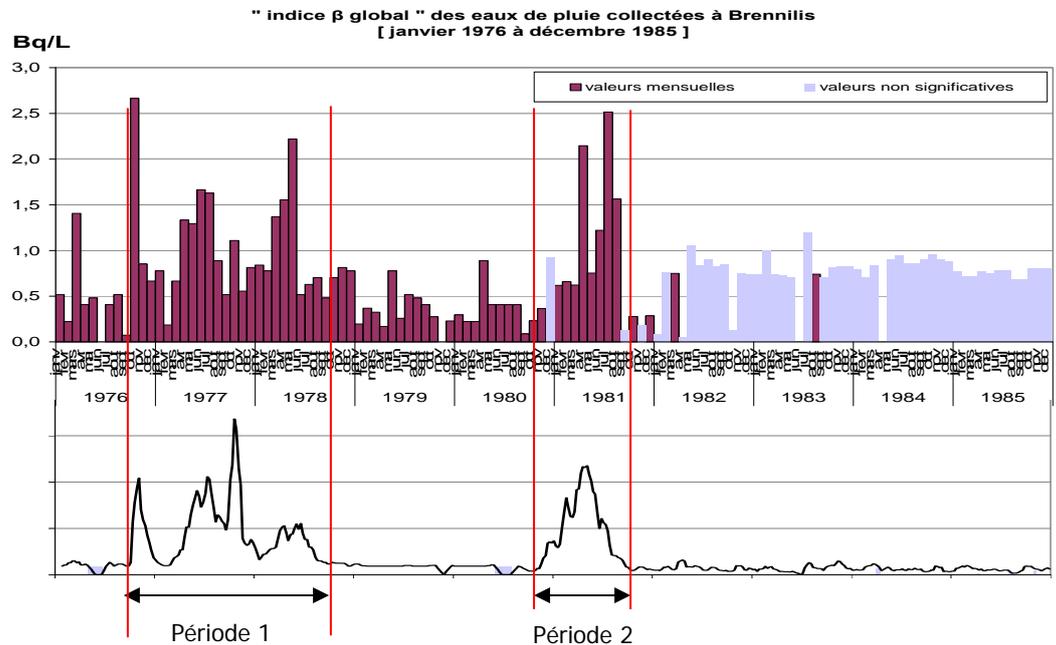


Figure 5-d : indice bêta global mesuré dans les aérosols collectés à Brennilis, entre 1976 et 1985.

Mise en perspective

Contamination des aérosols par les retombées des essais nucléaires atmosphériques (Voir Figure 4-d)

Avant 1982, l'indice bêta global des eaux de pluie oscille entre quelques dixièmes et 2,7 Bq/L. Après cette période, les valeurs sont globalement non significatives, c'est-à-dire inférieures à 0,75 Bq/L en moyenne.

Comme évoqué précédemment, les eaux de pluie se chargent au contact des masses d'air qu'elles lessivent. C'est pourquoi, il est normal de constater une assez bonne similitude entre l'évolution (dans le temps) de l'indice bêta global des eaux de pluie et celui des aérosols (Figure 5-c versus Figure 5-d) dès lors que ces derniers contiennent une fraction non volatile significative. Ainsi discrimine-t-on nettement les 2 périodes au cours desquelles les retombées des derniers essais nucléaires chinois ont pu être mesurées dans l'air de Brennilis – retombées qui contenaient comme éléments non volatils du ^{137}Cs , ^{90}Sr ou ^{95}Zr . Certes la superposition n'est pas parfaite mais la pluviométrie (fréquence, durée et intensité) devrait expliquer les disparités car elle a une incidence sur la concentration.

Considérant les dix dernières années de fonctionnement du réacteur, la contamination des eaux de pluie visible jusqu'en décembre 1981 dépend donc avant tout des retombées des essais nucléaires atmosphériques de l'époque.

5.1.2 Bilan pour le tritium des eaux de pluie

5.1.2.1 Organisation des mesures

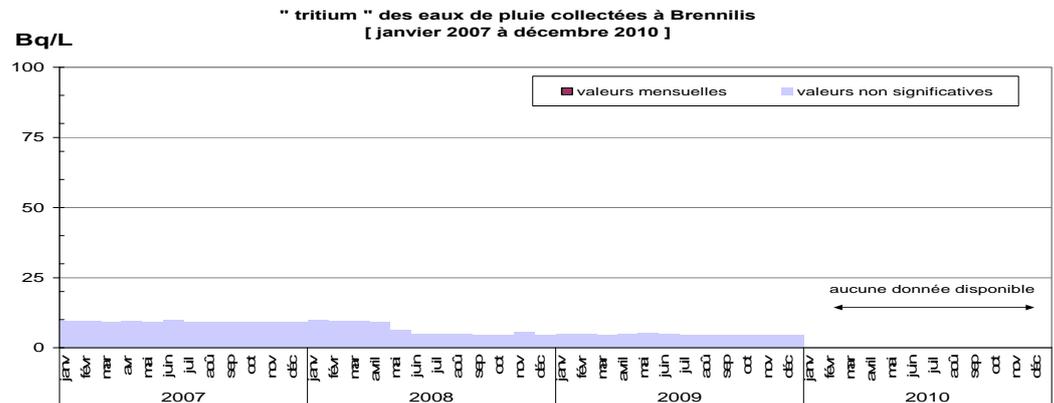
Les eaux de pluie sont collectées durant chaque mois et leur analyse s'effectue en différé.

Le dosage concerne le tritium total car les différentes formes ne sont pas discriminées. Dans les précipitations le tritium total s'apparente presque en totalité à la forme HTO en raison de la faible solubilité du méthane tritié (CH_3T) et de l'hydrogène tritié (HT) dans l'eau.

5.1.2.2 situation observée ces dernières années

Figure 5-e : tritium total mesuré dans les eaux de pluie collectées à Brennilis, entre 2007 et 2010.

Source : IRSN – OPERA
<http://environnement.irsn.fr/>
 Période : [2007 - 2010]



Observation(s) :

Source : http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html

Station référencée :
 VIENNA (HOHE WARTE) ou
 WHO 1103500

ATTENTION : les résultats sont communiqués en TU et non Bq/L
 1 TU = 0,118 Bq/L
 Le TU est l'unité employée hors radioprotection pour préciser les niveaux, notamment par les hydrogéologues par exemple.

Ces dernières années, aucune valeur significative n'est notée ; la teneur en tritium des eaux de pluie reste inférieure à 5 Bq/L. Considérant les données EdF communiquées au RNM, il est possible d'ajouter que la situation n'est pas différente au cours de l'année 2010.

Pour comparaison, on peut utilement se référer aux données communiquées par l'AIEA au sein du Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP). Dans ce cas, il est habituel de prendre comme référence « non perturbée » (directement par les rejets de l'industrie) la station de Vienne (Autriche) pour l'hémisphère nord.

Les dernières données disponibles font état en 2007 d'une teneur mensuelle en tritium des eaux pluviées comprise entre 0,83 et 1,75 Bq/L. A l'échelle de l'année, la moyenne pondérée s'établit à 1,1 Bq/L. L'origine de ce tritium est d'abord naturelle dans la limite de 0,6 Bq/L d'après [Belot Y. et al., 1996], puis elle est due aux rejets de l'industrie dispersés à l'échelle de l'hémisphère et, enfin, à la rémanence des essais nucléaires atmosphériques.

En conclusion, la situation de ces dernières années dans le bourg de Brennilis n'est pas différente de celle observée ailleurs, à distance d'installation nucléaire émettrice de tritium gazeux. Pour autant, il convient de rappeler que les rejets gazeux en tritium du site sont des plus faibles en cette période « d'inactivité ».

5.1.2.3 situation observée durant la mise à l'arrêt [1986 - 1992]

Avant janvier 2009, l'exploitant ne mesure pas la teneur en tritium des eaux de pluie, c'est l'IRSN qui s'en charge au titre de la surveillance menée au nom de l'Etat.

Les données n'ont pas été traitées.

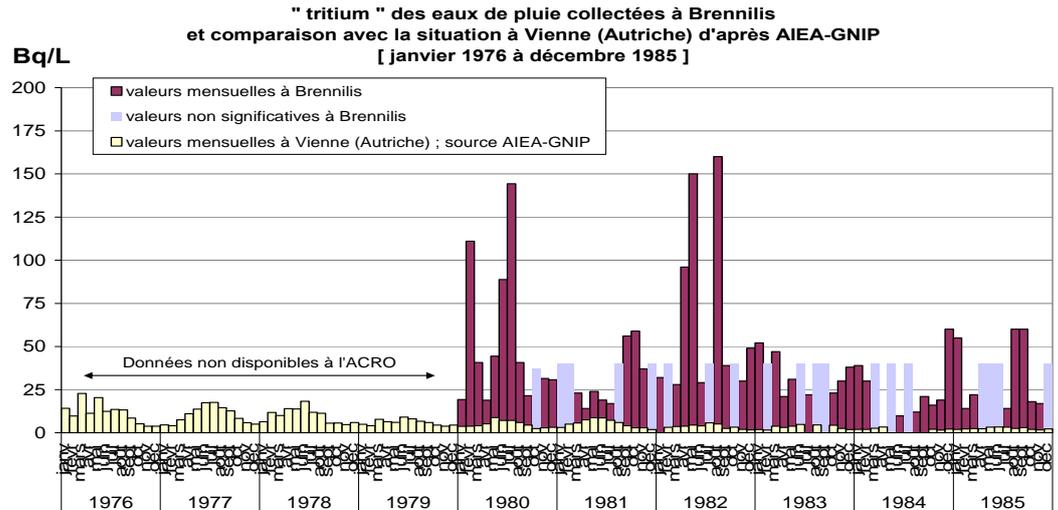
5.1.2.4 situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur

Figure 5-f : tritium total mesuré dans les eaux de pluie collectées à Brennilis, entre 1980 et 1985, et comparaison aux valeurs mensuelles relevées à Vienne entre 1976 et 1985.

Source 1 (Brennilis) : recueils mensuels édités par le SCPRI
Période : [1980 - 1985]

Source 2: http://www.naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html

Station référencée :
VIENNA (HOHE WARTE) ou
WHO 1103500
Période : [1976 - 1985]



Pour renseigner sur le niveau de contamination des eaux de pluie collectées dans le bourg de Brennilis durant les 10 dernières années de fonctionnement du réacteur, les recueils mensuels édités par le SCPRI ont été utilisés. L'absence d'archives à l'ACRO pour la période antérieure à 1980 limite la restitution.

Durant les dernières années de fonctionnement du réacteur, les eaux de pluie collectées à Brennilis sont fréquemment « marquées » par le tritium. On mesure jusqu'à 160 Bq/L et les valeurs notées sont nettement supérieures à celles mesurées à Vienne (Autriche), lesquelles n'excèdent pas 9 Bq/L.

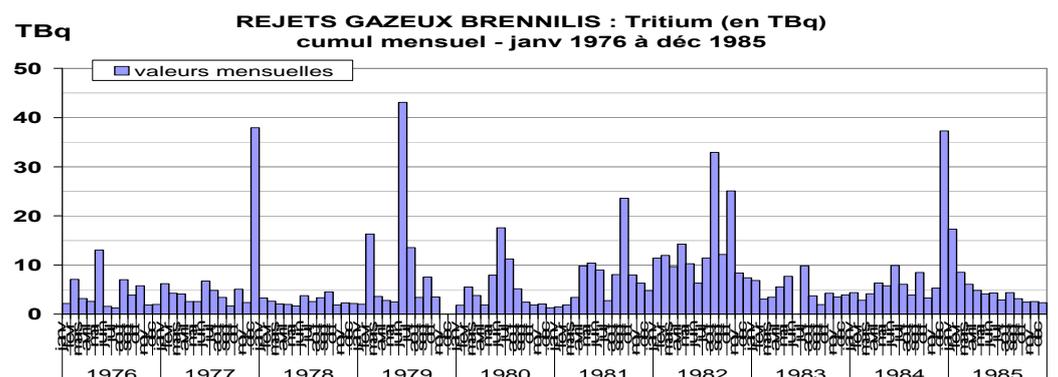
En conséquence, cette contamination ne peut être attribuée aux retombées des derniers essais nucléaires atmosphériques chinois, ni à une rémanence de ceux réalisés auparavant. Une contribution plus régionale doit être envisagée. Tenant compte de la localisation des divers sites nucléaires, les rejets gazeux pratiqués à l'époque par la centrale en sont visiblement à l'origine vu leur importance (plusieurs TBq par mois).

Pour expliquer l'absence de corrélation apparente entre les quantités relâchées dans l'atmosphère chaque mois par la centrale nucléaire (figure 5F) et les concentrations mesurées dans les eaux de pluie dans le bourg de Brennilis (figure 5E), il convient d'observer que de nombreux paramètres (non liés entre eux) vont avoir, chacun, une forte incidence sur la situation. Parmi eux, on peut évoquer : la direction des vents donc des panaches, les conditions atmosphériques comme la vitesse du vent et la température qui vont influencer la dispersion, les conditions de rejets (intensité ; durée) et la pluviométrie.

Le tritium observé dans les précipitations étant presque en totalité sous la forme HTO, il suivra le cheminement général de l'eau. L'apport des précipitations va s'ajouter au transfert par échange de vapeur entre l'air et la surface des sols (cf. 4.1.2). Le tout va rejoindre l'eau interstitielle du sol et celle des plans d'eau en surface. D'après [IRSN/DEI, 2009] : « la majeure partie du tritium déposé [ainsi] dans le sol ne fait que transiter. Une grande partie de l'eau tritiée repart dans l'air par évaporation ; une autre partie est absorbée par les végétaux par voie racinaire et une faible part migre dans les horizons sous-jacents ».

Figure 5-g : niveaux mensuels des rejets gazeux en tritium (TBq) de la centrale de Brennilis entre 1976 et 1985.

Source : d'après les données de l'exploitant de l'INB



6 La radioactivité des sols

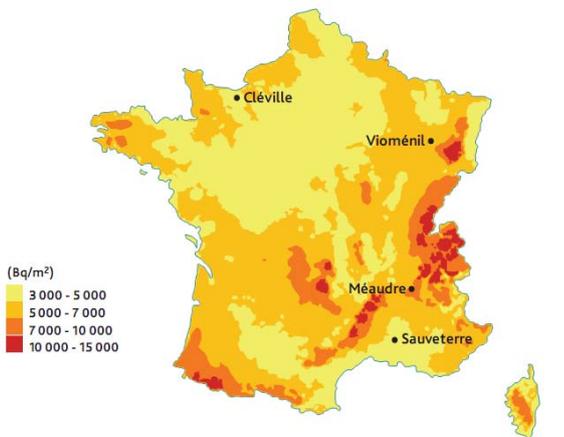


Figure 6-a : activité surfacique cumulée du césium-137 (en Bq/m²) déposée en France, entre 1945 et 1980, à la suite des essais nucléaires atmosphériques - estimation indirecte à partir d'une relation pluie-dépôts ; source IRSN.

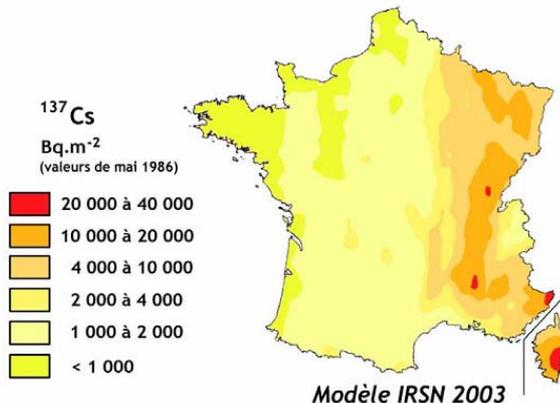


Figure 6-b : activité surfacique du césium-137 (en Bq/m²) déposée en France en mai 1986 à la suite de l'accident de Tchernobyl - estimation indirecte à partir d'une relation pluie-dépôts ; source IRSN d'après modélisation 2003

Les sols jouent un rôle de réservoir à l'égard des radionucléides artificiels peu mobiles et de longues périodes (« vies »), comme le césium-137 ou le strontium-90, qui se déposent à leur surface.

Cette rétention va alimenter divers transferts au cours du temps. Les végétaux supérieurs qui puisent leurs nutriments des sols vont incorporer une fraction de cette radioactivité artificielle présente dans les sols. La remise en suspension de fines particules de sols contaminées va contribuer à la radioactivité de l'air, et c'est pourquoi des traces de ¹³⁷Cs sont observées dans les aérosols plusieurs années après l'accident de Tchernobyl (cf. 4.1.1.2). Enfin, l'érosion de sols va avoir une incidence sur le niveau de la radioactivité artificielle du milieu aquatique.

Radionucléide de longue période prépondérant dans les retombées consécutives aux essais aériens et accidents d'envergure, le césium-137 a été largement étudié. Les figures ci-contre montrent que la région des Monts d'Arée a été finalement moins concernée que d'autres par les dépôts radioactifs consécutifs à l'accident de Tchernobyl mais, qu'elle fait partie a contrario des endroits les plus exposés aux retombées des essais nucléaires. Césium-137 et strontium-90 mesurés dans les environs de Brennilis vont donc d'abord trouver une origine dans les tirs. Puis, les teneurs pourront être assez élevées par rapport à ce qui est habituellement mesuré ailleurs en métropole.

6.1 Sols non perturbés par les eaux souterraines et les crues de l'Ellez

Par la suite, les zones « humides » ou concernées par les crues sont écartées pour connaître la radioactivité artificielle des sols en rapport avec les retombées, qu'elles proviennent des tirs, des accidents d'envergure ou des effluents gazeux de la centrale de Brennilis.

Quatre études apportent des informations concernant les niveaux contemporains des radionucléides artificiels émetteurs bêta-gamma, du tritium organiquement lié (OBT), des isotopes du plutonium et de l'américium-241.

6.1.1 Situation observée ces dernières années [2002 - 2008]

6.1.1.1 Organisation des travaux et localisation des lieux étudiés

En 2002, Descamps [IRSN, 2003] s'est intéressé au tritium organiquement lié des sols de prairie prélevés dans la direction du nord-est depuis Kerstrat jusqu'à Berrien. Cinq stations ont été étudiées entre 650m et 9,3 km de l'installation ; Tromathiou situé à 19km vers le nord-ouest a été choisi comme référence. Dans chaque échantillon, plusieurs radionucléides émetteurs gamma ont également été dosés par spectrométrie gamma. Les 5 premiers centimètres de sol étaient concernés. Voir triangle rose sur la carte.

De 2006 à 2007 et ponctuellement en 2003, ACRO/LSCE (2007 et 2009) s'est intéressé au niveau de la radioactivité gamma des sols depuis les abords immédiats de l'enceinte réacteur jusqu'à plus de 10km, principalement en direction de l'est. Dans chaque échantillon, les radionucléides émetteurs gamma artificiels que sont le ^{137}Cs , le ^{60}Co , l' ^{108}mAg , l' ^{241}Am , etc. et naturels - comme ^{210}Pb , ^{227}Ac (^{227}Th), etc. - ont été dosés par spectrométrie gamma. Selon les endroits, soit les premiers centimètres, soit 20 centimètres découpés en 2 horizons ont été concernés. Voir losange sur la carte

En 2008, Antonelli [IRSN, 2010] s'est intéressé aux émetteurs alpha (plutonium et américium-241) et au tritium organiquement lié des 5 premiers centimètres des sols de Kerelcum (à 5 km sous les vents dominants) et de « Tromathiou » (à 20km hors de l'influence de la centrale). Voir les ronds sur la carte.

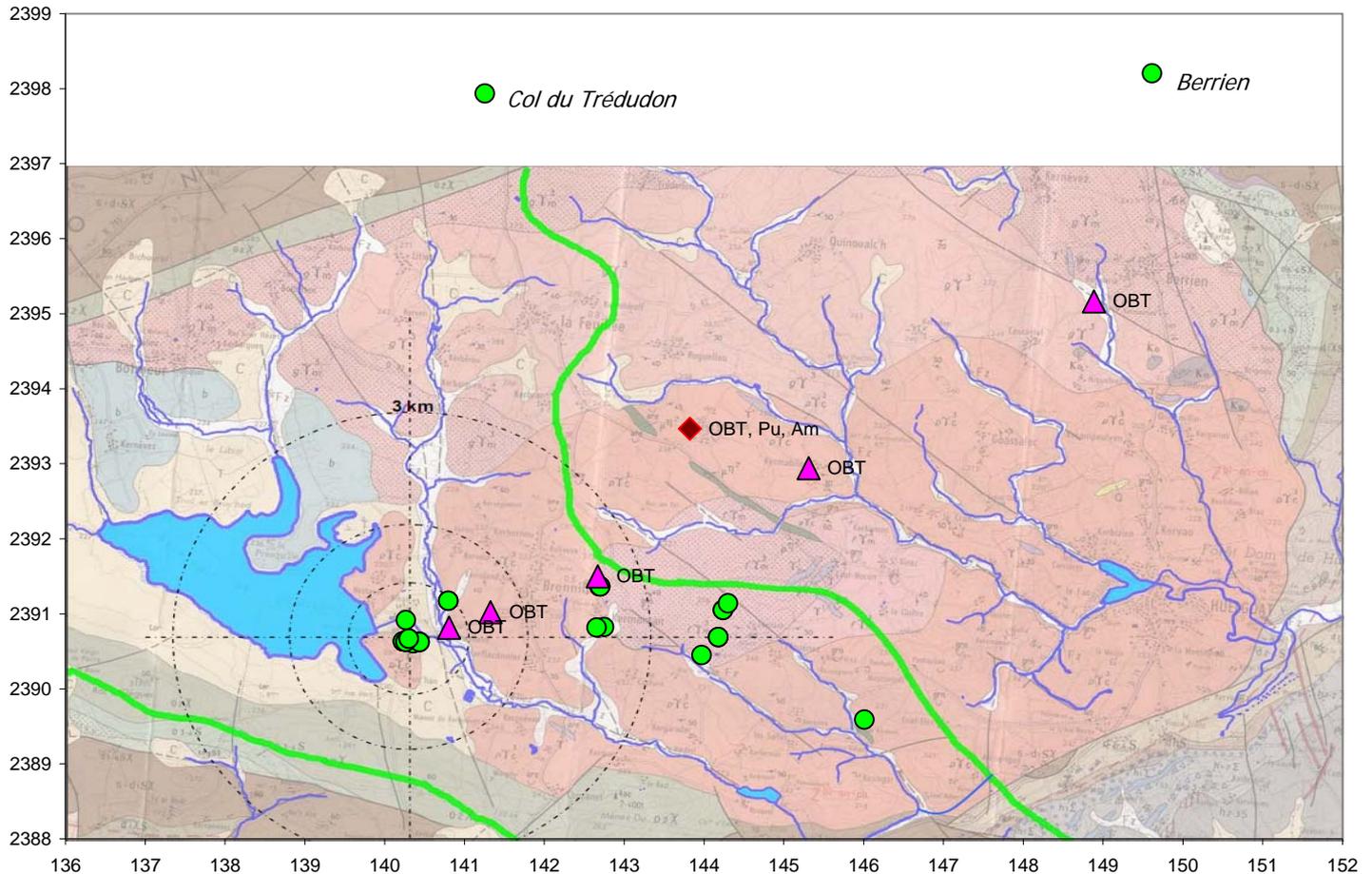


Figure 6-c : localisation des endroits étudiés pour caractériser la radioactivité artificielle des sols non perturbés par les eaux souterraines ou les crues de l'Ellez, entre 2002 et 2008, par [IRSN, 2003], [IRSN, 2010], [ACRO/LSCE, 2007] et [ACRO/LSCE, 2009]. Voir également zoom page suivante.

6.1.1.2 Résultats et constats

Tableau 4 : Résumé des principaux résultats obtenus entre 2002 et 2008 pour les sols des Monts d'Arrée.

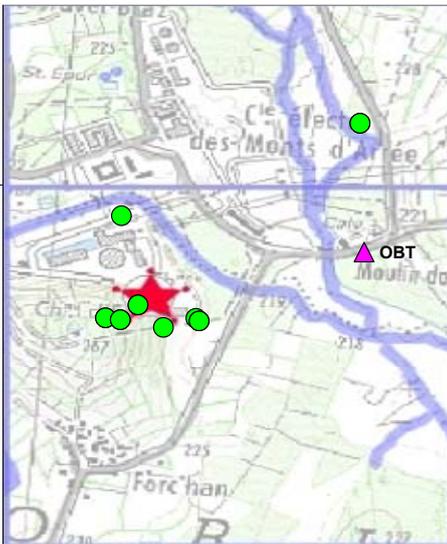
Lieux et profondeur		^{60}Co	^{137}Cs	Tritium (OBT)	$^{238}\text{Pu} / ^{239+240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am} / ^{239+240}\text{Pu}$
		Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/L eau combustion	rapport	rapport
Proximité cheminée	0-10 cm	< 1	30 (environ)	-	-	-
	10-20 cm	< 1	6 (environ)	-	-	-
Au voisinage < 750m	< 10 cm	< 1	20 (environ)	4 ± 1	-	-
A distance > 750m	< 10 cm	< 1	10 à 20 en général de 2 à 54 observé	1 à 2	0,027 ± 0,004	0,39 ± 0,06

A distance du site, la radioactivité artificielle des sols qui peut être mesurée ces dernières années par spectrométrie gamma se résume à la seule présence de ^{137}Cs à des teneurs **le plus fréquemment** comprises entre 10 et 20 Bq/kg de matière sèche. Néanmoins des valeurs très différentes peuvent être observées selon les particularités du site, notamment au sommet du col du Trédudon où la teneur en ^{137}Cs est des plus fortes avec 54 Bq/kg sec.

Dans les Monts d'Arrée, la teneur en ^{137}Cs des sols est un peu plus élevée que celle notée généralement ailleurs sur le territoire métropolitain. Avec une même méthodologie, l'ACRO mesure régulièrement moins de 10 Bq/kg sec dans les sols, comme dans les environs de Poitiers en 1996/97, de Chinon en 2002/03, de Caen en 2003 et dans l'Aube en 2007.

Ce césium-137 proviendrait essentiellement des retombées des essais nucléaires atmosphériques compte tenu des dépôts estimés par l'IRSN (Figure 6-a versus Figure 6-b) et de l'existence de teneurs similaires (entre 10 et 20 Bq/kg sec) dans les sols situés hors de l'influence de la centrale (i.e. à Tromathiou). Descamps [IRSN, 2002] qui a du reste étudié les niveaux de ^{137}Cs dans les sols de la région abonde dans ce sens (voir page 35 du rapport).

Toujours à distance, ni les analyses de tritium organiquement lié, ni celles relatives au plutonium et à l'américium-241 ne témoignent d'une quelconque anomalie. Exprimée en Bq/L d'eau de combustion, la teneur en tritium des sols n'est pas différente de celle notée ces dernières années dans l'eau de pluie à Vienne (Autriche). Quant aux émetteurs alpha artificiels évoqués, les ratios rapportés sont conformes à ceux obtenus dans les endroits non perturbés par les rejets de l'industrie nucléaire.



Au voisinage du site, là encore seul du césium-137 est décelé par spectrométrie gamma et la situation **telle qu'elle est examinée** se détache finalement très peu de ce qui est observé ailleurs, y compris pour le tritium lié (OBT).

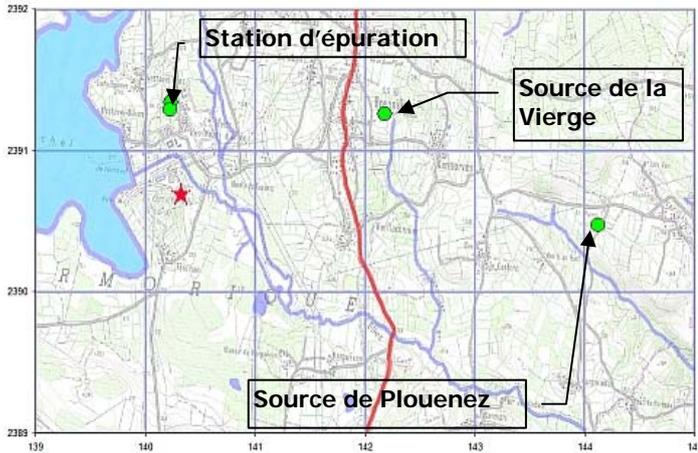
Dans les endroits préférentiellement concernés par les retombées des effluents gazeux de la centrale, particulièrement dans un rayon de quelques centaines de mètres autour de la cheminée, on ne peut exclure que les sols présentent des niveaux en tritium organiquement lié, voire en carbone-14, supérieurs aux valeurs obtenues à distance comme le constate Descamps [IRSN, 2002] à Kerstrat situé à 650 m de la cheminée (cf. figure ci-contre). La présence de fragments de végétaux anciens du genre de la lignine par exemple, par encore dégradés et marqués par les rejets gazeux du temps de l'exploitation du réacteur, pourrait expliquer la situation.

A des fins de compréhension, et pourquoi pas dans le but de mieux connaître le contenu en radionucléides à vie longue des effluents gazeux rejetés par la centrale du temps de son exploitation, on pourrait – au titre d'une première approche – examiner les niveaux en fonction de la profondeur des « sols » (au sens large) en sous-bois de la colline située en arrière plan de la cheminée. A cet endroit, la litière-humus, largement constituée de fragments de végétaux, semble avoir conservé la mémoire des dépôts successifs comme en attestent les résultats en ^{137}Cs rapportés par l'ACRO/LSCÉ (2009 : tableau 6) et concernant les échantillons dénommés « sols de bruyère ».

7 La radioactivité de l'eau potable

Les alentours de la centrale et plus particulièrement le bourg de Brennilis sont alimentés en eau potable à partir de la source dite « de la Vierge ». L'eau provient d'abord d'une nappe superficielle dont le toit est situé à une profondeur d'environ 6 mètres. Ces dernières années, lorsque celle-ci vient à se tarir, un second horizon est exploité : une nappe beaucoup plus profonde (à environ - 40 m). Par le passé, la nappe superficielle de Plouenez a également été exploitée mais une pollution chronique par les nitrates en interdit toujours l'utilisation.

Figure 7-a : Localisation des captages d'eau potable dans les environs de Brennilis



Les eaux souterraines, destinées ou non à la consommation humaine, contiennent divers éléments y compris radioactifs. Sauf cas particulier, la radioactivité des eaux est avant tout d'origine naturelle et les radioéléments les plus significatifs sont : le potassium-40, l'uranium naturel, le radium-226, le radon et accessoirement le thorium. D'après [anonyme, 2000], les concentrations varient alors en fonction de la nature géologique des terrains traversés, du temps de contact (âge de l'eau), de la température, de la solubilité de l'élément concerné, etc.... Dans les régions granitiques comme les Monts d'Arrée, les eaux souterraines seront toujours « plus riches » en radioéléments que leurs homologues puisés dans les bassins sédimentaires.

Avec la transposition en droit français de la **DIRECTIVE 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998** relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, l'obligation de contrôle a été élargie à des paramètres radioactifs. Si ces nouveaux contrôles – dont l'organisation est confiée aux DDASS – sont apparus à partir 2005, cela ne signifie pas que les niveaux de la radioactivité (naturelle et artificielle) n'ont jamais été contrôlés auparavant. A Brennilis, la source de la Vierge fait l'objet d'un contrôle régulier par l'exploitant du site nucléaire depuis (au moins) 1987 ; le format et l'objectif sont différents.

Source : anonyme (2000).
Eau Minérale et Radioactivité
Note technique n° 15
Juillet 2000

7.1 Les valeurs guides et références de qualité

Les valeurs guides et références de qualité sont rapportées dans le tableau suivant. Il est important d'observer que l'appréciation finale de la qualité des eaux est fondée sur la dose efficace (**DTI**) résultant de l'incorporation des radionucléides présents dans l'eau durant une année de consommation (radon et ses descendants exclus). Aussi, le dépassement de la valeur indicative pour le tritium (100 Bq/L) - par exemple - n'aura pas obligatoirement d'incidence sur la distribution de l'eau si le **DTI** (calculé en conséquence) reste inférieur à 0,1 mSv/an, soit inférieur à 10% de la limite annuelle de dose pour le public.

Source : La qualité radiologique de l'eau mise en distribution en France 2005-2007.
http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_100609.pdf

Indicateur	Nature	Valeur indicative	Référence réglementaire	
			historique	actuelle
Activité alpha globale	Valeur guide	0,1 Bq/L	Arrêté du 12 mai 2004 [e]	Arrêté du 11 janvier 2007 [g]
Activité bêta globale résiduelle		1 Bq/L		
Tritium	Référence de qualité	100 Bq/L	Annexe 13-1 du code de la santé publique	
DTI		0,1 mSv/an		

Observation(s) :

Activité bêta globale résiduelle
= [Indice bêta global] – 0,0279 × [K]

avec [K] : concentration en potassium total (en mg/L).

- ↪ **L'activité alpha globale** est représentative de l'activité cumulée des radionucléides émetteurs de rayonnements alpha contenus dans l'eau (à l'exception des éléments volatils comme le radon). Dans les faits, il s'agit de l'indice alpha global au sens de la NF M60-801.
- ↪ **L'activité bêta globale résiduelle** est représentative de l'activité cumulée des radionucléides (non volatils) émetteurs de rayonnements bêta contenus dans l'eau, diminuée de l'activité volumique du potassium-40 (déterminé à part pour le besoin). Dans les faits, il s'agit de l'indice bêta global au sens de la NF M60-800 diminué de l'activité volumique du potassium-40.
- ↪ **Le tritium** est considéré comme un indicateur de contamination d'origine anthropique (humaine). Sa présence dans l'eau destinée à la consommation humaine, significative (au delà de 100 Bq/L), témoigne d'une situation anormale justifiant une enquête environnementale et une action corrective. La mesure doit être conforme à la NF M60-802-1.

7.2 Résultats et constats

7.2.1 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

7.2.1.1 Organisation des mesures

DDASS [2007 - 2010] Contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine. Dans cette perspective, un contrôle annuel est organisé en rapport avec l'exploitation du captage de la Vierge en un point représentatif de la qualité des eaux distribuées (depuis l'arrêté du 11 janvier 2007). Les paramètres évoqués ci-avant sont déterminés.

EdF [2007 - 2010] Contrôle ayant pour vocation de renseigner l'industriel sur les conséquences sur la ressource des dépôts radioactifs associés aux rejets gazeux. Il est organisé en rapport avec le captage de la Vierge selon un format qui a évolué dans le temps. Les paramètres régulièrement suivis sont l'indice bêta global, la teneur en potassium et celle du tritium des eaux après filtration. Depuis janvier 2009 les analyses sont bimensuelles ; auparavant elles étaient mensuelles.

ACRO/LSCE [sept-2007] Il s'agit de mesures ponctuelles faites en septembre 2007 (dans le cadre d'une étude) à la fois dans la nappe profonde du captage de la Vierge et dans celle superficielle de l'ancien captage de Ploeunez. Les paramètres étaient : l'indice alpha global, l'indice bêta global, le potassium-40 et l'actinium-227 (²²⁷Th).

7.2.1.2 Résultats et constats pour la source de la Vierge

L'activité alpha globale varie entre 0,12 et 0,17 Bq/L d'après DDASS [2007-2010]. Elle est donc légèrement supérieure à la valeur indicative (0,1 Bq/L) et traduit avant tout la présence de radioéléments naturels légèrement en excès du fait du contexte géologique.

Dans le cas du tritium, d'après EdF [2007-2010] aucune valeur significative n'est relevée si on fait abstraction des mesures faites le 2 mars et le 14 avril 2009 ; l'absence de valeur significative se caractérise par un seuil de décision d'environ 7 Bq/L depuis 2009. Concernant les deux résultats positifs (env. 30 Bq/L), il est vraisemblable qu'une erreur d'analyse en soit la cause car les eaux de pluie collectées à la même époque ne témoignent pas de la présence de tritium alors qu'elles sont à l'origine du rechargement de cet aquifère. On peut souligner aussi que d'autres résultats aberrants sont notés ailleurs durant le 1^{er} trimestre 2009.

- ↪ **A l'avenir, toute valeur significative en tritium dans les eaux potables issues du captage de la vierge devrait motiver un examen de la situation.**

Dans le cas de l'indice bêta global, une activité volumique de 0,32 ± 0,08 Bq/L (moyenne ± 1 écart-type) caractérise assez bien les eaux d'après les valeurs significatives (55 au total) relevées par EdF [2007-2010]. De telles valeurs sont le reflet de la radioactivité naturelle véhiculée avec les eaux souterraines et ne témoignent nullement d'une anomalie.

- ↪ **A l'avenir, une valeur de 0,5 Bq/L pourrait constituer une référence d'interprétation pour l'indice bêta global des eaux potables issues du captage de la vierge.**

Tenant compte de la teneur en potassium-40 généralement observée, **l'activité bêta globale résiduelle** serait alors de 0,28 Bq/L (en moyenne). D'après ACRO/LSCE (2007), de l'actinium-227, un radionucléide naturel émetteur bêta, contribuerait pour une très faible proportion (de l'ordre de 3 mBq/L) et sa présence concernerait assez largement les eaux souterraines de la région puisqu'une teneur similaire est notée dans la nappe superficielle de Plouenez.

Tableau 5 : synthèse des résultats des contrôles (hors tritium) exercés par l'exploitant entre 2007 et 2010 - eaux du captage de la Vierge destinées à la consommation humaine.

	Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	moy ± 1Ec	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Captage de la Vierge	55 sur 69	0,32 ± 0,08	-	1,47 ± 0,37	0,04

7.2.2 Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986-1992]

7.2.2.1 Organisation des mesures

Durant la période de mise à l'arrêt, l'exploitant organise une surveillance des eaux du captage de la Vierge, laquelle consiste à déterminer, après filtration : l'indice bêta global, la teneur en potassium et celle du tritium. A cette époque, les matières en suspension font également l'objet d'une analyse (indice bêta global). A la suite de l'incident Sulzer (été 1988), la fréquence des prélèvements est devenue mensuelle ; auparavant elle était trimestrielle.

Source 1: recueil de l'exploitant « Résultats analyses 3H et Bêta total sur eaux souterraines de 1988 à 1991 incluant source de la Vierge »

Source 2: Etat récapitulatif mensuel des rejets et des mesures d'environnement ; feuille éditée par l'exploitant

7.2.2.2 Résultats et constats

Il ressort des contrôles effectués entre 1986 et 1992, soit durant la période de mise à l'arrêt du réacteur, que les eaux destinées à la consommation humaine n'ont pas été perturbées par les activités nucléaires menées sur le site, y compris lors de l'incident Sulzer. L'absence de valeur significative, systématiquement constatée pour cette période, se caractérise par une limite de détection comprise entre 35 et 50 Bq/L pour le tritium et strictement inférieure à 0,6 Bq/L pour l'indice bêta global sur eau filtrée.

Tableau 6 : synthèse des résultats des contrôles (hors tritium) exercés par l'exploitant entre déc. 1986 et déc. 1992 - eaux du captage de la Vierge destinées à la consommation humaine.

	Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	moy ± 1Ec	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Captage de la Vierge	0 sur 57	-	< 0,44	2,01 ± 0,32	0,06

7.2.3 Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur

Il n'a pas été possible de reconstruire la situation durant cette période faute de données.

8 La radioactivité des eaux souterraines circulant sous le site nucléaire

Observation(s) :

Sources :

Sauer E., Dubois M et Clavel. B (2007) Prolongation autorisation de rabattement de nappe BCI. Mise à jour étude d'impact sur l'environnement, site de Brennilis. Document EdF EL I ER/07 00341 A BPE, 68p.

Guérin R., Grimaud P (1997) Etude géologique et hydrogéologique du site des monts d'arée (phase préparatoire au démantèlement) Document CEA NT SESD/97-38, 142p.

L'aquifère situé sous le site est alimenté depuis sa partie Sud par infiltration des eaux de pluie mais aussi des eaux de la retenue du lac Saint-Michel. L'écoulement se fait globalement vers le nord en direction de l'ancien lit de l'Ellez comblé pour les besoins d'aménagement du site ; l'aquifère des alluvions de l'Ellez serait l'exhaure. Dans les environs de l'ancienne **station de traitement des effluents (STE)**, la direction est différente. Le toit de la nappe affleure le lit de l'Ellez. L'exhaure des eaux souterraines se fait également en surface au droit de la source de la STE (tarie ces dernières années du fait des pompages).

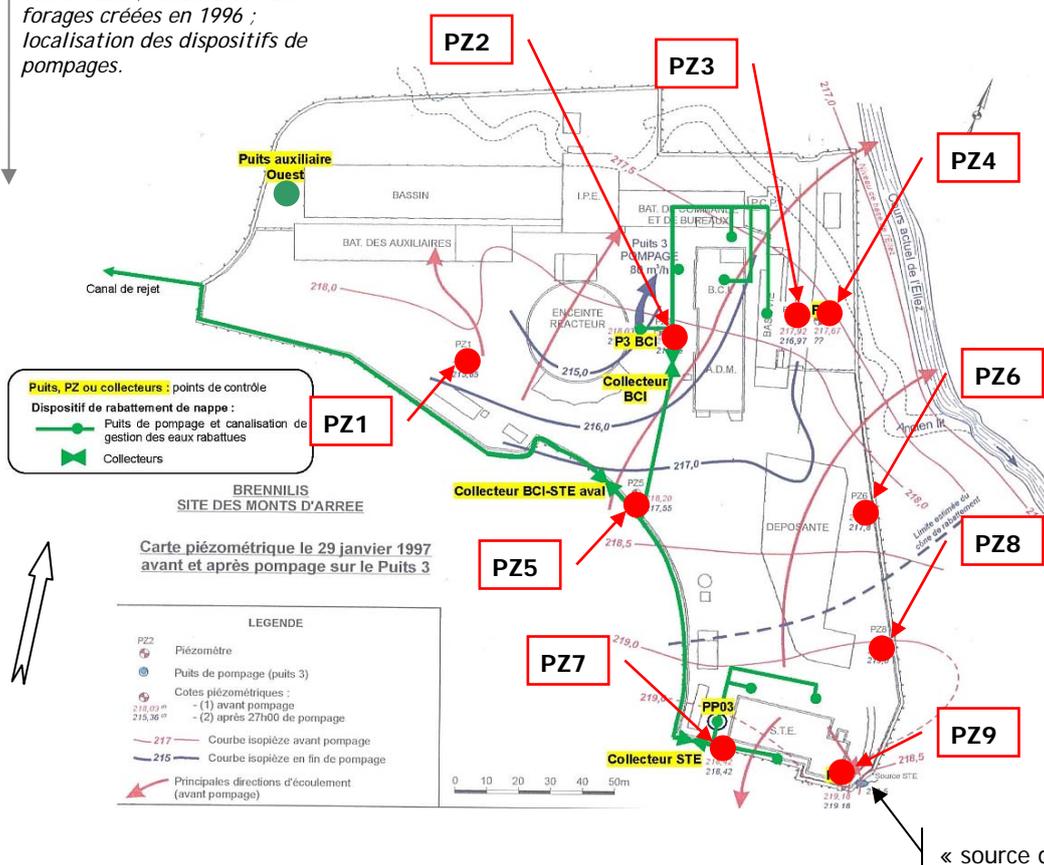
C'est au sein des alluvions et des granites plus ou moins fracturés et altérés que circulent essentiellement les eaux souterraines ; l'épaisseur de cet aquifère serait d'environ 15m jusqu'au granite « sain ». Les remblais apportés pour les besoins de la construction de la centrale constituent un niveau aquifère supplémentaire. En l'absence de pompage, le toit de la nappe sous le site est compris entre 217,5 et 219 m NGF.

Avec les travaux de démantèlement est apparu le besoin d'abaisser artificiellement le toit de la nappe situé sous le site. Deux zones de pompages ont été définies : l'une à proximité de la STE où 4 puits sont utilisés pour une capacité maximale de 110 m³/h ; l'autre à proximité du **bâtiment combustible irradié (BCI)** actuellement démolit, où 5 puits sont exploités pour une capacité maximale de 100 m³/h. En 2006, les volumes pompés ont été estimés à 290 000 m³ sous le BCI et 155 000 m³ sous la STE. A partir de janvier 2005 les eaux rabattues n'ont plus été rejetées vers l'Ellez via le réseau pluvial mais dans le lac Saint-Michel à l'aide de l'ancien canal d'aménée des eaux qui aboutit à proximité du restaurant.

Figure 8-a :
Site nucléaire des Monts d'Arée

Direction des écoulements souterrains ; localisation des forages créés en 1996 ; localisation des dispositifs de pompages.

Du temps de l'exploitation du réacteur et de sa mise à l'arrêt, des pompages ont pu être organisés comme à la suite de l'incident Sulzer. L'organisation des pompages était différente et les eaux étaient rejetées dans l'Ellez.



Dans le but de renseigner sur l'écoulement des eaux mais également sur leur qualité radiologique, de nombreux forages (piézomètres) ont été réalisés dès la construction de la centrale ; beaucoup sont toujours utilisables.

Plus récemment en 1996, neuf nouveaux forages ont été créés (Pz1 à 9). A cette occasion, plusieurs éléments radioactifs ont été recherchés dans les eaux. Le document CEA référencé [DCC/DESD/SESD/97-38](#) dresse le bilan ou référence avant que le début des opérations de démantèlement.

8.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

L'exploitant a toujours surveillé les niveaux de la radioactivité des eaux souterraines, rabattues ou non. Le format a évolué dans le temps selon les obligations réglementaires et les activités menées (exploitation versus démantèlement). Les paramètres mesurés régulièrement sont (ont été) le tritium (HTO) et l'indice bêta global. Parfois la teneur en potassium est (a été) déterminée pour connaître la contribution de son isotope radioactif à l'activité bêta global. Parfois, une analyse isotopique est (a été) entreprise pour apprécier la teneur en ^{137}Cs et en ^{60}Co (principalement). A partir des documents en notre possession, on retrouve trace de cette surveillance jusqu'en décembre 1979.

8.1.1 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

8.1.1.1 Organisation des mesures

Ces dernières années, l'exploitant organise d'abord une surveillance de la qualité radiologique des eaux souterraines pompées dans les environs du BCI et de la STE. L'indice bêta global et la teneur en tritium sont systématiquement déterminés chaque quinzaine depuis janvier 2009 ; auparavant ils l'étaient chaque mois. Les mesures portent sur l'eau filtrée.

Depuis 2009, les eaux souterraines provenant du puits dénommé « auxiliaire ouest » font l'objet d'une analyse chaque mois ; le tritium est dosé.

Source : Données disponibles dans les registres mensuelles EdF et communiqués au RNM pour l'année 2010.

8.1.1.2 Résultats et constats

Dans le cas du tritium, aucune valeur significative n'est relevée ces dernières années dans les eaux pompées dans les environs du BCI et de la STE si on fait abstraction des mesures faites le 9 mars et 14 avril 2009 ; l'absence de valeur significative se caractérise par un seuil de décision d'environ 7 Bq/L depuis 2009. Concernant les résultats positifs, ceux-ci suggèrent une anomalie dans l'analyse plutôt qu'un marquage ponctuel des eaux souterraines. En effet, il est invraisemblable lors d'un pompage forcé d'obtenir simultanément des valeurs semblables en deux endroits distants d'environ 150 à 200m compte-tenu de la nature même de l'aquifère et de ses modalités de recharge et d'écoulement.

➤ **A l'avenir, une valeur de 10 Bq/L pourrait constituer une référence d'interprétation pour le tritium dans les eaux souterraines pompées au voisinage du BCI et de la STE.**

Dans le cas de l'indice bêta global, l'activité volumique n'excède pas 0,52 Bq/L sur la période étudiée et il existe peu de différence entre les 2 pompages. Une activité volumique de $0,20 \pm 0,07$ Bq/L (moyenne ± 1 écart-type) caractérise assez bien les eaux d'après les valeurs significatives (155 au total) relevées par l'exploitant.

➤ **A l'avenir, dans les eaux souterraines pompées au voisinage du BCI et de la STE un indice bêta global supérieur à 0,5 Bq/L devrait conduire à examiner la situation.**

Observation(s) :

Activité bêta globale résiduelle
= Activité bêta globale mesurée
 $\times 27,9 \cdot 10^{-3} \times [K]$
avec $[K]$: concentration en
potassium total (en mg/L).

Tenant compte de la teneur en potassium-40 généralement observée, **l'activité bêta globale résiduelle** serait de 0,15 Bq/L (en moyenne) et cette radioactivité des eaux est avant tout d'origine naturelle.

Tableau 7 : synthèse des résultats des contrôles (hors tritium) exercés par l'exploitant entre 2007 et 2010 - eaux souterraines pompées dans les environs du BCI et de la STE.

	Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	moy $\pm 1\text{Ec}$	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Pompage BCI-ER	72 sur 125	$0,19 \pm 0,05$	-	$1,94 \pm 0,34$	0,05
Pompage STE	83 sur 116	$0,22 \pm 0,07$	-	$1,81 \pm 0,45$	0,05

8.1.2 Situation observée au moment du démarrage du démantèlement

8.1.2.1 Organisation du travail

Dans la perspective de démanteler le site nucléaire, une étude géologique et hydrogéologique a été entreprise sur la base de sondages réalisés en 1997 à l'aide de nouveaux forages identifiés Pz1 à Pz9. A cette occasion la contamination des eaux (par le tritium, le césium-137 et le cobalt-60) a été déterminée à différentes profondeurs. Le document CEA de 142 pages et référencé [DCC/DESD/SESD/97-38](#) dresse le bilan.

8.1.2.2 Résultats et constats

D'après les auteurs, les spectrométries gamma effectuées sur toutes les eaux échantillonnées montrent que pour la plupart des éléments recherchés (^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{235}U , ^{234}Th , ^{228}Ac et ^{241}Am) les valeurs mesurées dans l'aquifère du site ne présentent aucune anomalie. **Par contre, ils observent une situation différente dans le cas du tritium et principalement du ^{137}Cs .**

Dans le cas du ^{137}Cs , les eaux souterraines en contiennent jusqu'à 3,3 Bq/L à certains endroits, c'est-à-dire qu'elles présentent des teneurs beaucoup plus élevées que dans les aquifères communs où la concentration en ^{137}Cs est au plus de l'ordre de quelques millibecquerels (< 0,01 Bq/L). Au voisinage de la STE, le ^{137}Cs suit l'écoulement naturel des eaux. L'aquifère sous-jacent au bâtiment comporte jusqu'à 2,9 Bq/L et les eaux de la résurgence dite « source de la STE » sont également marquées (0,46 Bq/L). A l'est de l'enceinte réacteur, du ^{137}Cs est également mesuré jusqu'à 3,3 Bq/L et reste décelable à l'est du BCI (Pz4).

Dans le cas du tritium, l'activité volumique n'excède pas 10 Bq/L et la répartition géographique est différente de celle du ^{137}Cs puisqu'on en retrouve au voisinage de la « dépositante » (Pz 6 et 8) mais pas de la STE.

Les excès notés traduisent l'existence en 1997 de « poches de pollution » comme des remblais ou des bétons souillés du temps de l'exploitation du réacteur. Visiblement, plusieurs endroits sont concernés. Vraisemblablement, d'autres radionucléides artificiels coexistent au sein de ces poches mais leur forte affinité avec les particules fait qu'ils ne sont pas décelés dans les eaux souterraines.

8.1.3 Situation observée auparavant

Les documents disponibles ne permettent pas de reconstruire la situation avant décembre 1980.

Observation(s) :

Source 1: recueil de l'exploitant « Résultats analyses 3H et Bêta total sur eaux souterraines de 1988 à 1991 incluant source de la Vierge »

Source 2: Etat récapitulatif mensuel des rejets et des mesures d'environnement ; feuille éditée par l'exploitant

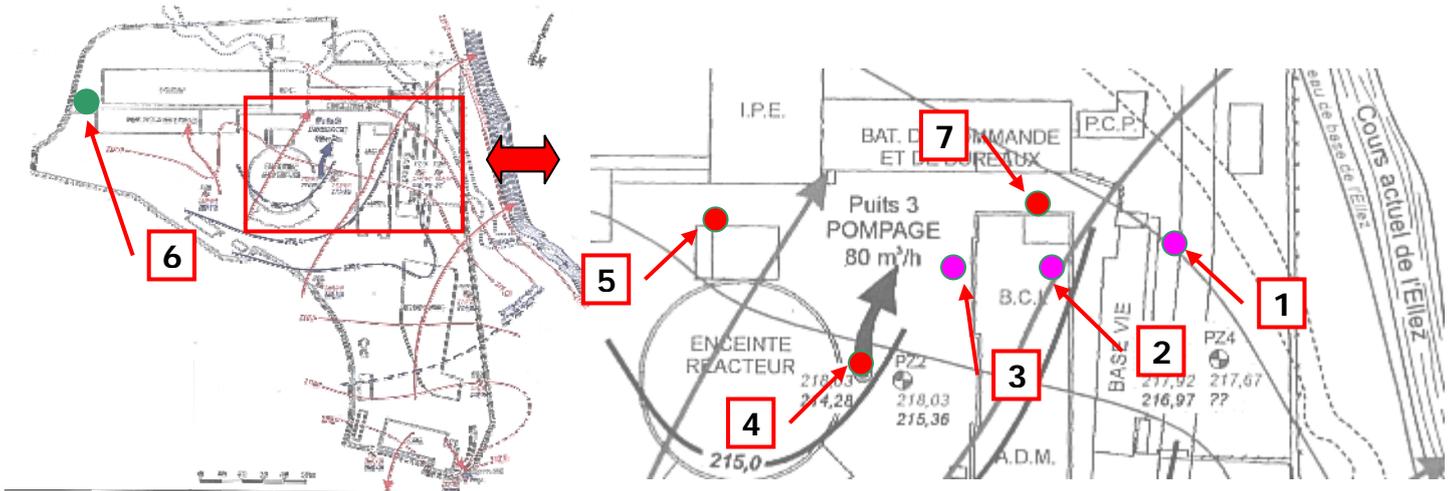
8.1.3.1 Organisation des mesures

Entre 1980 et 1992, la surveillance concerne les alentours de l'enceinte réacteur (ER) et du bâtiment combustible irradié (BCI) selon un format qui a évolué avec le temps. Jusqu'à 6 forages ont pu être exploités pour les besoins – le [Tableau 8](#) qui suit résume la situation ; la figure ci-après aide à la localisation.

Les paramètres radiologiques régulièrement mesurés sont le tritium (HTO) et l'indice bêta global à la fois dans les eaux filtrés et les matières en suspension. La teneur en potassium est systématiquement déterminée pour connaître la contribution de son isotope radioactif à l'activité bêta global. Parfois, une analyse isotopique est entreprise pour apprécier la teneur en ^{137}Cs et ^{60}Co (principalement).

Tableau 8 : Résumé des forages investigués entre 1980 et 1992 dans le cadre de la surveillance des eaux souterraines menée par l'exploitant du site nucléaire. (*) Contrôles supplémentaires (incident Sulzer)

	Est Enceinte (4)	Puits de pompage (1)	Régard sud (5)	BCI ouest (3)	BCI Est (2)	Auxillaire ouest (6)
1980		oui	oui	« BCI » (7)		
1981		oui	oui			
1982		oui	oui	oui	oui	
1983		oui	oui	oui	oui	
1984		oui	oui	oui	oui	
1985		oui	oui	oui	oui	
1985		oui	oui	oui	oui	
1986		oui	oui	< sept	oui	
1987					oui	
1988	> octobre	*	*	*	oui	> octobre
1989	oui	*	*	*	oui	oui
1990	oui	*	*	*	oui	oui
1991	oui	*	*	*	oui	< juillet
1992	oui				oui	



8.1.3.2 Bilan pour l'indice bêta global des eaux souterraines

Entre 1980 et 1992, c'est au voisinage du bâtiment combustible irradié (BCI) que les contrôles radiologiques sont susceptibles de témoigner de la circulation de radioactivité artificielle (autre que le tritium) avec les eaux souterraines.

Dans les eaux du forage BCI-Ouest, dont l'objectif était d'assurer la surveillance des fissures ouest du bassin de stockage des combustibles usés, l'indice bêta global est élevé par rapport à ce qui est habituellement mesuré dans les eaux souterraines du site à cette époque ($0,25 \pm 0,08$ Bq/L), particulièrement durant la période 82-83 (Figure 8-b).

Un relâchement de radionucléides artificiels depuis le bassin constitue l'hypothèse la plus vraisemblable. Visiblement, ses conséquences sur la qualité des eaux souterraines n'auraient pas excédé quelques Bq/L et se sont estompées au fil des opérations de mise à l'arrêt du réacteur (Figure 8-c) puisqu'au début des années 90 les résultats des contrôles sont non significatifs.

Figure 8-b :

Indice bêta global des eaux souterraines collectées dans le forage « BCI-OUEST »
Période : [jan. 82 - déc. 86]

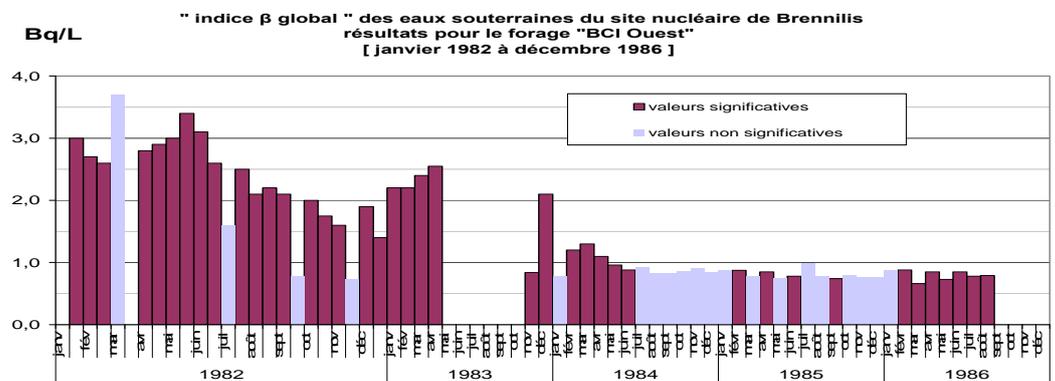
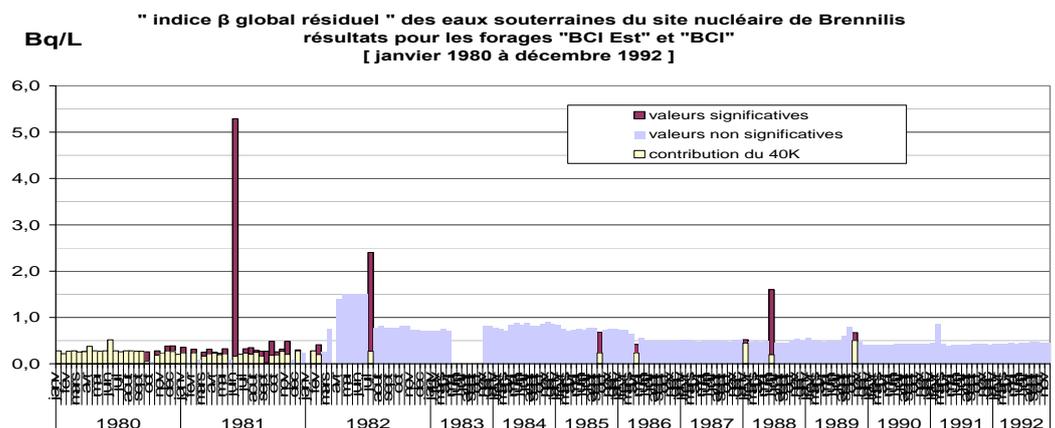


Figure 8-c :

Indice bêta global des eaux souterraines collectées dans les forages « BCI » et « BCI-EST »
Période : [jan. 80 - déc. 92]



8.1.3.3 Bilan pour le tritium des eaux souterraines

Il est d'abord utile de rappeler que le tritium hérite des propriétés de l'hydrogène et diffuse donc pour une infime fraction à travers les matériaux (avec le temps) sans pour autant que ceux-ci soient fissurés ou altérés. Ce phénomène connu est manifeste lorsque l'activité spécifique (« concentration ») est élevée comme par exemple dans le cas de l'eau lourde après qu'elle ait séjourné dans la cuve « nucléaire ».

Synthétiquement, les eaux souterraines sont contaminées jusqu'en 1991 par du tritium provenant des activités nucléaires du site. Présent sous forme libre HTO (eau tritiée), le tritium suit le cheminement des eaux. En conséquence, il provient à la fois des entreposages pratiqués au sein du bâtiment des combustibles irradiés (BCI) et des activités menées dans l'enceinte réacteur (ER) et/ou dans les bâtiments attenants comme le local Sulzer.

La **Figure 8-d** (ci-dessous) dresse un panorama de cette contamination entre 1980 et 1992, en « aval » des contributions du BCI et de l'enceinte réacteur (pour partie). On y constate une pollution chronique des eaux souterraines durant la période d'exploitation du réacteur, laquelle est plus importante durant la fin d'exploitation, soit d'août 1984 à août 1985, avec environ 900 Bq/L. La comparaison avec la situation radiologique observée au nord de l'enceinte au cours de la même année suggère que l'entreposage de combustibles dans le BCI en est à l'origine. Après quoi, la tendance est à la baisse et le tritium n'est plus décelable à partir de 1992, soit à la fin des opérations de mises à l'arrêt (MAD) et de cessation d'activité. Durant cette dernière période, une rupture du profil est momentanément observée au cours du second semestre 1988 et correspond à l'incident survenu dans le local dénommé SULZER. La faible persistance du tritium relâché lors de cet incident s'explique par un recours intensif au pompage des eaux.

L'Ellez qui constitue l'exhaure de l'aquifère a pu être influencé par cette pollution chronique.

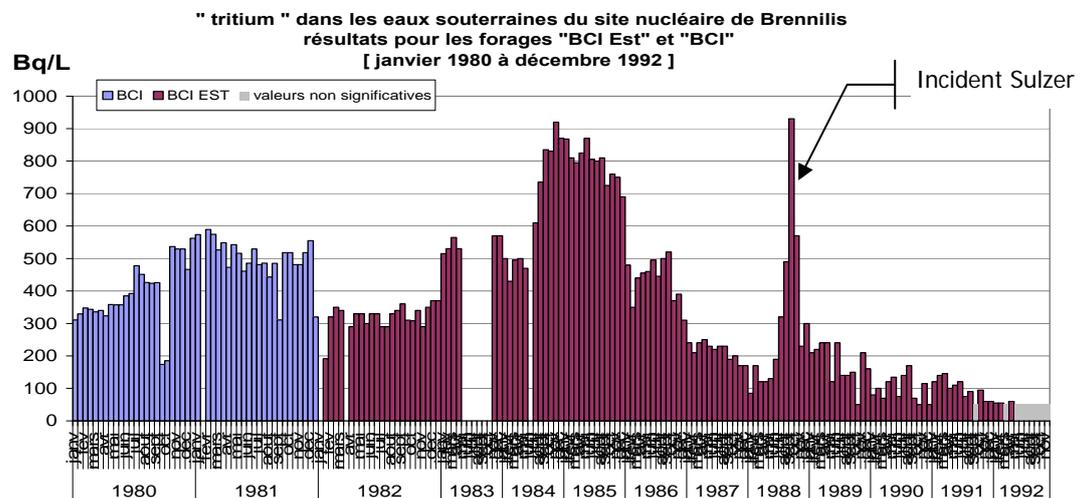


Figure 8-d : activité volumique (en Bq/L) du tritium dans les eaux souterraines collectées dans les forages « BCI » et « BCI-EST », entre janvier 1980 et décembre 1992.

L'incident Sulzer et ses conséquences

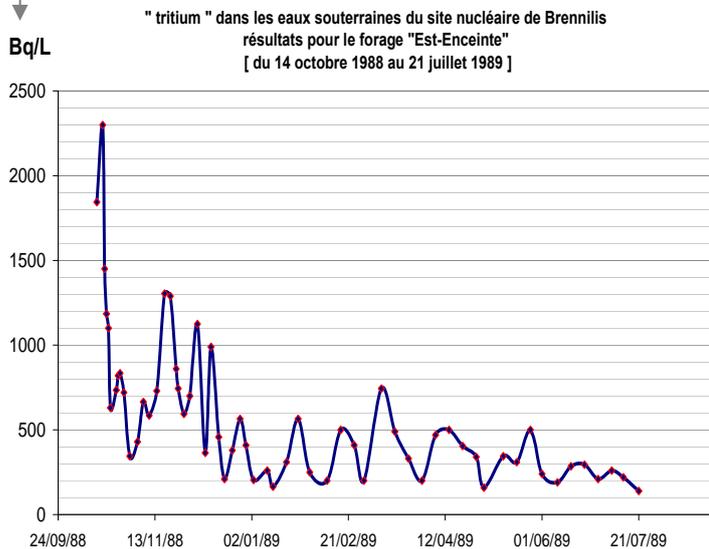
L'incident Sulzer, du nom du local où s'est produit l'évènement, est survenu sur le site nucléaire des Monts d'Arrée durant l'été 1988. Dans ce local attenant à l'enceinte réacteur, l'eau lourde (D₂O) était reconcentrée du temps de l'exploitation du réacteur. Utilisée comme modérateur des réactions nucléaires, l'eau lourde contenait une grande quantité de tritium après avoir été injectée dans la cuve.

D'après les écrits de l'époque, l'exploitant aurait suspecté qu'un incident était survenu dans ce local en raison d'une augmentation (à partir de juillet 1988) des teneurs en tritium des eaux souterraines du site. Par la suite, diverses opérations ont été entreprises pour juguler la pollution

et en mesurer les conséquences. A distance, les contrôles entrepris à la source de la Vierge montrent qu'elle n'a pas été perturbée.

Figure 8-e : Effet des pompages sur le niveau de pollution par le tritium des eaux souterraines collectées au forage « EST-ENCEINTE »
Période : [14/10/88 -21/07/89]

Il est impossible de décrire ce qui s'est passé et de fournir un ordre de grandeur de la quantité de tritium libérée dans le local en rapport avec cet incident ; les écrits de l'époque disponibles n'en font pas état. Néanmoins, on observe que du tritium relâché dans le local a migré à travers les parois en béton et rejoint l'aquifère. Du fait de la direction des écoulements souterrains, la contamination s'est propagée dans le quart nord-est par rapport à l'enceinte réacteur.



Pour limiter l'intensité et la persistance de la contamination de la nappe, des pompages ont été entrepris à plusieurs reprises durant plus de 6 mois, à partir du 18 octobre 1988 ; le forage dénommé Est-Enceinte qui s'apparente à un puits d'un diamètre de 68 cm a été utilisé dans ce but.

Les premières opérations qui se sont déroulées du 18 au 28 octobre 1988, ont permis de soulager la nappe d'environ 12 000 MBq de tritium, lesquels ont été rejetés dans l'Ellez avec les 13 000 m³ d'eau qui les accompagnait. Pour comparaison, les rejets d'effluents liquides tritiés (maîtrisés) de l'année 1988 s'élevaient à 59 000 MBq dont 55 000 pour janvier.

Les quantités de tritium déversées ainsi n'ont pas été comptabilisées dans les registres mensuels et il est donc impossible de dresser un bilan.

A priori, aucun radionucléide bêta-gamma comme le césium-137 ou le cobalt-60 n'aurait contribué à cette pollution.

9 La radioactivité des eaux de surface

Observation(s) :

Sources :

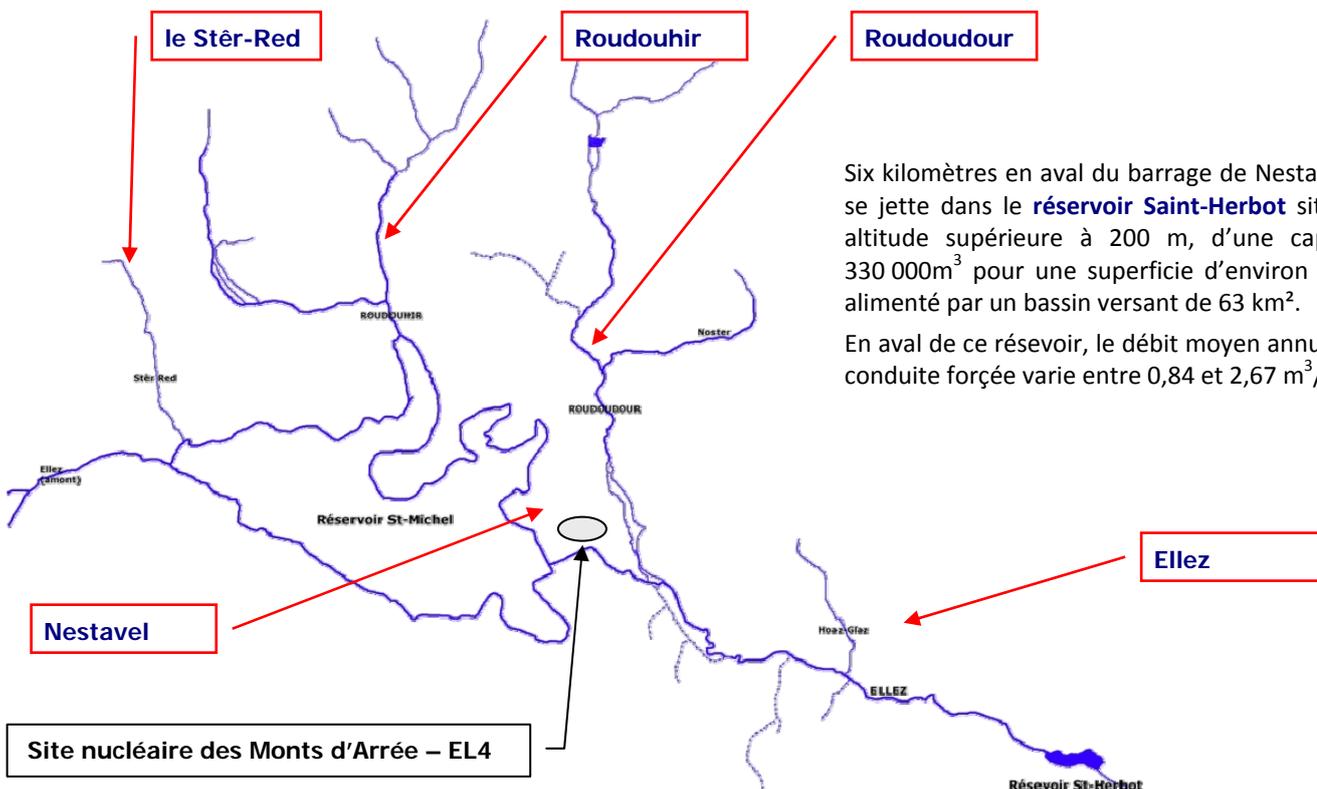
Source d'information : SHEMA - octobre 2000 ; analyse des données pour la période 1970 - 1995.

La rivière **Ellez** prend sa source dans la partie sud-est des Monts d'Arrée, à une altitude de 300 m. Elle débouche très vite dans le lac Saint-Michel après seulement 3 km, où elle y est rejointe par deux affluents dont les eaux sont relativement acides (pH compris entre 5,1 et 6,1) : **le Stêr-Red** (issu du lieu-dit « Balanec-Ber ») et le Rau de **Roudouhir** dont le chevelu supérieur se développe sur le versant septentrional.

Mis en eau en 1937, le **réservoir (ou lac) Saint-Michel** a une capacité de 13,3 millions de m³ et son bassin versant s'étend sur 33 km². Les eaux de rabattement de la nappe phréatique située à l'aplomb du site nucléaire des Monts d'Arrée y sont également rejetées depuis 2005, à proximité du barrage, au lieu dit Belvédère. Le pourtour du réservoir est constitué de tourbières, particulièrement dans sa partie ouest. Mais à proximité du barrage de Nestavel, la texture sédimentaire devient grossière et rappelle le sable.

En aval du **barrage de Nestavel** qui assure la retenue des eaux du réservoir Saint-Michel, le débit moyen annuel varie entre 0,45 et 1,53 m³/s ; en période d'étiage, le débit moyen mensuel est voisin de 0,1 m³/s. A partir du pied de barrage, le lit de l'Ellez s'apparente à un canal en béton sur une longueur de 600m environ ; le lit naturel a été dévié. Les eaux pluviales des aires aménagées attenantes, notamment du site nucléaire des Monts d'Arrée, y sont déversées. Dès lors l'Ellez retrouve son lit naturel et on observe, rive droite, l'ancien chenal de rejets des effluents liquides radioactifs de la centrale.

Après quoi, l'Ellez reçoit en rive gauche l'affluence du Rau de **Roudoudour** et entre alors dans un vallon très peu pentu (pente moyenne inférieure à 1 ‰) où le lit majeur relativement large et facilement inondable présente de fréquents faciès marécageux. Par la suite, le cours de l'Ellez, est entrecoupé de plusieurs chaussées de moulins, conserve une pente assez forte (environ 2 ‰) et se trouve renforcé par les apports de plusieurs petits ruisseaux comme l'Hoaz-Glaz.



Six kilomètres en aval du barrage de Nestavel, l'Ellez se jette dans le **réservoir Saint-Herbot** situé à une altitude supérieure à 200 m, d'une capacité de 330 000m³ pour une superficie d'environ 8,5 ha, et alimenté par un bassin versant de 63 km².

En aval de ce réservoir, le débit moyen annuel dans la conduite forcée varie entre 0,84 et 2,67 m³/s.

9.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

L'exploitant a toujours surveillé les niveaux de la radioactivité des eaux de la rivière Ellez (milieu récepteur), entre le lac saint-Michel et le réservoir Saint-Herbot. Le format a évolué dans le temps selon les obligations réglementaires et les activités menées (exploitation versus démantèlement). Les paramètres mesurés régulièrement sont (ont été) le tritium (HTO) et l'indice bêta global. Parfois la teneur en potassium est (a été) déterminée pour connaître la contribution de son isotope radioactif à l'activité bêta global. A partir des documents en notre possession, on retrouve trace de cette surveillance jusqu'en janvier 1973 pour l'indice bêta global et jusqu'en décembre 1979 pour le tritium.

9.1.1 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

9.1.1.1 Organisation des mesures

Observation(s) :

Depuis de nombreuses années, l'exploitant organise un suivi de la qualité radiologique des eaux de surface en aval de l'installation, à la fois dans le cours d'eau (à proprement parlé) et dans le réservoir Saint-Herbot. Des échantillons d'eau sont prélevés tous les 15 jours.

Source :

En rapport avec le rabattement de la nappe dans le lac saint-Michel, les eaux du milieu récepteur font également l'objet d'analyses radiologiques tous les mois. Des résultats sont disponibles depuis janvier 2008.

L'indice bêta global et la teneur en tritium sont systématiquement déterminés sur l'eau préalablement filtrée. Jusqu'en décembre 2008, les matières en suspension faisaient également l'objet d'une analyse bêta global.

9.1.1.2 Résultats et constats

Synthétiquement les contrôles effectués ces dernières années ne mettent pas en évidence d'anomalie en aval - ni en amont - de l'installation. L'absence d'autorisation de rejets d'effluents liquides, donc de rejets radioactifs dans l'Ellez, contribue à préserver les eaux. C'est pourquoi la situation radiologique n'est pas différente de celle observée ailleurs.

Dans le cas du tritium, aucune valeur significative n'est relevée dans les eaux de surface si on fait abstraction du contrôle réalisé le 2 février 2009 dans l'Ellez (34 Bq/L) ; l'absence de valeur significative se caractérise par un seuil de décision d'environ 7 Bq/L depuis 2009.

↳ **A l'avenir, toute valeur significative pourrait constituer une référence d'interprétation pour le tritium des eaux de surface le long de l'Ellez.**

Dans le cas de l'indice bêta global, très peu de valeurs significatives sont observées. Lorsque c'est le cas, l'activité volumique est voisine de 0,18 Bq/L. Tenant compte de la teneur en potassium-40 généralement observée (0,02 à 0,03 Bq/L), l'**activité bêta globale résiduelle** serait d'environ 0,15 Bq/L, soit exactement la même que celle mesurée dans les eaux souterraines du site, et cette radioactivité des eaux est avant tout d'origine naturelle.

↳ **A l'avenir, une valeur de 0,5 Bq/L pourrait constituer une référence d'interprétation pour l'indice bêta global des eaux de surface le long de l'Ellez.**

Tableau 9 : synthèse des résultats des contrôles (hors tritium) exercés par l'exploitant entre 2007 et 2010 - eaux de surface entre le lac Saint-Michel et le réservoir Saint-Herbot.

	Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	moyenne	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Ellez (cours d'eau)	7 sur 91	0,18	< 0,37	1,0 ± 0,3	0,03
Saint-Herbot	10 sur 91	0,18	< 0,37	1,0 ± 0,3	0,03
Saint-Michel	6 sur 36	0,17	< 0,37	0,74 ± 0,23	0,02

Observation(s) :

Source :

9.1.2 Situation observée durant la mise à l'arrêt [1986-1992]

9.1.2.1 Organisation des mesures

Durant cette période, l'exploitant organise un suivi de la qualité radiologique des eaux de surface en aval de l'installation, à la fois dans le cours d'eau (à proprement parlé) et dans le réservoir Saint-Herbot. Des échantillons d'eau sont prélevés tous les 15 jours. Néanmoins, les prélèvements sont plus réguliers dans l'Ellez à partir d'octobre 1992.

Avec l'arrêt du réacteur, les eaux du lac ne sont plus utilisées pour les besoins d'alimentation de la 3^{ème} boucle de refroidissement, qui était une boucle ouverte. En conséquence, il n'y a plus de risque de transfert de radionucléides en direction du lac et c'est probablement la raison pour laquelle aucun contrôle n'est réalisé dans le lac Saint-Michel durant cette période.

L'indice bêta global est déterminé à la fois sur l'eau filtrée et dans les matières en suspension. Ces analyses s'accompagnent d'un dosage systématique de la teneur en tritium (HTO) et du potassium.

9.1.2.2 Résultats et constats

Les documents disponibles ne permettent pas renseigner la situation entre janvier et août 1986.

Synthétiquement, seul du tritium est parfois décelé dans les eaux de surface à l'époque où les rejets sont les plus importants, soit durant les années 86 et 87 ; voir **Tableau 10**. Les modalités de rejets limitent la teneur en radioactivité artificielle des eaux et la persistance dans le réservoir Saint-Herbot est faible compte-tenu du taux de renouvellement des eaux.

Les conséquences de l'incident Sulzer, comme les dépôts radioactifs consécutifs aux rejets gazeux de la centrale ou à l'accident nucléaire de Tchernobyl ne sont pas perceptibles.

Dans le cours d'eau (à proprement parlé) le contrôle renseigne sur les répercussions en un lieu donné des quantités déversées au même moment ; **il n'y a pas de rémanence**. Durant la mise à l'arrêt, comme du temps de l'exploitation, le rejet ne s'effectue pas en continu. Généralement un seul rejet d'une durée de 5 à 12h est pratiqué dans la journée et moins de 10 jours par mois sont concernés. C'est pourquoi il n'est pas surprenant que les contrôles effectués tous les 15 jours dans le cours d'eau témoignent très rarement de la présence de tritium, y compris durant les mois où les quantités déversées sont importantes.

Pour appréhender quelle a pu être la concentration maximale en tritium des eaux de l'Ellez durant les séquences de rejets, il est finalement indispensable d'examiner les *états mensuels des effluents radioactifs rejetés*. Leur analyse permet de constater que l'exploitant s'est arrogé des dispositions pour faire en sorte que la teneur en tritium des eaux ne dépasse pas 1500 Bq/L après dilution par les eaux apportées par le lac Saint-Michel. Néanmoins la situation a pu être très différente au voisinage de l'ancien chenal de rejets, le mélange au sein du milieu récepteur n'étant jamais parfait près des émissaires de rejets.

Dans le réservoir Saint-Herbot, d'une contenance de 300 000 m³, la masse d'eau joue un rôle tampon majeur qui, conjugué aux apports d'eau « claire » entre 2 rejets, fait que la teneur en tritium des eaux n'excède jamais la limite de détection (40 – 50 Bq/L) sauf en septembre-octobre 1987. Le 1^{er} octobre 1987, 770 Bq/L de tritium sont mesurés dans les 300 000 m³ d'eau. Pour expliquer cette valeur, il faut savoir qu'environ 120 000 MBq ont été déversés chaque jour dans l'Ellez à partir du 15 septembre. C'est donc 50% de la quantité de tritium rejetée dans l'année qui l'a été en 15 jours, en sachant que les rejets de l'année 1987 sont de loin les plus importants.

Tableau 10 : synthèse des résultats des contrôles exercés par l'exploitant dans l'Ellez - en aval de l'installation - et dans le réservoir Saint-Herbot, entre le 1^{er} septembre 1986 et le 31 décembre 1992.

	Tritium (Bq/L)		Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	Max	nb valeurs significatives	moyenne	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Ellez (cours d'eau)	4 sur 189	840	0 sur 189	-	< 0,45	1,3 ± 0,5	0,04
Saint-Herbot	4 sur 152	770	0 sur 152	-	< 0,45	1,3 ± 0,4	0,04

9.1.3 Situation observée durant les dernières années de fonctionnement du réacteur

AVERTISSEMENT : les documents disponibles ne permettent pas de renseigner la situation hormis pour les années 80 à 82. La restitution est donc limitée et n'est probablement pas représentative des autres périodes [76-79] et [83-85].

9.1.3.1 Organisation des mesures

Durant les dix dernières années de fonctionnement du réacteur, l'exploitant organise un suivi de la qualité radiologique des eaux de surface à la fois en amont de l'installation dans le lac Saint-Michel, et à la fois en aval dans le cours d'eau (à proprement parlé) et dans le réservoir Saint-Herbot. L'utilisation du lac Saint-Michel pour les besoins de refroidissement du réacteur (3^{ème} boucle) motive très probablement sa surveillance. Des échantillons d'eau sont prélevés tous les 15 jours sauf dans le cas du lac Saint-Michel où la collecte est mensuelle.

L'indice bêta global est déterminé à la fois sur l'eau filtrée et dans les matières en suspension. Ces analyses s'accompagnent d'un dosage systématique de la teneur en tritium (HTO) et du potassium.

9.1.3.2 Résultats et constats

Synthétiquement, seul du tritium est décelé dans les eaux de surface durant – ces trois années d'exploitation – si on fait abstraction de la pollution des eaux du réservoir Saint-Herbot en octobre 1980 (et discutée plus loin). Il est assez fréquemment observé dans l'Ellez en aval de l'installation, mais est aussi noté parfois en amont dans le lac Saint-Michel à des teneurs légèrement significatives (de l'ordre d'une trentaine de Bq/L). Dans tous les cas, le tritium provient presque exclusivement du réacteur et non des retombées des derniers essais nucléaires atmosphériques chinois, ni d'une rémanence de ceux réalisés auparavant. Cette conclusion est motivée par le fait que les événements cités n'entraînent pas plus de 9 Bq/L dans les eaux de pluie au début des années 80 d'après les données communiquées par l'AIEA au sein du Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) – voir le ch. 5.1.2.4.

En aval **dans le cours d'eau** à proprement parlé, le calendrier des résultats « positifs » coïncide globalement avec celui des rejets d'effluents liquides. Lors des contrôles, la teneur en tritium des eaux n'excède pas 500 Bq/L.

Dans le réservoir Saint-Herbot la teneur en tritium des eaux n'excède pas 270 Bq/L lors des contrôles. Parfois, on note de manière inattendue une certaine persistance du tritium, notamment en regard de ce qui est observé durant la période de mise à l'arrêt (voir 9.1.2). Cette situation suggère qu'il existe d'autres apports que ceux pratiqués par le site et/ou mentionnés dans les registres. Avec des rejets de tritium dans l'atmosphère de plus 10 000 000 MBq (10 TBq) certains mois, on ne peut écarter que les dépôts au sol aient pu augmenter la teneur en tritium des eaux du réservoir Saint-Herbot selon les précipitations du moment, ce dernier étant alimenté en partie par un chevelu hydrographique situés sous les vents de la centrale. Néanmoins, il faut observer que des rejets non maîtrisés ont pu exister comme en témoigne la situation radiologique d'octobre 1980 (voir plus loin).

Observation(s) :

En septembre 1982 par exemple, le rejet de 27 d'une activité de 38 665 MBq induirait environ 200 Bq/L dans le réservoir 90h plus tard (soit le 1er octobre au moment du prélèvement) alors qu'en théorie la teneur en tritium des eaux ne devrait pas dépasser 10 Bq/L avec le débit de la rivière du moment (2m³/s).

Tableau 11 : synthèse des résultats des contrôles exercés par l'exploitant dans les eaux de surface à la fois en amont et aval de l'installation, entre le 1^{er} janvier 1980 et le 31 décembre 1982.

	Tritium (Bq/L)		Indice bêta global (Bq/L)			Potassium	
	nb valeurs significatives	Max	nb valeurs significatives	moyenne	Valeur de référence	mg/L	40K (Bq/L)
Saint-Michel	7 sur 35	44	25 sur 36	0,12 ± 0,07	-	-	0,023 ± 0,007
Ellez (cours d'eau)	27 sur 71	518	37 sur 71	0,13 ± 0,08	-	-	0,031 ± 0,011
Saint-Herbot	30 sur 71	270	37 sur 71	0,13 ± 0,08 (*)	-	-	0,033 ± 0,012

(*) nota : il n'est pas tenu compte des fortes valeurs observées en octobre 1980 et discutées par la suite.

Pollution bêta constatée dans Saint-Herbot, de 1980 à 1981

Dans un bilan des connaissances sur la radioactivité de l'environnement du site de Brennilis, [Baudin-Jaulent Y. *et al*, 1991] évoque une forte activité bêta en octobre 1980 dans les eaux du réservoir Saint-Herbot (12,6 Bq/L).

Pour les auteurs, un rejet intempestif en ^{137}Cs en serait à l'origine et une quantité déversée de l'ordre de 6 000 MBq est avancée **mais elle n'est pas démontrée**. En comparaison de ce qui a été rejeté annuellement de façon maîtrisée entre 1974 et 1992, l'année 1980 se détache nettement du fait de ce déversement. Cette contamination des eaux du réservoir (300 000 m³) a persisté visiblement de 15 à 30 jours, le temps que les apports naturels concourent à un renouvellement suffisant (dilution) pour rendre « indécélable » la pollution dans l'eau.

Une fraction a été transférée aux sédiments qui devraient en conserver la « mémoire », et à la faune et flore aquatique. Du reste les auteurs de l'étude avancent que « ceci expliquerait l'augmentation des concentrations des sédiments, des végétaux et des poissons en 1984 [...], soit encore 4 ans après. A contrario, il est peu probable qu'une partie ait été transférée aux sols de culture par le biais de l'irrigation en raison de la période (saison) à laquelle s'est produit l'évènement.

Comme en atteste la figure ci-dessous, seul l'évènement évoqué est à l'origine d'une élévation de la radioactivité artificielle (bêta hors tritium) des eaux durant la période étudiée ; les autres mois les niveaux mesurés sont d'abord le reflet de la radioactivité naturelle.

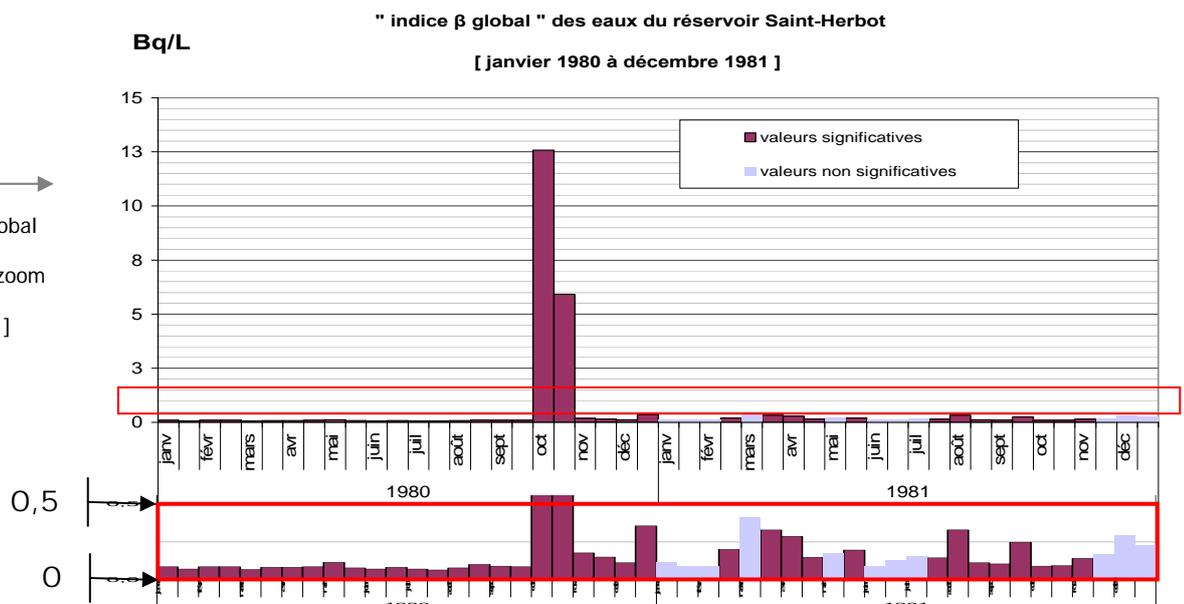


Figure 9-a : Indice bêta global mesuré dans les eaux du réservoir Saint-Herbot et zoom

Période : [jan. 80 - déc. 81]

9.2 Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)

Avec la réalisation d'études en radioécologie, des mesures ont été entreprises sur les végétaux aquatiques dans le but de connaître les radionucléides, notamment artificiels, présents dans les eaux de surface aux endroits étudiés. Les premiers résultats datent de 1979. Toutefois, l'essentiel des résultats se rapportent aux années 2000.

Parmi tous les végétaux aquatiques, les mousses aquatiques sont réputées pour leur capacité de concentration des éléments traces présents dans l'eau. Leur analyse répétée renseigne assez bien sur la composition des radionucléides en circulation avec les eaux et sur l'évolution de leur concentration dans le temps, sous réserve que ceux-ci aient un minimum d'affinité avec les constituants du milieu. L'effet de mémoire (ou rémanence) est faible comparativement aux sédiments.

9.2.1 Bilan qualitatif pour l'eau à partir des analyses faites sur les végétaux aquatiques

9.2.1.1 Organisation des travaux et localisation des lieux étudiés

En 1979 et 1984, [IPSN, 1992] les niveaux de la radioactivité ont été examinés principalement dans des végétaux aquatiques mais un seul échantillon est exploitable.

En 1993, Baudin-Jaulent [IRSN, 1994] s'est intéressé principalement aux végétaux aquatiques en amont de la centrale, dans le lac Saint-Michel, et en aval dans l'Ellez à deux endroits. Des informations sont disponibles pour les éléments usuels mesurés par spectrométrie gamma, pour le strontium-90 et le tritium organiquement lié. Dans le cas du carbone-14, tous les résultats sont erronés.

De 2001 à 2007, les auteurs [ACRO, 2003] [ACRO/LSCÉ, 2007 et 2009] ont précisé les niveaux de la radioactivité chez les mousses aquatiques en plusieurs endroits (notamment vers Huelgoat) et à différents moments dans l'Ellez en aval de la centrale. Des informations sont disponibles pour les éléments usuels mesurés par spectrométrie gamma, notamment pour les descendants de l'uranium-235.

Observation(s) :

En 2002, Descamps [IRSN, 2003] s'est intéressé aux végétaux aquatiques et aux mousses aquatiques en amont de la centrale, dans le lac Saint-Michel et le Roudouhir, et en aval dans l'Ellez à deux endroits. Des informations sont disponibles pour le tritium organiquement lié (OBT), le carbone-14, le strontium-90, le nickel-63 et pour les éléments usuels mesurés par spectrométrie gamma.

Source :

En 2008, Antonelli [IRSN, 2010] a précisé la teneur en tritium organiquement lié (OBT) des renoncules à la fois dans le lac Saint-Michel et dans l'Ellez en aval de la centrale (à deux endroits).

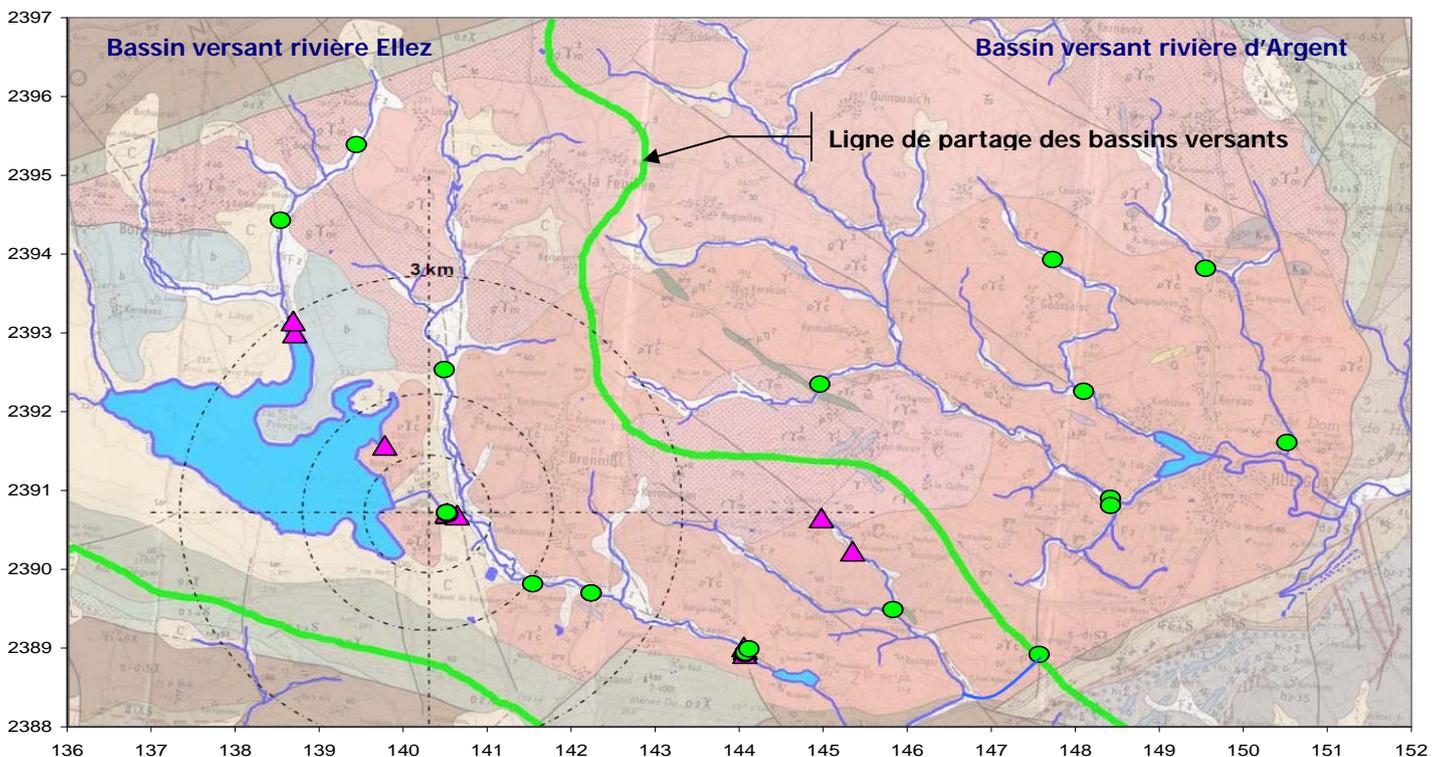


Figure 9-b : localisation des endroits où des végétaux aquatiques (triangles) et mousses aquatiques (ronds) ont été collectés entre 1979 et 2008 pour connaître leur composition en divers radionucléides, notamment artificiels.

9.2.1.2 Composante (bruit de fond) des eaux en césium-137 et strontium-90

Comme évoqué précédemment, les sols de la région ont été très concernés par les retombées des essais nucléaires atmosphériques et, comme ailleurs, il est admis qu'une fraction du césium-137 et du strontium-90 qu'ils contiennent est continuellement exportée vers les eaux de surface. Dans le cas du bassin versant de l'Ellez, cet apport régulier a du reste été confirmé par ACRO/LSCÉ (2007) pour le ^{137}Cs à l'aide de mousses aquatiques exogènes du genre des Fontinales implantées dans l'Ellez à la fois en amont et juste en aval du lac Saint-Michel. Après 37 jours de stabulation, les auteurs ont mesurés **environ 6 Bq/kg sec de ^{137}Cs** dans les échantillons, ce qui correspond à une teneur dans l'eau de l'ordre du millibecquerel par litre en tenant compte du facteur de concentration usuel.

Indépendamment des contributions passées et contemporaines du site nucléaire, les eaux de surface dans les Monts d'Arrée présentent donc une composante en ^{137}Cs et ^{90}Sr , laquelle est encore observée de nos jours dans les végétaux aquatiques, mais également dans les poissons, et dont on doit tenir compte. Elle trouve ses origines dans les tirs et tend à diminuer avec le temps. L'analyse des eaux, notamment dans l'Ellez à la fois en amont et juste en aval du lac Saint-Michel, permettrait de mieux la connaître.

9.2.1.3 Composante (bruit de fond) des eaux en actinium-227 (et descendants)

Comme évoqué dans le chapitre 13, il existe une circulation accrue d'actinium-227 dans les eaux qui trouve son origine dans le contexte géo-chimique assez particulier des Monts d'Arrée.

Ce phénomène n'est pas localisé et s'étend sur une vaste étendue d'au moins 50 km², depuis le voisinage de la centrale jusqu'à Huelgoat. Il s'exprime visiblement en rapport avec le granite d'Huelgoat du genre porphyroïde à cordiérite.

En aval du barrage de Nestavel (lac Saint-Michel), les eaux de l'Ellez vont contenir plus ou moins d'actinium-227 (selon les moments de l'année) en raison des apports que représentent les résurgences localisées dans les environs du hameau de Forc'han. Ces apports sont indépendants des contributions passées et contemporaines du site nucléaire.

Lorsque de l'actinium circule avec les eaux de surface, une fraction est transférée aux constituants du milieu comme les sols, sédiments/berges et végétaux notamment aquatiques. Dès lors, un net excès en actinium-227 (et descendants) peut être observé comparativement à ce qu'il en est pour les ascendants directs (^{235}U et ^{231}Pa). Du radium-223 (un produit de filiation de l'actinium-227) devrait également circuler avec les eaux comme le suggèrent les résultats pour les mousses aquatiques dans lesquelles l'excès est plus souvent manifeste avec cet isotope en raison de l'affinité des mousses pour le radium.

On doit donc tenir compte de cette composante naturelle des eaux en actinium-227 (et descendants) qui s'observe assez clairement dans les mousses aquatiques comme en atteste les résultats rapportés dans le **Tableau 23**. Cette composante s'ajoute à celle due aux éléments de la famille de l'uranium-238 (comme le ^{226}Ra ou le ^{210}Pb) et qui est, du reste, assez forte comparativement à ce qu'il en est ailleurs. En réaction, on pourrait préciser la teneur en radium et actinium des eaux de surfaces et de puits, mais également examiner les transferts à la chaîne alimentaire de l'actinium-227 du fait du caractère exceptionnel de la situation constatée dans les Monts d'Arrée.

9.2.1.4 Composante des eaux due aux activités nucléaires (aspect qualitatif)

Hormis dans l'Ellez en aval de l'installation, ailleurs les végétaux et mousses aquatiques ne témoignent pas de la circulation dans les eaux de radionucléides artificiels caractéristiques du site nucléaire de Brennilis.

En aval de l'installation nucléaire, le marquage des végétaux et mousses aquatiques est plus faible ces dernières années [2001 – 2008] que par le passé et pourrait traduire plutôt le déplacement (depuis l'amont vers l'aval) de particules contaminées (par le passé) que la circulation de radionucléides en solution car les végétaux ne peuvent être totalement nettoyés des particules avant l'analyse. Le **Tableau 12** suivant fournit des valeurs guides.

Durant le fonctionnement du réacteur, la situation a pu être très différente.

Tableau 12 : synthèse des résultats des analyses radiologiques faites dans les végétaux et mousses aquatiques prélevés dans l'Ellez en aval de l'installation nucléaire [oct-2001 et mai-2008]. Voir détail en annexe.

	60Co	63Ni	241Am	14C	Tritium lié (OBT)	90Sr	137Cs
	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/kg de C	Bq/L eau de combustion	Bq/kg sec	Bq/kg sec
Fréquence de détection	10 / 14	3 / 3	0 / 14	2 / 2	3 / 4	2 / 2	9 / 14
Médiane, 50% des valeurs inférieures	5,6	-	-	-	-	-	5,5
min – max (observés)	1,1 - 58	Jusqu'à 1,4	< 6	jusqu'à 260	jusqu'à 80	jusqu'à 40	3,4 - 16

10 Conséquences observées sur la chaîne alimentaire

Suite aux essais nucléaires atmosphériques, il est apparu que les contaminants transportés par l'air pénétraient dans le corps humain préférentiellement par l'alimentation et non par inhalation. C'est pourquoi la chaîne alimentaire fait l'objet d'une surveillance depuis 1961.

Le niveau de contamination dépend de nombreux facteurs et d'abord de la concentration du polluant dans le milieu. Les radionucléides artificiels de longues périodes (« vies »), comme le césium-137 ou le strontium-90, prolongent les effets des retombées ou des rejets car les sols (ou les sédiments) vont jouer un rôle de réservoir alimentant des transferts au cours des décennies suivantes. C'est pourquoi ces deux radionucléides introduits majoritairement dans l'environnement par les essais nucléaires et accidents sont encore détectables de nos jours à l'état de trace dans tous les compartiments de la chaîne alimentaire.

Tous les radionucléides n'ont pas la même affinité avec les constituants du milieu, ni la même mobilité dans l'environnement, et n'ont donc pas la même capacité à être transférés à la chaîne alimentaire. Après absorption dans la plante (ou l'animal), la distribution n'est pas obligatoirement homogène et la transformation des produits à des répercussions sur le niveau de contamination résiduel dans « l'assiette ».

La concentration dans l'animal ou la plante peut être supérieure à celle observée dans le milieu ; par exemple, un poisson d'eau douce peut présenter une concentration en césium-137 (exprimées en Bq/kg frais de muscle) jusqu'à 10 000 fois supérieure à celle de l'eau. Pour autant cette bioaccumulation est un processus dynamique ; une diminution des niveaux dans le milieu naturel entraîne donc une diminution de la concentration dans l'animal. D'une manière générale, le stade de développement de la plante ou de l'animal joue un rôle sur la **bioaccumulation** et sa cinétique. Dans certains cas, la notion de **bioamplification** est avancée, c'est-à-dire d'augmentation de la concentration au fur et à mesure que l'on s'élève dans la chaîne trophique. Encore faut-il que les radionucléides concernés aient une durée de vie suffisante.

Le cas du tritium et du carbone-14, radionucléides très mobiles, doit être distingué car il n'y a ni bioaccumulation, ni bioamplification lorsqu'ils sont captés à partir d'une forme habituelle (non liée) comme HTO et CO₂ respectivement. L'équilibre est généralement constaté sur un pas de temps suffisant entre le niveau de contamination de la plante (ou de la matière organique animale) et celui de l'environnement dans lequel à lieu son développement. Néanmoins certains tissus vivants conserveront la mémoire de la contamination ambiante dans laquelle ils se sont développés s'ils se renouvellent très lentement (voire pas du tout) ou si l'hydrogène radioactif (tritium) est en position non échangeable. Dans le cas d'un arbre ayant l'âge de la centrale par exemple, les premiers cernes témoigneront du niveau de contamination ambiant au démarrage de celle-ci alors que les derniers renseigneront sur ce qu'il en est actuellement ; les résultats seront très différents.

Organisation de la surveillance de l'exploitant autour de la centrale de Brennilis

De tout temps, la surveillance a porté sur le milieu terrestre en rapport avec les retombées des effluents radioactifs gazeux. Le long de l'Ellez, l'absence de pratiques du genre de la pisciculture fait qu'aucun contrôle régulier n'a été entrepris sur la ressource en poisson. A cet égard, la logique poursuivie par l'exploitant a été d'insérer l'analyse de poisson dans des études spécifiques et c'est pourquoi il existe des résultats.

Les contrôles réguliers ont d'abord été articulés autour du **lait**. Cette attention particulière découle du fait qu'il constitue l'aliment unique des enfants (en bas âge) qui peuvent en ingérer tous les jours une très grande quantité par rapport au poids de leur corps. Aussi le lait constitue la voie de contamination privilégiée des jeunes enfants et ses produits dérivés restent une voie à ne pas négliger pour les moins jeunes car les produits laitiers sont largement consommés en France. Enfin, on prête plus d'attention au lait car il est un vecteur rapide de transfert d'une pollution depuis le milieu naturel jusqu'à l'homme.

↳ Depuis 1987, les prélèvements sont trimestriels. Auparavant, ils étaient mensuels. Selon les époques, de un à deux siège(s) d'exploitation situés dans les environs de la centrale sont concernés. La surveillance porte depuis toujours sur les niveaux du strontium radioactif et l'analyse s'est toujours apparentée à la mesure de l'activité bêta d'un précipité d'oxalates qui contient les isotopes radioactifs du strontium et potentiellement d'autres radioéléments - appartenant aux terres rares en particulier - susceptibles d'être présents dans l'échantillon. De ce fait, le résultat constitue une valeur maximale de la contamination du lait par le strontium-90. Tous les résultats sont exprimés en **Bq par litre**.

Puis, le **couvert végétal** fait l'objet d'analyses régulières. Ce n'est donc ni la culture de légumes ou céréalière, ni la production de viande qui sont visées directement mais un indicateur (l'herbe) qui permet **en théorie** de tirer plus largement profit des résultats des contrôles. Outre le fait qu'il renseigne par analogie pour les légumes feuilles (salades par ex.), le contrôle de l'herbe permet de sérier les dépôts et/ou les transferts depuis le sol (réservoir) à intervalle de temps régulier et d'estimer indirectement quelle pourrait être la contamination de la viande et du lait après broutage, ou celle des céréales et des légumes.

↳ Depuis 1988, les prélèvements sont trimestriels et concernent la Feuillée et Brennilis, deux stations situées sous les vents à respectivement 4 km et 1,5 km de la centrale. La surveillance porte depuis toujours sur les niveaux de l'activité bêta globale résiduelle, soit l'indice bêta global auquel a été retranchée la contribution du potassium-40. Depuis 2009, le césium-137 et le cobalt-60 sont également mesurés. Tous les résultats sont exprimés en **Bq par kilogramme de matière sèche**.

↳ Auparavant, les prélèvements sont essentiellement mensuels et concernent la Feuillée et Forc'han (semble t-il). Seule l'activité bêta globale résiduelle est déterminée et tous les résultats sont exprimés en **Bq par gramme de cendres**.

REMARQUE concernant la mesure de l'activité bêta global résiduelle dans les végétaux :

Dans les végétaux du genre de l'herbe, l'activité bêta global résiduelle varie considérablement. Dans les environs de Brennilis, les valeurs oscillent de 100 à 1000 Bq/kg de matière sèche ces dernières années, indépendamment du site. De telles valeurs sont le reflet de la radioactivité naturelle et la variabilité correspond à celle constatée habituellement avec ce genre de matrice.

De ce fait, il est difficile d'utiliser ce genre de contrôle pour renseigner sur les éventuelles retombées consécutives aux rejets gazeux de l'installation, **sauf pour témoigner d'un grave problème mais encore faut-il que la méthode employée n'élimine pas les éléments recherchés** car la mesure est faite après incinération de l'échantillon.

Au cours des années 80, les résultats sont exprimés en Bq par gramme de cendres. En mai 1986, soit au moment de l'accident nucléaire de Tchernobyl, la valeur du mois (pour la station de la Feuillée) est paradoxalement l'une des plus faibles avec 1,2 Bq/g de cendres. Certes les retombées de l'accident survenu à Tchernobyl ont moins concerné la Bretagne que d'autres régions, certes la méthode conduit à éliminer les éléments volatils prépondérants comme l'iode-131, mais ne rien voir pose sérieusement la question, outre de la fiabilité du contrôle, de sa pertinence à renseigner vis-à-vis d'une situation anormale. Et pour conclure, que dire du résultat du mois de janvier 83 avec 69 Bq/g de cendres à la Feuillée, soit dix fois plus que la valeur la plus élevée de la période ?

=> L'indice bêta global dans les végétaux (avec ou sans potassium-40) est totalement inexploitable et impossible à interpréter, c'est pourquoi il n'est pas commenté.

10.1 Le couvert végétal (herbe)

10.1.1 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

10.1.1.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

Depuis 2009, ^{137}Cs et ^{60}Co sont dosés dans l'herbe collectée chaque trimestre à Brennilis et à la Feuillée.

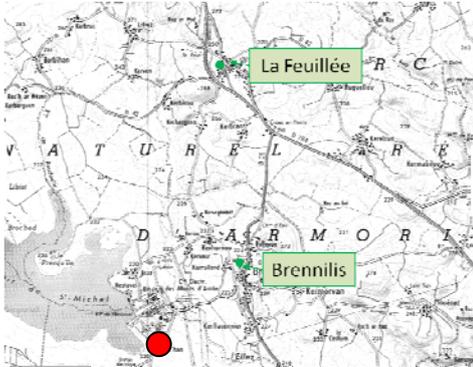


Figure 10-a : lieux où le couvert végétal fait l'objet d'un contrôle régulier par l'exploitant

Tableau 13 : activité massique (en Bq/kg sec) du césium-137 dans l'herbe collectée chaque trimestre en deux endroits dans les Monts d'Arrée ; source EdF - données disponibles sur le RNM www.mesure-radioactivite.fr

	Activité en ^{137}Cs [Bq/kg sec]	
	Brennilis	La Feuillée
01/12/2010	< 0,95	< 1
01/09/2010	13 ± 2,99	< 1,1
01/06/2010	5,4 ± 1,08	4,3 ± 1,2
01/03/2010	< 0,51	< 0,52
01/09/2009	3,7 ± 0,81	1,2 ± 0,6
02/06/2009	4,9 ± 1,27	8,6 ± 1,72
02/03/2009	2,8 ± 0,7	0,82 ± 0,45

Considérant les données d'EdF communiquées au Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM), on constate que **seul du césium-137** est régulièrement détecté, indifféremment entre les deux stations. **Dans le cas du cobalt-60**, un radionucléide artificiel caractéristique de la centrale, l'absence de valeur significative se caractérise par un seuil de décision meilleur que 1,1 Bq/ kg de matière sèche.

Avec des valeurs comprises entre 1 et 13 Bq/kg sec, ce marquage du couvert végétal par le ^{137}Cs se détache de ce qui est habituellement constaté ailleurs sur le territoire métropolitain. Pour autant, cet excès ne peut être associé aux rejets gazeux contemporains du site compte-tenu de leurs faibles niveaux ces dernières années. Un transfert racinaire à partir d'un sol propice à une grande mobilité du césium expliquerait la situation constatée. Soulignons qu'un constat similaire a été dressé pour des végétaux aquatiques prélevés hors de l'influence des rejets de la centrale, comme par exemple en amont du lac Saint-Michel. Il semble donc que le césium-137 soit plus mobile dans la région, et trouver plus de ^{137}Cs qu'ailleurs dans les végétaux semble être un trait caractéristique de la région.

10.1.1.2 Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)

Observation(s) : voir page suivante pour la localisation

En 2008, l'IRSN (2010) a réalisé des analyses en tritium organiquement lié et en carbone-14 à partir de prélèvements d'herbe de pâturage effectués sur les sites de « Kerelcun » (à 5 km sous les vents dominants) et de « Tromathiou » (à 20km hors de l'influence de la centrale).

Dans le cas du tritium organiquement lié, l'IRSN (2010) rapporte des valeurs d'environ 0,5 Bq par kilogramme de matière sèche dans l'herbe située à distance du site (dans les deux cas). Exprimés en Becquerel par litre d'eau de combustion, ces résultats (de l'ordre de 1,0 Bq/L) peuvent être comparés à la situation relevée dans les eaux de pluie et le tritium mesuré dans l'herbe a finalement pour origine celle décrite au **5.1.1.2 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]**. On peut également souligner que ces résultats sont peu différents de ceux obtenus par l'ACRO (2008) dans les environs du Centre de Stockage de Faibles et Moyennes Activités de l'Aube au cours de l'année 2007 ; l'activité en tritium organiquement lié dans le couvert végétal y oscillait entre 0,8 et 0,9 Bq/kg sec.

Dans le cas du carbone-14, là encore il n'y a aucune différence entre les deux endroits étudiés et les résultats normalisés par kilogramme de carbone correspondent bien à ceux notés à distance d'une installation nucléaire. Une référence de 233 Bq/kg de carbone ou équivalente à 104% du carbone moderne (pMC) caractérise la situation [IRSN, 2010].

10.2 Le lait

10.2.1 Situation observée ces dernières années [2007 - 2010]

10.2.1.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

D'une manière générale la surveillance radiologique du lait porte avant tout sur la mesure du strontium-90, un radionucléide artificiel introduit dans l'environnement presque en totalité par les essais nucléaires atmosphériques et encore présent du fait de sa longue période.

Le strontium appartient à la famille des alcalino-terreux et ses propriétés chimiques ou biologiques sont très voisines de celles du calcium. Comme ce dernier, il se fixe préférentiellement dans les tissus osseux où il est retenu et l'exposition qui en résulte est d'autant plus pénalisante qu'il est incorporé dès le bas âge. Sa faculté à être transféré des sols (réservoir de pollution) au lait et l'exposition sur le long terme qui peut résulter de son incorporation font que le strontium-90 est la cible historique de la surveillance radiologique du lait compte-tenu de l'importance des retombées des essais nucléaires aériens.

C'est pourquoi la surveillance des niveaux de strontium-90 autour d'une installation nucléaire doit s'examiner en regard des essais nucléaires et pas vraiment en regard des conséquences des rejets gazeux du site, d'autant plus que cet élément est normalement absent des rejets gazeux des INB.

Ces dernières années, aucun contrôle trimestriel du lait de la région de Brennilis (kerhornou) ne témoigne de la présence significative de **strontium-90**, comme en atteste les résultats rapportés dans le **Tableau 14**. Actuellement les niveaux en Bretagne devraient être peu différents de se relever ailleurs sur le territoire métropolitain, c'est-à-dire qu'ils devraient être d'environ $0,057 \pm 0,033$ Bq/L d'après les contrôles réalisés par l'IRSN depuis 2009.

Source : d'après données IRSN communiquées au RNM.
Période : [13/01/09 - 28/06/10]

Tableau 14 : synthèse des résultats des dosages du strontium-90 dans le lait effectués par l'exploitant dans la région de Brennilis [entre 2007 et 2010] et par l'IRSN dans le cadre de la surveillance du territoire national [entre 2009 et 2010].

	Mesure 90Sr+terres rares (Bq/L)			Mesure 90Sr seul (Bq/L)		
	fréquence	Moy \pm 1 Ec	Valeur de référence	fréquence	Moy \pm 1 Ec	Valeur de référence
Région de Brennilis	0 sur 10	-	< 0,15	-	-	-
Territoire métropolitain	-	-	-	43 sur 91	$0,057 \pm 0,033$	-

10.2.1.2 Bilan tiré d'une étude spécifique

En 2008, l'IRSN (2010) a examiné les teneurs en tritium (à la fois libre et lié), en plutonium (238, 239+240) et américium-241 du lait produit courant mai dans les environs de « Kerelcun » (à 5 km sous les vents dominants) et de « Tromathiou » (à 20km hors de l'influence de la centrale).

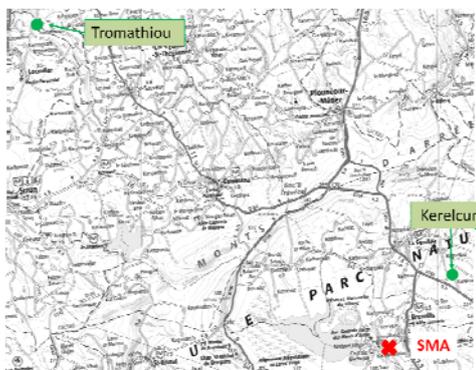


Figure 10-b : localisation des sites étudiés par IRSN (2010) dans le cas du lait, de l'herbe et des sols

Dans le cas du tritium lié (OBT) ou non (HTO), comme dans le cas des isotopes du plutonium ou de l'américium-241, aucune valeur significative n'est notée à la fois à Kerelcun et à Tromathiou, soit dans les deux cas à distance du site.

10.2.2 Situation observée auparavant

10.2.2.1 Bilan tiré de la surveillance de l'exploitant

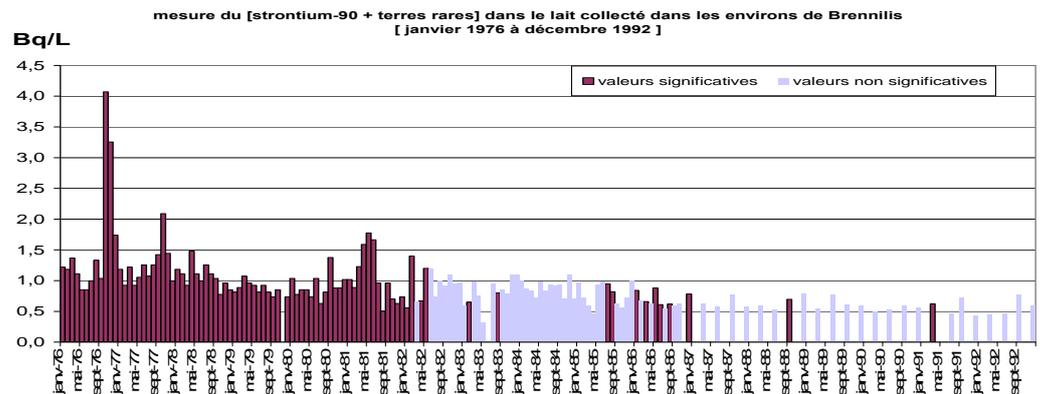


Figure 10-c : Equivalent strontium-90 mesuré par l'exploitant dans le lait de la région de Brennilis.

Période : [jan. 76 - déc. 92]

Au cours des dix dernières années de fonctionnement du réacteur et de la période de mise à l'arrêt, soit de janvier 1976 à décembre 1992, la contamination du lait par le strontium-90 dépend étroitement des essais nucléaires atmosphériques (et de leur rémanence).

C'est pourquoi, on constate une élévation des niveaux durant les périodes où se produisent les retombées des essais évoqués, en l'occurrence chinois pour les années rapportées, et une tendance à la diminution au fil des années avec la réduction de ceux-ci et leur arrêt définitif.

10.3 Les légumes et denrées cultivées

10.3.1 Bilan tiré d'une étude spécifique

10.3.1.1 Organisation du travail

Dans la perspective de statuer sur l'origine des éléments de la famille de l'uranium-235 observés en excès dans les environs de la centrale nucléaire des Monts d'Arée, les niveaux de la radioactivité ont été mesurés par spectrométrie gamma dans quelques légumes en septembre 2007 par ACRO/LSCE (2009). L'essentiel des produits ont été récoltés chez un maraîcher à Brennilis.

10.3.1.2 Résultats et constats

Dans les légumes analysés, là encore seul du **césium-137** est détecté par spectrométrie gamma. Les teneurs n'excèdent pas 2 Bq/kg de matière sèche et un transfert racinaire – comme évoqué pour l'herbe – en est la cause car ces légumes ont été cultivés sous serre et n'ont pu être concernés par d'éventuels dépôts ; voir [Tableau 15](#).

Dans le cas du **cobalt-60**, un radionucléide artificiel caractéristique de la centrale, l'absence de valeur significative se caractérise par une limite de détection meilleure que 1,4 Bq/kg sec.

Tableau 15 : activité massique (en Bq/kg sec) du cobalt-60 et du césium-137 dans des légumes collectée en septembre 2007 dans la région de Brennilis ; source [ACRO/LSCE, 2009]

	Activité massique [Bq/kg sec]	
	60Co	137Cs
Choux - Kerguéven	< 1,1	< 1,1
Choux - Brennilis	< 0,5	1,1 ± 0,5
Salade - Brennilis	< 1,4	< 1,1
Tomates - Brennilis	< 0,4	0,7 ± 0,3
Feuilles de tomates - Brennilis	< 0,9	2,0 ± 0,9

10.4 Les poissons

10.4.1 Bilan tiré d'études spécifiques

10.4.1.1 Organisation des travaux

Différents bilans de la radioactivité ont été dressés par l'IRSN (IPSN) depuis la fin des années 70. Dans cette perspective, des poissons ont été pêchés à la fois en amont et en aval de l'installation au cours des années 1979-80, 1984, 1993, 2002 et plus récemment en 2008. Les radionucléides émetteurs gamma comme le césium-137 et le cobalt-60 ont été dosés. Selon les époques, des analyses plus spécifiques ont aussi été entreprises comme la mesure du carbone-14, du tritium organiquement lié (OBT ou TOL), du strontium-90 et du nickel-63. Pour quelques cas, les résultats obtenus ont été jugés non fiables par les auteurs a posteriori. Récemment, les isotopes du plutonium et l'américium-241 ont fait l'objet d'une mesure.

Le **Tableau 21** de chapitre **15 Annexes** qui suit fait état de tous les résultats disponibles par le canal de ces études ; l'analyse d'un brochet pêché en mai 2008 dans l'Ellez est ajoutée [ACRO, 0508].

10.4.1.2 Situation observée dans le lac Saint-Michel

Aucune évolution manifeste n'est observée depuis juin 1993.

Dans les poissons, la situation se caractérise d'abord par des teneurs pouvant dépasser les 20 Bq/kg frais en strontium-90, et être comprises entre 1 et 10 Bq/kg frais en césium-137.

Pour Deschamps B. [IRSN, 2003] qui a commenté ces résultats à l'époque, il y a manifestement un excès et cette constatation doit être reliée au régime des pluies dans la zone des Monts d'Arée qui a entraîné plus de dépôts durant la période des essais nucléaires aériens. Quant au fait que la teneur en ⁹⁰Sr soit paradoxalement supérieure à celle du ¹³⁷Cs alors que les quantités déposées ont été moindres, la spécificité de ce radionucléide plus facilement remobilisable que le ¹³⁷Cs en serait à l'origine d'après le même auteur.

Concernant les autres radionucléides mesurés, aucune anomalie n'est notée.

Dans le cas du carbone-14 et tritium organiquement lié, la normalisation des résultats ne met pas en évidence d'excès par rapport à ce qui peut être relevé ailleurs à distance d'une installation nucléaire.

Dans le cas des émetteurs alpha (i.e. plutonium et américium), les résultats ne sont pas significatifs comme en témoignent les analyses faites sur une Perche en mai 2008.

10.4.1.3 Situation observée dans l'Ellez en aval de l'installation

Synthétiquement la situation constatée ces dernières années (depuis 2002) dans les poissons est finalement peu différente de celles observées en amont.

A contrario la contamination des poissons par de la radioactivité artificielle rejetée avec les effluents liquides de la centrale ne fait aucun doute au cours de sa période de fonctionnement, en l'occurrence entre 79 et 84 d'après les quelques données disponibles.

Elle est manifeste dans le cas du ¹⁴C et du tritium organiquement lié (OBT) comme en atteste les résultats après normalisation. Avec 1030 Bq/L d'eau de combustion dans les anguilles pêchées en 1980, la teneur en tritium est au moins 100 fois supérieure à celle induite à la même période par les retombées des essais nucléaires atmosphériques dans les eaux de pluie. On notera au passage qu'une telle valeur (qui n'est pas isolée) est très supérieure à la teneur résiduelle en tritium des eaux de l'Ellez durant la même période.

A cet excès en ¹⁴C et OBT, s'ajoute une contribution, du reste assez faible comparativement, en radionucléides artificiels émetteurs bêta-gamma.

Pour conclure, il convient de souligner que cette situation dégradée s'est nettement améliorée dès les opérations de mise à l'arrêt et de cessation d'activité achevées, puisque en 1993 les niveaux en césium-137 des poissons sont équivalents à ceux mesurés actuellement dans le lac Saint-Michel, et ceux en OBT ont drastiquement diminué.

11 La radioactivité artificielle des sols constitutifs de l'ancien chenal de rejets

Lors des phases de fonctionnement et de mise à l'arrêt de l'installation, les effluents liquides étaient visiblement « épurés » avant rejet dans le milieu naturel (l'Ellez). La Station de Traitement des Effluents (STE) était exploitée dans ce but.

Pour être rejetés dans l'Ellez, les effluents liquides étaient d'abord acheminés via une galerie en béton (dite G13) jusqu'à un décanteur (dit Z33) situé en limite sud du site. Après quoi, ils empruntaient visiblement une conduite en PVC dont la terminaison était située à proximité du Pont de Forc'han (Ellez). A l'époque, cette conduite se trouvait au fond d'un fossé dénommé actuellement « ancien chenal de rejets ». Ce fossé, tapissé d'argile, servait également à l'évacuation des eaux pluviales précipitées en partie sud du site et provenant de la voirie.

Depuis la fin de l'année 1992, aucun effluent liquide radioactif n'est rejeté et cette conduite en PVC a été retirée. A cette occasion, le chenal aurait fait l'objet de travaux d'assainissement. Les informations disponibles ne permettent pas de rendre compte des travaux qui ont été réalisés sur cet ouvrage.

11.1 Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)

11.1.1 Situation observée ces dernières années [2006 - 2008]

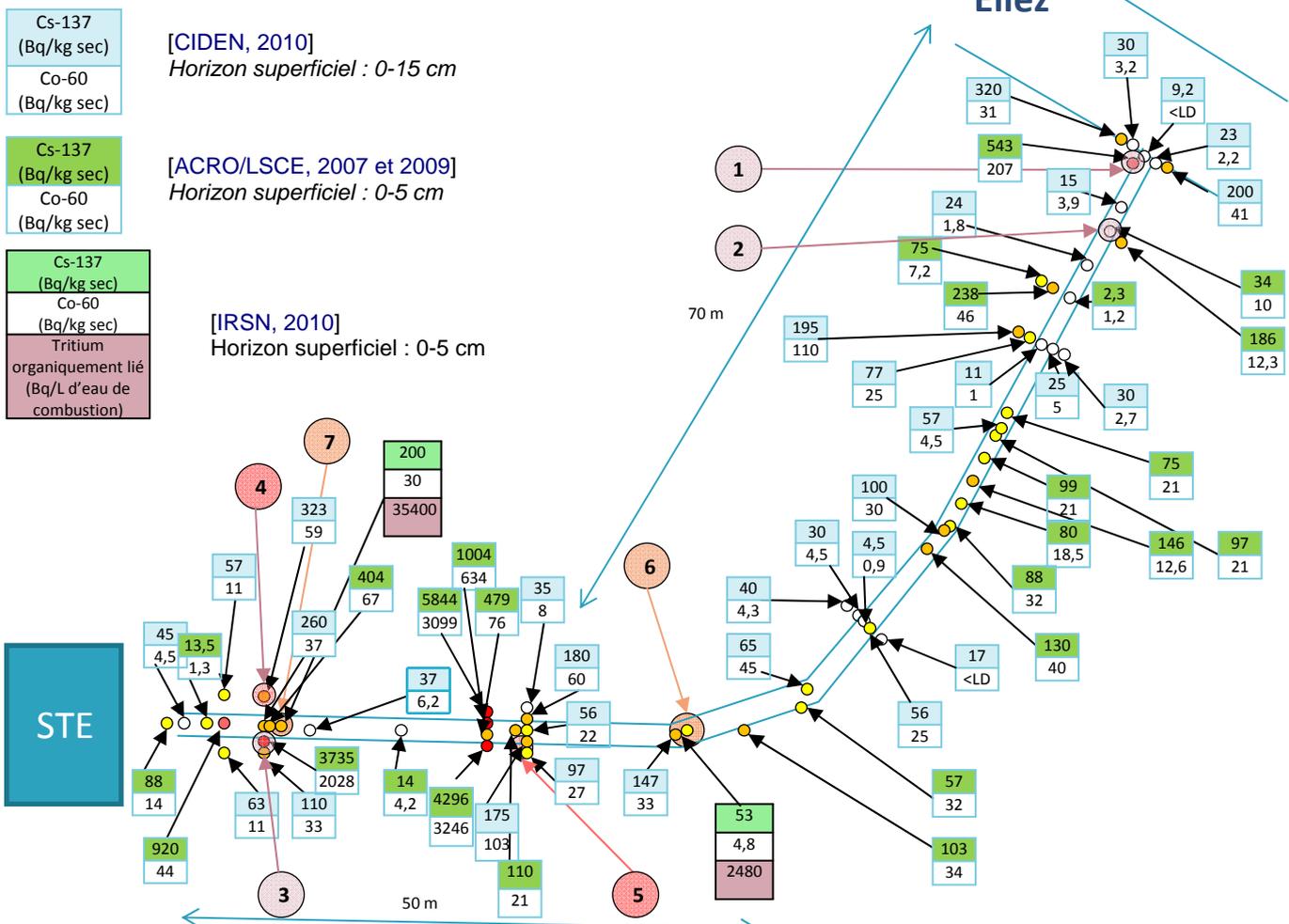


Figure 11-a : cartographie des prélèvements et teneurs associées en Cs-137, Co-60 (Bq/kg sec) et tritium lié (OBT), d'après [ACRO/LSCE, 2007 et 2009], [CIDEN, 2010] et [IRSN, 2010]. Figure également la localisation des prélèvements pour la mesure des émetteurs alpha (Am et Pu).

11.1.1.1 Organisation des travaux

Dans le cadre de bilans de la radioactivité de l'environnement dressés par ACRO/LSCE (2007 et 2009) et par l'IRSN (2010), des résultats sont disponibles. Ils se réfèrent à des prélèvements superficiels effectués en différents endroits le long du chenal. La plupart des données ont été obtenues par spectrométrie gamma et renseigne en partie sur la situation radiologique pour des éléments comme le césium-137, le cobalt-60, l'américium-241 et l'argent-108 métastable. A certains endroits, des radionucléides artificiels ont été investigués : le tritium lié (OBT), le carbone 14, le nickel-63 et les isotopes du plutonium et de l'uranium.

En 2008, une campagne de caractérisation des sols constitutifs du chenal a été entreprise par Bouygues Travaux Publics/Assainissement et Démantèlement [CIDEN, 2010]. Quatre horizons ont été étudiés : 0-15 cm, 15-30 cm et 30-45 cm et 45-60 cm. La plupart des données ont été obtenues par spectrométrie gamma. A certains endroits, des radionucléides artificiels ont été investigués : le carbone 14, le tritium lié (OBT), le strontium-90, le nickel-63, le fer-55, le curium-244, les isotopes du plutonium et de l'uranium.

11.1.1.2 Résultats et constats pour la strate superficielle

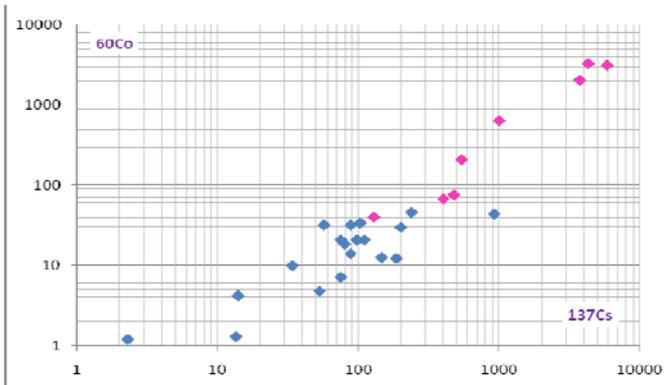


Figure 11-b : teneur (Bq/kg sec) en Co60 en fonction de celle en Cs-137 des échantillons de sols-berges collectés dans l'ancien chenal de rejet et à proximité.

Sources [ACRO/LSCE, 2007 et 2009] et [IRSN, 2010].

Les points roses font référence aux échantillons dans lesquels d'autres radionucléides artificiels ont été décelés

Le long du chenal, les analyses mettent en évidence **la présence systématique et concomitante de césium-137 et de cobalt-60** à des teneurs qui varient fortement en fonction des lieux (un facteur 1000 sépare les extrêmes). Les valeurs les plus élevées sont relevées non loin de la STE et les teneurs en ^{137}Cs et ^{60}Co peuvent alors atteindre respectivement de l'ordre 6000 et 3000 Bq/kg sec - voir Figure 11-a.

Entre ces deux radionucléides, il existe visiblement une relation : plus la teneur en ^{137}Cs est élevée, plus celle en ^{60}Co l'est également (voir Figure 11-b).

En présence de niveaux modérés de contamination, d'autres radionucléides artificiels sont aussi observés. Par exemple de l'américium-241 et de l'argent-108 métastable peuvent être détectés à des niveaux significatifs (jusqu'à respectivement 33 et 135 Bq/kg sec). Plus globalement, l'horizon superficiel des sols constitutifs du chenal peut contenir selon les endroits : du tritium lié (OBT), ^{14}C , ^{60}Co , ^{63}Ni , ^{90}Sr à confirmer, $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{137}Cs , ^{241}Am et/ou des isotopes du plutonium.

Dans le cas des émetteurs alpha, la contribution des activités nucléaires passées du site transparait dans l'étude des rapports isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$. En effet, les rapports obtenus sont généralement supérieurs aux valeurs qui caractérisent les retombées des essais atmosphériques (Tableau 16, p.50). Dans les sols superficiels en amont du chenal, la proportion en américium-241 représenterait de l'ordre de 5/1000^{ème} de celle du césium-137, si on considère pour partie les résultats ACRO/LSCE (2009).

Pour autant, cette contribution ne concernerait pas les isotopes de l'uranium car les rapports sont conformes à ceux attendus, quelque soit le producteur de données [ACRO/LSCE, 2007] [CIDEN, 2010].

Dans le cas du tritium lié (OBT), là encore les teneurs mesurées peuvent être importantes puisqu'on mesure jusqu'à 8600 Bq/kg de matière sèche [CIDEN, 2010]. Le fait de mesurer aujourd'hui encore de tels niveaux laisse entrevoir que *cette fixation* [du tritium] *doit être accompagnée de fortes liaisons puisqu'elle s'est maintenue dans le temps* [IRSN, 2003]. Ce constat interroge sur la genèse de ce tritium lié ; il laisse entrevoir que les rejets ont pu contenir du tritium lié (OBT) et pas seulement libre (HTO).

Dans le cas du carbone-14, l'excès mesuré surprend également.

L'entraînement de ces particules vers l'Ellez expliquerait pourquoi (ces dernières années) du tritium lié et autres radionucléides artificiels sont mesurés dans les végétaux aquatiques, ces derniers ne pouvant être totalement débarrassés des particules avant l'analyse.

Tableau 16 : Teneurs (Bq/kg sec) des isotopes du plutonium et de l'²⁴¹Am (et rapports associés) pour les sols superficiels prélevés en différents endroits le long de l'ancien chenal de rejets.

localisation	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²³⁸ Pu	²³⁸ Pu/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴¹ Am/ ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
1 [ACRO/LSCE, 2007]	543	1,2±0,2	0,25±0,10	0,21±0,09	<1	-
2 [ACRO/LSCE, 2007]	33,7	0,068±0,006	-	0,15±0,04	0,057±0,010	0,85±0,15
3 [ACRO/LSCE, 2009]	479 / 5844				1,5 / 32,8	
4 [CIDEN, 2010]	323	0,55±0,21	0,19±0,14	0,35	<0,76	-
5 [CIDEN, 2010]	175	2,0±0,5	0,64±0,23	0,32	0,2±0,14	0,1
6 [IRSN, 2010]	53	0,226±0,009	0,018±0,002	0,078±0,010	0,139±0,011	0,62±0,07
7 [IRSN, 2010]	200	0,291±0,012	0,106±0,005	0,36±0,03	0,379±0,036	1,30±0,17
8 [ACRO/LSCE, 2007] Réf : Lac St-Michel	23,8	0,62±0,06	-	0,025±0,008	0,35±0,03	0,56±0,10

Observation(s) :

Rapports caractéristiques des retombées des essais nucléaires atmosphériques :

$$\frac{{}^{238}\text{Pu}}{{}^{239+240}\text{Pu}}=0,03\pm0,01$$

$$\frac{{}^{241}\text{Am}}{{}^{239+240}\text{Pu}}=0,40\pm0,10$$

11.1.1.3 Résultats et constats pour les strates inférieures

Des sondages entrepris dans le cadre de la caractérisation des sols [CIDEN, 2010], il ressort que la contamination décroît avec la profondeur et seul un léger marquage subsisterait à 45/60 cm ; cobalt-60 et césium-137 reste concomitant.

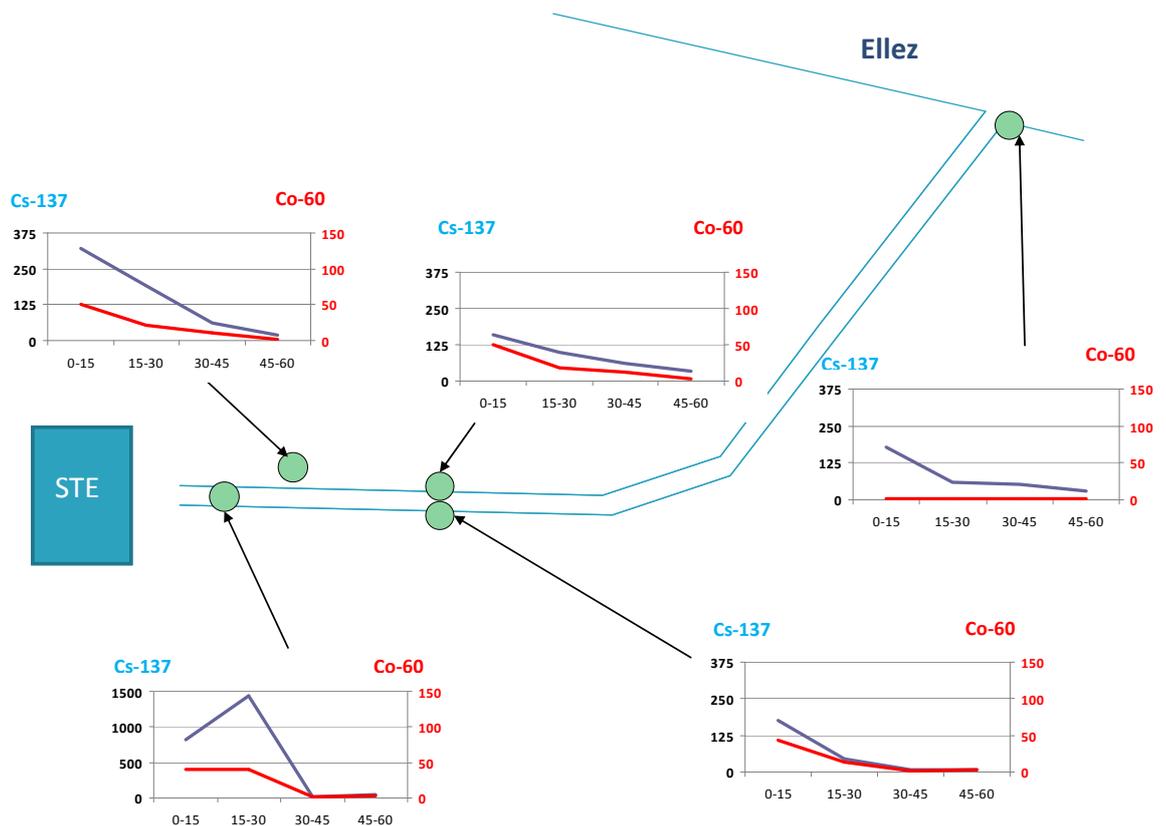


Figure 11-c : évolution de la teneur (Bq/kg sec) en Césium-137 et en Cobalt-60 en fonction de la profondeur du prélèvement (cm). Source [CIDEN, 2010]

11.1.1.4 Autres résultats et constats

Dans la partie amont du chenal, les auteurs de la caractérisation [CIDEN, 2010] observent également du **PCB**, **plomb** et **zinc lixiviable** dans les sols présentant la contamination la plus élevée en césium 137.

12 La radioactivité des sédiments et des berges-sols le long de l'Ellez

En liaison avec les précipitations, l'érosion des sols donne lieu à la présence de matières en suspension dans les eaux de surface. Selon les endroits, les rejets urbains, industriels et/ou agricoles y contribuent également.

Les matières en suspension (MES) sont des matières fines minérales ou organiques insolubles (comme des fragments de végétaux par exemple) qui vont contribuer à la formation de **sédiments**. Dans les zones de calme comme les lacs ou les réservoirs, leur dépôt va être plus important qu'ailleurs et largement formé de la fraction la plus fine.

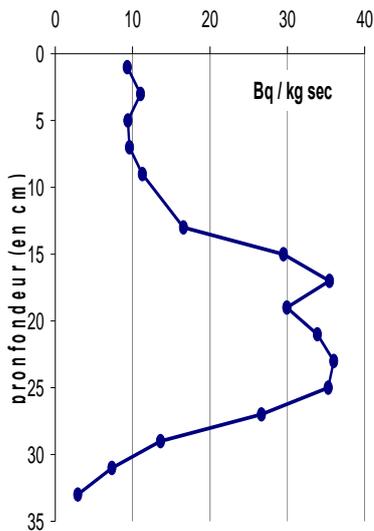


Figure 12-a :

Évolution de la teneur (en Bq/kg sec) du ¹³⁷Cs en fonction de la profondeur (en cm) dans les sédiments du lac du Drennec. Source LSCE - Philippe Bonté (2007), résultats non publiés.

La contamination des sédiments trouve d'abord une origine dans celle stockée dans les sols soumis au phénomène d'érosion. De ce point de vue, les retombées principalement des essais nucléaires alimentent la contamination des masses sédimentaires en ¹³⁷Cs et ⁹⁰Sr depuis 1952/53 (voir figure ci-contre). En présence de particules contaminées dans les effluents liquides déversés, leur accumulation dans les sédiments va incidemment accroître le niveau de pollution. De même, parce que les sédiments sont le siège de divers processus de rétention des éléments traces solubles présents dans l'eau, les rejets de toute sorte peuvent contribuer à augmenter le niveau de pollution par suite d'adsorption à la surface des « particules » sédimentaires. De ce point de vue, les « particules » les plus fines favorisent mieux la rétention et leur abondance dans la masse sédimentaire est un facteur essentiel de modulation des concentrations mesurées.

Au fond des lacs, les sédiments déposés successivement au fil du temps conservent en partie la mémoire des pollutions, ou simplement des apports, et constituent de ce fait un réservoir pouvant alimenter par la suite des transferts.

L'étude des concentrations en fonction de la profondeur permet d'accéder (dans une certaine mesure) à l'historique des contributions, voire des rejets pratiqués par une installation nucléaire. Pour autant la datation reste toujours délicate.

La figure ci-contre illustre l'évolution constatée en 2007 de la teneur en césium-137 en fonction de la profondeur dans les sédiments du lac du Drennec (Finistère). Dans le cas présent, le césium-137 provient exclusivement des retombées anciennes des essais de l'arme atomique et, pour une faible partie, de celles consécutives à l'accident de Tchernobyl.

Caractéristiques des sédiments de la région



Figure 12-b : Photo des sédiments dans l'Ellez en aval du barrage de Nestavel. © ACRO

Dans la région de Brennilis, **les sédiments des cours d'eau** (Ellez, Roudoudour et Roudouhir) ont une granulométrie très grossière et s'apparentent plus à des sables qu'à des vases. Et dans de nombreux endroits, le lit superficiel du cours d'eau n'est constitué que de petits graviers (d'une taille supérieure à 2mm) liés entre eux par de la matière organique en décomposition ; il n'y a donc aucun dépôt de particules fines et la teneur en radionucléides artificiels pourra être des plus faibles. Dans le lac Saint-Michel et tout particulièrement dans le réservoir Saint-Herbot, la situation est très différente.

12.1 Bilan tirés d'étude(s) spécifique(s)

12.1.1 Présentation

12.1.1.1 Organisation des travaux

En 1979 et 1984, [IPSN, 1992] la radioactivité artificielle a été mesurée principalement par spectrométrie gamma jusqu'à 30cm de profondeur dans le lit de l'Ellez, en 3 endroits en aval du site. En 1984, le 14C et le tritium lié ont également été dosés dans l'un des 3 sédiments ; il est impossible de caractériser et de localiser exactement les prélèvements effectués cette année là.

En 1993, Baudin-Jaulent [IRSN, 1994] s'est intéressé aux sédiments superficiels en 4 endroits depuis le lac Saint-Michel (camping) jusqu'en amont du réservoir Saint-Herbot. Des informations sont disponibles pour les éléments usuels mesurés par spectrométrie gamma, pour le strontium-90 et le tritium organiquement lié. Dans le cas du carbone-14, les résultats sont erronés. Pour le nickel-63, un doute subsiste.

De 2001 à 2007, les auteurs [ACRO, 2003] [ACRO/LSCE, 2007 et 2009] ont précisé les niveaux de la radioactivité par spectrométrie gamma dans les sédiments du lac Saint-Michel et du réservoir Saint-Herbot, à la fois en surface et en profondeur. Le long de l'Ellez, le lit et les berges-sols ont été étudiés aux abords du site. Quelques informations sont également disponibles pour les isotopes du plutonium et de l'uranium.

En 2002, Descamps [IRSN, 2003] s'est intéressé aux sédiments superficiels en 3 endroits : le lac Saint-Michel (Roudouhir), l'Ellez (juste en aval du site) et le réservoir Saint-Herbot. Des informations sont disponibles pour les éléments usuels mesurés par spectrométrie gamma, pour le strontium-90 et le tritium organiquement lié. Dans le cas du nickel-63, un doute subsiste.

En 2008, Antonelli [IRSN, 2010] a précisé l'historique du tritium organiquement lié (OBT) des sédiments du lac Saint-Michel et du réservoir Saint-Herbot. Des données sont également disponibles pour le 14C, le 63Ni, les émetteurs gamma, l'241Am et les isotopes du plutonium.

Observation(s) :

Source :

12.1.1.2 Localisation des prélèvements

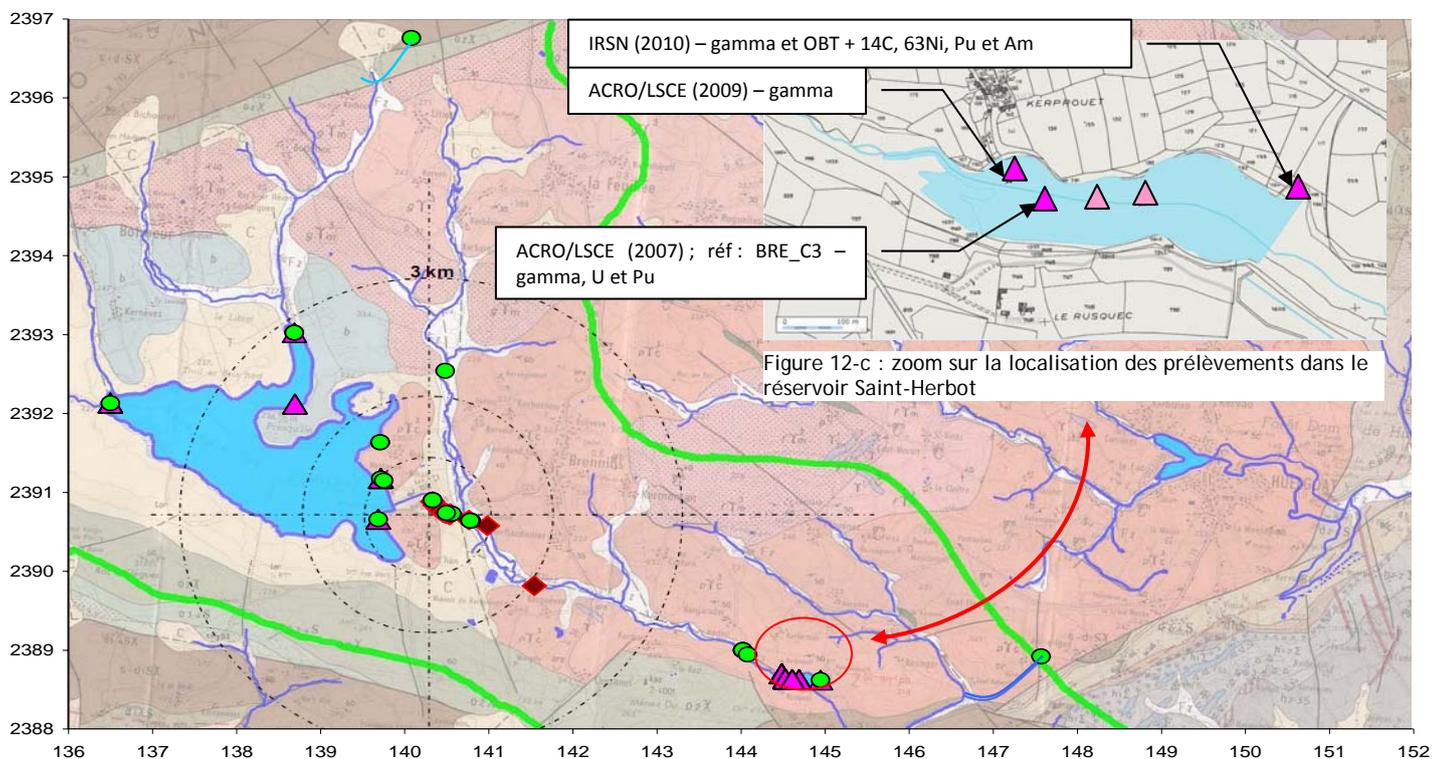


Figure 12-d : localisation des endroits où des sédiments superficiels (ronds), des carottes sédimentaires (triangles) et des berges-sols - ou lit du cours d'eau - (losange) ont été échantillonnés, entre 1979 et 2008, pour connaître leur composition en divers radionucléides, notamment artificiels.

12.1.2 Situation observée ces dernières années dans le lac Saint-Michel

Dans les masses sédimentaires du lac Saint-Michel, la radioactivité artificielle mesurée ces dernières années par spectrométrie gamma se résume à la seule présence de ^{137}Cs à des teneurs qui varient notablement en fonction des lieux, puisque dans les sables de la plage de Nestavel elles sont inférieures à 1 Bq/kg sec alors qu'on mesure jusqu'à 32 Bq/kg sec dans les sédiments de surface des embouchures et du Belvédère. En profondeur, la présence de ce ^{137}Cs n'est plus observée au-delà d'une dizaine de centimètre.

Concernant les isotopes du plutonium, l'américium-241, le carbone-14, le strontium-90 et le tritium lié, les sondages entrepris montrent que les valeurs relevées sont des plus faibles. S'intéressant aux émetteurs alpha, l'étude des rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, déterminés en 2 endroits, permet quant à elle de conclure que les dépôts consécutifs aux essais nucléaires atmosphériques sont à l'origine de ces radionucléides.

En conclusion, la situation radiologique de ces dernières années ne contraste pas avec celle qui peut être observée dans des cours d'eau et lacs non perturbés par des rejets industriels. ^{137}Cs , ^{241}Am et plutonium proviennent de l'érosion des sols encore marqués par les retombées des tirs.

Tableau 17 : synthèse des résultats des analyses radiologiques faites dans les sédiments superficiels du lac Saint-Michel durant les années 2000 [juil-2002 à mai-2008].

	60Co	63Ni	241Am	14C	Tritium lié (OBT)	90Sr	137Cs
	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/kg de C	Bq/L eau de combustion	Bq/kg sec	Bq/kg sec
Fréquence de détection	0 / 10	0 / 1	2 / 9	1 / 1	1 / 2	1 / 1	9 / 10
Médiane, 50% des valeurs inférieures	-	-	-	-	-	-	9,3
min – max (observés)	< 2	< 0,3	Jusqu'à 0,35	228	2	1,3	Jusqu'à 32

12.1.3 Situation observée ces dernières années aux abords du site

12.1.3.1 En amont de l'ancien chenal de rejets des effluents liquides

Ces dernières années, les mesures faites par spectrométrie gamma sur des sondages entrepris dans le lit et les berges (immergées ou non) tendent à montrer que trois radionucléides artificiels peuvent être détectés aux abords du site, en amont de l'ancien chenal de rejets. Les éléments sont : ^{60}Co , ^{137}Cs et ^{241}Am .

Parmi eux, le ^{137}Cs , toujours détecté, semble être de loin l'élément prépondérant. Les teneurs peuvent atteindre au moins 162 Bq/kg sec et des valeurs plus fortes que dans les sols de la région peuvent être notées dans les berges hors de l'eau, y compris en profondeur. Pour illustration, ACRO/LSCE (2007) mesure 137 Bq/kg sec à une profondeur comprise entre 35 et 50 cm à l'endroit référencé 19D.

Episodiquement, des traces d' ^{241}Am , voisines de 1 Bq/kg sec, peuvent être mesurées.

Par endroit, le spectre des radionucléides artificiels peut également comporter un peu de ^{60}Co , notamment au niveau du rejet des eaux pluviales où des teneurs inférieures à 10 Bq/kg sec ont été notées lors des investigations évoquées.

Synthétiquement, la situation radiologique le long de ce tronçon de l'Ellez se détache nettement de ce qui est observé ailleurs, hors influence. **Ce constat à de quoi surprendre car les endroits étudiés étant tous situés en amont de l'ancien chenal de rejet, voire hors de l'eau, ils n'ont pu être perturbés par les rejets radioactifs liquides.**

12.1.3.2 En aval de l'ancien chenal de rejets des effluents liquides

Ces dernières années, les sondages entrepris dans le lit de l'Ellez et les berges (immergés ou non) tendent, là encore, à montrer la présence de ^{137}Cs à des niveaux plus élevés qu'ailleurs comme par exemple dans les masses sédimentaires du lac Saint-Michel. Cette fois, la valeur la plus forte est mesurée dans les matériaux constituant le lit de la rivière avec 109 Bq/kg sec en moyenne pour les 20 premiers centimètres.

Toujours en aval dans le lit de l'Ellez, des excès manifestes en ^{14}C et tritium lié peuvent être également notés. Pour illustration, l'IRSN (2010) mesure jusqu'à 2130 Bq/L de tritium lié.

Enfin, « un peu » d'américium-241 et de cobalt-60 sont parfois mesurés, y compris à 30m en retrait du lit de la rivière ; peut-être est-ce la conséquence de crues lors de séquence de rejets du temps du fonctionnement du réacteur...

Visiblement, l'Ellez en aval immédiat de l'ancien chenal de rejets et les abords (dans des proportions difficiles à cerner) ont conservé les stigmates des activités nucléaires passées.

12.1.4 Situation observée ces dernières années dans Saint-Herbot

Des sondages entrepris par carottage entre octobre 2006 et mai 2008, il ressort que différents radionucléides artificiels caractéristiques des activités nucléaires du site de Brennilis sont détectés. Visiblement les masses sédimentaires ont conservé la mémoire du passé industriel, plus particulièrement des rejets pratiqués en tritium, en carbone-14, en césium-137 et en nickel-63. Pour illustration, on mesure jusqu'à 1537 Bq/L de tritium lié [IRSN, 2010] et jusqu'à 170 Bq/kg sec de ^{137}Cs [ACRO/LSCÉ, 2009] ; les figures référencées Figure 12-f et Figure 12-e donnent un aperçu de l'historique des dépôts.

Dans le cas du tritium, la situation constatée suggère que du tritium lié ait circulé avec les eaux de surface car les niveaux résiduelles dans les sédiments ne sont pas compatibles avec la teneur en tritium libre (HTO) des eaux mesurée depuis 1980. Des interrogations subsistent également pour le carbone-14 en raison de l'importance des teneurs mesurées par l'IRSN (2010) à 24-26 cm de profondeur (1636 Bq/kg de carbone).

Pour autant, aucune contribution industrielle en plutonium et en uranium n'est mise en évidence lorsqu'on se réfère à l'étude des rapports de leurs isotopes.

Ce stock se situe visiblement à une profondeur comprise entre 10 et 50 cm et une migration du fond vers la surface n'est pas à exclure, au moins dans le cas du tritium pour tenter d'expliquer les valeurs plus élevées qu'ailleurs dans les sédiments superficiels, donc récents. Malgré cela, l'horizon superficiel est très peu affecté en comparaison puisque seulement du tritium lié et du césium-137 sont significativement présents avec des teneurs qui n'excèdent pas en moyenne 80 Bq/L et 33 Bq/kg sec respectivement.

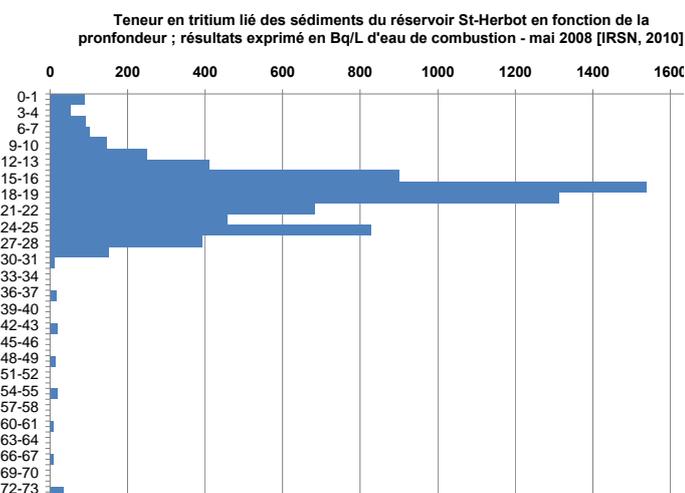


Figure 12-f : Teneurs en tritium lié des sédiments du réservoir St-Herbot en fonction de la profondeur (en cm) ; résultats exprimés en Bq/L d'eau de combustion ; prélèvements de mai 2008 - source [IRSN, 2010].

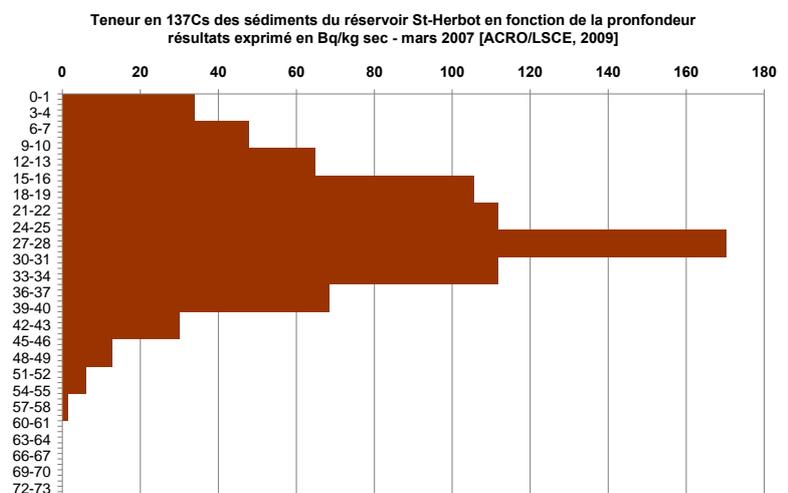


Figure 12-e : Teneurs en césium-137 des sédiments du réservoir St-Herbot en fonction de la profondeur (en cm) ; résultats exprimés en Bq/kg sec ; prélèvements de mars 2007 - source [ACRO/LSCÉ, 2009].

13 Le phénomène des Monts d'Arrée ou la présence d'actinium-227 en excès

13.1 Bilan tiré d'étude(s) spécifique(s)

Observation(s) :

13.1.1 Eléments de compréhension

Dans le milieu naturel, les roches contiennent plusieurs isotopes de l'uranium lesquels vont donner naissance à d'autres éléments radioactifs en se désintégrant ; on parle de famille, de filiation ou de chaîne de désintégration, et naturellement d'ascendant(s) et de descendant(s).

Le plus abondant est l'uranium-238 (99.3%). L'uranium-235 n'existe qu'en très faible proportion (0.7%) et c'est pourquoi les éléments de cette famille ne sont généralement pas détectés par spectrométrie gamma (analyse usuelle), ce qui n'est pas le cas pour les éléments de la famille de l'uranium-238.

Elément	Famille de l' ²³⁵ U			Famille de l' ²³⁸ U		
Uranium	U-235 7,0E8 a			U-238 4,5E9 a	U-234 2,4E5 a	
Protactinium		Pa-231 3,3E4 a			Pa-234m 1,2 min	
Thorium	Th-231 25,5 h		Th-227 18,7 j	Th-234 24,1 j		Th-230 75400 a
Actinium		Ac-227 21,8 a				
Radium			Ra-223 11,4 j			Ra-226 1600 a
Francium						
Radon			Rn-219 3,96 s			Rn-222 3,8 j
Astate						
Polonium			Po-215 1,8 ms		Po-218 3,1 min	Po-214 164 µs
Bismuth						Po-210 138 j
					Bi-214 19,9 min	Bi-210 5,0 j
Plomb			Pb-211 36,1 min		Pb-214 26,8 min	Pb-210 22,3 a
						Pb-206 stable
Thallium			Tl-207 4,8 min			
						Pb-207 stable

Figure 13-a : filiations de l'uranium-235 et de l'uranium-238

13.1.2 Problématique et origine

Mis en évidence la première fois en octobre 2001 [ACRO, 2003], ce phénomène dénommé *phénomène des Monts d'Arrée* par ceux qui l'ont étudié [ACRO/LSCE, 2007 et 2009], se traduit par la mise en évidence d'actinium 227 présent à des concentrations en excès par rapport à ses ascendants directs (²³⁵U et protactinium-231 (²³¹Pa)) de longue période physique. On observe donc un déséquilibre au sein de la chaîne de désintégration de l'²³⁵U. La terminologie généralement employée pour définir le phénomène consiste à dire que « l'²²⁷Ac n'est pas supporté par ses ascendants de longue période ». [EdF, 2009 : Etude d'impact - Ch. 2].

Parmi tous les lieux explorés, ce phénomène est observé dans des endroits où il existe une circulation d'eau, tout particulièrement dans les endroits où les eaux souterraines s'expriment en surface (résurgences, zones humides, etc.).

Les sols et certains sédiments/berges peuvent alors présenter des teneurs en actinium-227 (et descendants) importantes, voire équivalentes à celles d'éléments de la famille de l'uranium-238. Le cas de la mare dite du *Rusquec*, une zone humide alimentée par une résurgence, illustre bien le propos. Dans les sols constitutifs de l'horizon superficiel par exemple, la teneur en ^{227}Ac (^{227}Th) est au moins 20 fois supérieure à celle de l'uranium 235 et visiblement peu différente de celle de l'uranium-238 (^{234}Th) ; aucun radionucléide artificiel n'est détecté – voir [Tableau 18](#).

La même tendance est observée dans les mousses aquatiques essentiellement avec le radium 223 (qui provient de la filiation de l'actinium-227) comparativement au radium 226 (qui provient de la filiation de l'uranium-238), le radium étant un élément préférentiellement capté par les mousses aquatiques. Le cas des *fontinales* prélevées dans des affluents de la rivière d'Argent dans les environs d'Huelgoat illustre bien le propos là encore ; aucun radionucléide artificiel n'est détecté – voir [Tableau 19](#).

Concernant l'aire de répartition du phénomène, la [Figure 13-b](#) montre qu'il n'est pas localisé mais s'étend sur une vaste étendue d'au moins 50 km². On note sa présence depuis le voisinage de la centrale nucléaire jusqu'à la commune d'Huelgoat située 10 km plus à l'est.

Il est intéressant de remarquer que ce phénomène est finalement présent dans les zones où s'exprime le granite d'Huelgoat du genre porphyroïde à cordiérite, lequel s'étend vers l'ouest jusqu'au pied du barrage de Nestavel (lac Saint-Michel) où l'on distingue parfaitement deux éruptions plutoniques hercyniennes qui appartiennent à cette même formation géologique.

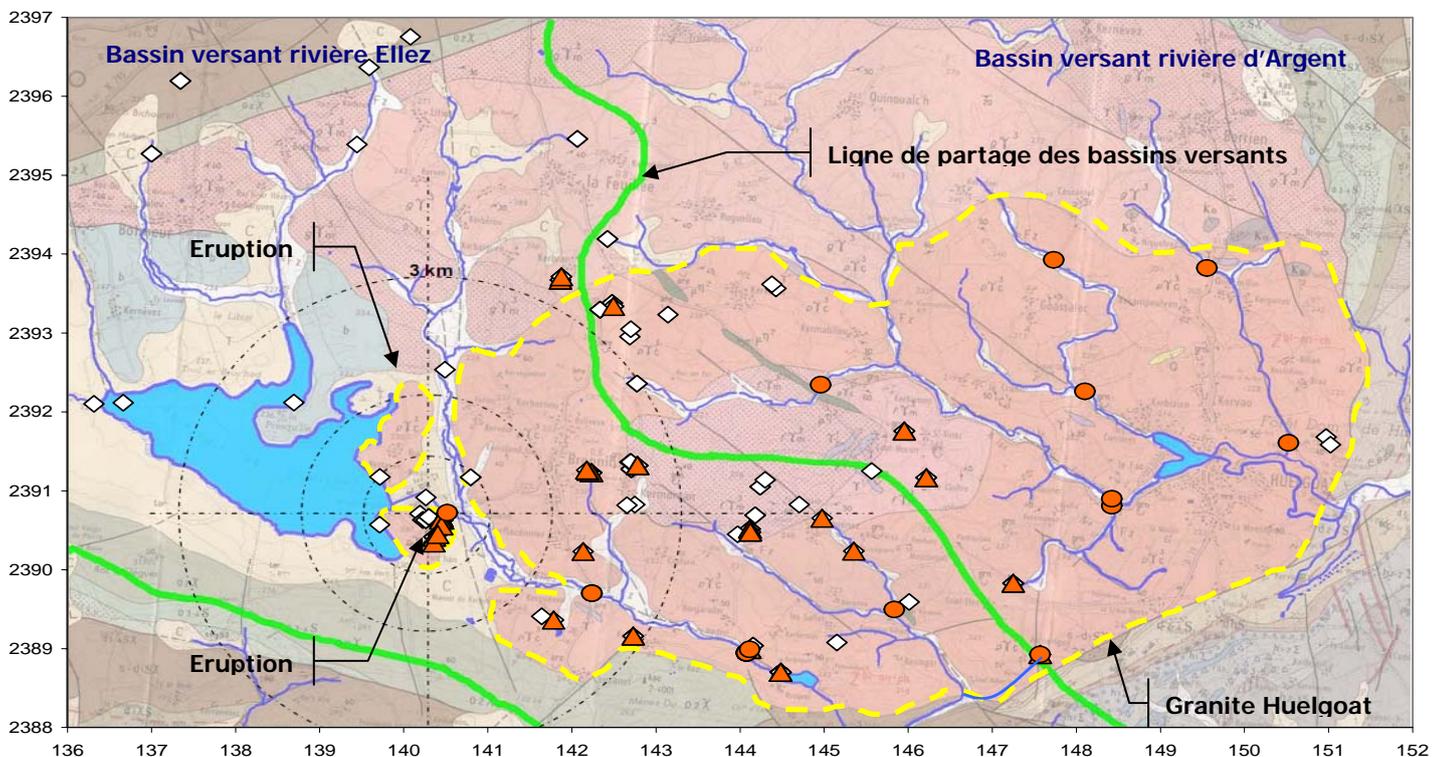


Figure 13-b : localisation des endroits où le "phénomène des Monts d'Arrée" a été mis en évidence à partir des mesures faites par ACRO/LSCÉ depuis octobre 2001 ; les losanges blancs indiquent qu'il a été recherché à l'endroit mais pas trouvé.

- ↪ Le fait que ce phénomène soit constaté sur une vaste étendue et notamment dans des zones humides et cours d'eau qui ne sont pas alimentés par les eaux de l'Ellez, s'oppose à l'idée que les rejets d'effluents liquides (contemporains et passés) de la centrale en sont à l'origine.
- ↪ Le fait que ni les bio-indicateurs atmosphériques du genre des lichens et mousses terrestres, ni les sols non perturbés par les eaux souterraines ne témoignent de l'existence de dépôts d'actinium-227, est un constat qui s'oppose à l'idée que les rejets d'effluents gazeux (contemporains et passés) de la centrale en sont à l'origine.
- ↪ Le fait que les bétons qui enveloppent la cuve nucléaire n'aient pas été démantelés à ce jour (objet de la phase 3 du démantèlement) est un constat qui s'oppose à l'idée que des sous-produits d'activation, comme de l'actinium-227 qui serait éventuellement contenus dans les bétons, aient pu migrer à l'extérieur donc dans l'environnement.

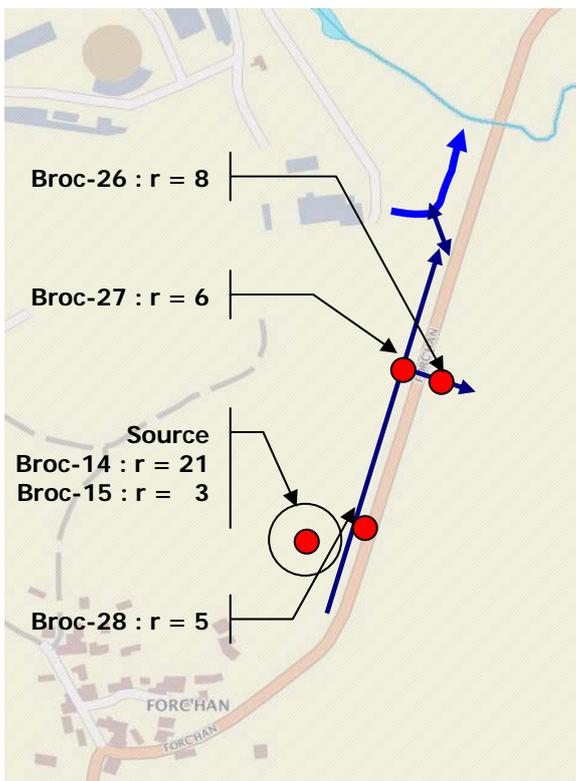
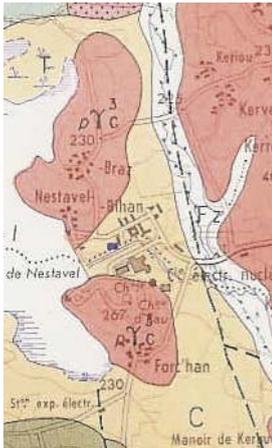
La présence significative d'actinium-227 dans des eaux souterraines non perturbées par les activités nucléaires, comme dans celles du captage profond (- 40 m) de la Vierge situé à Brennilis, atteste que ces eaux se chargent au contact des couches géologiques qu'elles traversent. Leur émergence en surface (résurgences) donne ensuite lieu à des transferts aux sols, sédiments et végétaux qui entraînent les déséquilibres notés pour la famille de l'uranium-235. Ce genre de phénomène se rencontre couramment avec les éléments de la famille de l'uranium-238 comme le radium-226 ou le radon-222 (ascendant du plomb-210 noté aussi en excès).

L'excès d'actinium-227 observé (phénomène des Monts d'Arrée) est donc d'origine naturelle.

13.1.3 Comment expliquer la présence d'actinium-227 dans le chenal ?

Malgré les apparences, cet ancien chenal n'en demeure pas moins un fossé qui a toujours assuré plusieurs fonctions, indépendamment de celle consistant à transporter les effluents liquides dans une conduite en PVC logée au fond. Ces fonctions étaient :

- d'assurer l'écoulement des eaux pluviales précipitées sur la partie sud du site ;
- d'assurer l'exhaure de l'aquifère sous-jacent car à cet endroit le toit de la nappe affleure. Du reste, la résurgence dite de la STE est connue de tous et son tarissement ces dernières années est dû aux pompages intensifs de la nappe.
- d'assurer l'évacuation en cas de trop plein du fossé longeant la route qui mène au hameau Forc'han !!! En effet, il existe une liaison entre ce fossé et le chenal sous la forme d'une continuité du busage en raison de l'impossibilité matérielle de poursuivre le fossé jusqu'à la rivière. Par le passé, les gens étaient avant tout pragmatiques et un fossé ou chenal n'était qu'un moyen d'accéder au cours d'eau le plus proche.



En partie sud-est du site nucléaire, la colline est une enclave plutonique hercynienne (appartenant au granite d'Huelgoat) au milieu d'une formation argilo-tourbeuse qui se rencontre autour du lac Saint-Michel (voir [figure ci-contre](#)). C'est pourquoi les eaux souterraines qui émergent dans cette zone sont obligatoirement chargées en actinium-227 comme en atteste les mesures faites dans une zone sourceuse située au pied de la colline à l'entrée du hameau de Forc'han ([Figure 13-c](#)). A cet endroit, le rapport $^{227}\text{Ac}/(^{227}\text{Th})$ sur $^{235}\text{U}(\text{max})$ est nettement supérieur à 1 dans les sols constitutifs de la résurgence, ce qui témoigne d'un excès manifeste d'actinium-227 ; voir également [Tableau 20](#).

L'écoulement naturel des eaux se fait en direction dudit fossé, lequel se décharge en partie dans le chenal ; tout du long le rapport évoqué est supérieur à 1. Il y a donc là un apport.

Mais le principal apport résulte vraisemblablement de la résurgence dite de la source de la STE qui se jetait directement dans le chenal du temps où la nappe n'était pas pompée.

La demi-vie relativement longue de l'actinium 227 (22 ans) fait que les sols constitutifs du chenal vont conserver la mémoire des anciens apports, comme c'est le cas pour les radionucléides artificiels mis en évidence, et témoigner de sa présence encore de nos jours.

Figure 13-c : rapport du $^{227}\text{Ac}/(^{227}\text{Th})$ sur $^{235}\text{U}(\text{max})$ mesuré dans les sols constitutifs d'une zone sourceuses et du fossé longeant la route ; source [ACRO/LSCE, 2009] d'après prélèvements d'octobre 2007

13.1.4 Résultats saillants

Tableau 18 : résultats des mesures par spectrométrie gamma sur les échantillons de sols prélevés à différentes profondeurs dans la mare dite du « Rusquec », située au croisement des voies communales de Kergaradec et Rosingar. Les résultats sont exprimés en Bq/kg sec. sources [ACRO/LSCE, 2009]. Prélèvements du 7 mars 2007.

	Radionucléides β-γ artificiels			Famille de l'uranium-238			Famille de l'uranium-235		
	60Co	137Cs	241Am	234Th	226Ra	210Pb	235U	227Ac	223Ra
					Maximale		max	(227Th)	219Rn
0-5cm	< 1,1	< 1,8	< 2	1420 ± 17	1575 ± 48	5430 ± 60	88 ± 3	1946 ± 29	1930 ± 60
5-10cm	< 1,8	5,8 ± 3,6	< 7	1197 ± 41	1200 ± 90	4940 ± 150	64 ± 5	1026 ± 46	1160 ± 90
10-15cm	< 0,8	5,8 ± 1,9	< 4	1160 ± 24	1150 ± 50	4250 ± 80	59 ± 3	860 ± 25	920 ± 50
15-20cm	< 0,6	8,3 ± 1,1	< 1,4	673 ± 9	737 ± 24	2096 ± 29	36 ± 2	309 ± 10	297 ± 18
20-25cm	< 0,8	2,0 ± 1,1	< 1,7	699 ± 12	782 ± 33	1630 ± 34	38 ± 2	103 ± 8	76 ± 18

Tableau 19 : résultats des mesures par spectrométrie gamma sur les échantillons de mousses aquatiques prélevées dans des affluents de la rivière d'Argent au voisinage de la ville d'Huelgoat en septembre 2007. Les résultats sont exprimés en Bq/kg sec. Source [ACRO/LSCE, 2009].

	Radionucléides β-γ artificiels			Famille de l'uranium-238			Famille de l'uranium-235		
	60Co	137Cs	241Am	234Th	226Ra	210Pb	235U	227Ac	223Ra
					Maximale		max	(227Th)	219Rn
Site 6B	< 5	< 5	< 8	-	2450 ± 300	370 ± 60	125 ± 23	210 ± 60	710 ± 140
Site 5	< 5	< 5	< 6	-	1780 ± 220	214 ± 42	91 ± 18	37 ± 16	176 ± 45
Site 3	< 5	< 5	< 6	-	1160 ± 150	170 ± 37	55 ± 11	23 ± 12	150 ± 30

Tableau 20 : extrait des résultats des mesures par spectrométrie gamma sur les échantillons de sols prélevés dans les environs du hameau de Forc'han. Les résultats sont exprimés en Bq/kg sec. sources [ACRO/LSCE, 2009]. Prélèvements d'octobre 2007.

	Radionucléides β-γ artificiels			Famille de l'uranium-238			Famille de l'uranium-235		
	60Co	137Cs	241Am	234Th	226Ra	210Pb	235U	227Ac	223Ra
					Maximale		max	(227Th)	219Rn
Dans les « sols » de la zone sourceuse à proximité du hameau Forc'han									
BROC 14	< 0,9	4,8 ± 1,1	< 1,4	512 ± 8	465 ± 21	2413 ± 30	24 ± 1,4	323 ± 10	273 ± 19
BROC 15	< 1,0	4,3 ± 1,2	< 1,5	443 ± 8	450 ± 22	1949 ± 30	23 ± 1,5	272 ± 10	221 ± 19
Le long du fossé									
BROC 26	< 0,7	7,8 ± 0,8	< 1	77 ± 3	289 ± 12	162 ± 7	5,9 ± 0,3	36,8 ± 3,6	37 ± 7
BROC 27	< 1,0	7,1 ± 1,3	< 1	92 ± 4	315 ± 18	206 ± 11	7,6 ± 0,4	54 ± 5	45 ± 11
BROC 28	< 1,4	4,4 ± 1,5	< 2	142 ± 5	557 ± 26	342 ± 15	16,7 ± 0,8	138 ± 8	131 ± 18

14 Références bibliographiques

- [**IRSN, 2010**] Antonelli C. (2010). Etude radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique du site des monts d'Arée (Brennilis). Rapport de l'IRSN référencé DEI/SEISURE n°2010-19.
- [**IRSN, 2003**] Descamps B. (2003). Bilan radioécologique 2002 du site des Monts d'Arée (Brennilis) avant le démarrage de la phase 3 de sa déconstruction. IPSN/DEI/SEISURE, Document 03/09 (P).
- [**ACRO, 0508**] ACRO – non publié. Résultats de l'analyse par spectrométrie gamma d'un Brochet pêché dans l'Ellez le 1^{er} mai 2008 – échantillon référencé 140508-OCR-10.
- [**IPSN, 1994**] Baudin-Jaulent Y. (1994). Etude radioécologique aquatique de centrale EL4 des Monts d'Arée. IPSN/DPEI/SERE, Document 94/041 (P).
- [**IPSN, 1992**] Baudin-Jaulent Y., Pally M., Métivier J.M. (1992). Bilan des connaissances sur l'écologie et la radioécologie du site des Monts d'Arée. IPSN/DPEI/SERE, Document 92/03 (i).
- [**ACRO/LSCE, 2007**] Bernollin A., Bonte P., Lefevre I., Pigree G. (2007). Origine des éléments de la famille de l'Uranium-235 observés dans la rivière Ellez à proximité du réacteur expérimental EL4 en cours de démantèlement. Rapport ACRO/LSCE RAP070615(01)-BRE-v3.
- [**ACRO/LSCE, 2009**] Bernollin A., Bonte P., Lefevre I., Pigree G. (2009). Etude de l'origine des éléments de la famille de l'Uranium-235 observés en excès dans les environs du réacteur expérimental EL4 en cours de démantèlement. Rapport ACRO/LSCE RAP090220(01)-BRE-v1.
- [**ACRO, 2008**] Pigree G. (2008). Analyse des niveaux de la radioactivité dans les environs du centre de stockage FMA-VC de l'Aube - Année 2007. Rapport ACRO RAP080227(01)_CSA_v01
- [**BAUDIN et al., 1991**] J.P. Baudin, A. Lambrechts and M. Pally (1991). Utilisation des mousses aquatiques comme bioindicateurs de contamination radioactive.. Hydroécol. Appl. (1991) Tome 3, pp. 209-240
- [**ACRO, 2003**] Pigree G. et Bernollin A. (2003). Etat des lieux de la radioactivité du bassin versant et de la rade de Brest dans le cadre du contrat de Baie. Rapport ACRO V2- déc. 2003.
- [**ACRO, 1998**] Pigree G. (1998). Point radioécologique zéro (milieu terrestre et aquatique), environnement de Civaux (86). Rapport ACRO référencé SC_PTO_1.RAP, édition du 28/07/98.
- [**ACRO, 1997**] Pigree G. (1997). Point radioécologique zéro (milieu terrestre et aquatique), district de Poitiers. Rapport ACRO référencé DP_PTO_1.RAP, édition du 16/07/97.
- [**CIDEN, 2010**] Gandy P. et Jehl E. (2010). Synthèse de la caractérisation des sols menée par Bouygues TP/AD en 2008 (marché EBZ7007) pour la zone du chenal (secteur B) – Présentation des résultats. Rapport du CIDEN référencé ELIER0900303, 37 pages.
- [**Galle P. et al., 2003**] Pierre Galle, Raymond Paulin, Jean Coursaget (2003). Données météorologiques et évaluation des risques en France lors de l'accident de Tchernobyl (26 avril 1986). Mise au point historique. Débat paru dans C. R. Biologies 326 (2003) p. 699–715.
- [**Renaud Ph. et al., 2005**] Interprétation Phénoménologique et Analytique de la relation pluie-dépôt utilisée pour la reconstitution des dépôts de Césium-137 en France consécutif à l'accident de Tchernobyl ». Rapport de l'IRSN référencé :DEI 2005-03
- [**Belot Y. et al., 1996**]: BELOT Y, ROY M et METIVIER H (1996) – Le tritium de l'environnement à l'homme. 191 p. Collection IPSN, les éditions de physique, Paris

15 Annexes

15.1 Poissons – résultats disponibles

Tableau 21 : Résultats d'analyses radiologiques faites depuis décembre 1979 sur divers poissons pêchés le long de l'Ellez, à la fois dans le lac Saint-Michel et dans l'Ellez en aval de la centrale de Brennilis.

Date	Variété	Fraction	ALPHA		BETA-GAMMA			BETA PUR			
			239+240Pu	241Am	137Cs	60Co	134Cs	Carbone 14	OBT Bq / L eau de combustion	90Sr	63Ni
			Bq/kg frais		Bq / kg frais			Bq / kg de carbone		Bq / kg frais	
DANS LE LAC SAINT-MICHEL											
mai-08	Perche	muscle	< 0,00005	< 0,00001	8,8 ± 0,9	< 0,2	< 0,2	234 ± 2,7	1,95 ± 0,1		
juil.-02	Perche	Entier		< 0,2	1,6 ± 0,2	< 0,2	< 0,08			24 ± 2	Pb
juil.-02	Brochet	Entier						249 ± 7	1,8 ± 0,8		
juin-93	Perche	Entier			1,4 ± 0,1			Pb			
juin-93	Rotengle	Entier			1,9 ± 0,1				8,5		
DANS L'ELLEZ, EN AVAL DE L'INSTALLATION JUSQU'AU AU RESERVOIR ST-HERBOT											
juin-08	Perche	muscle	< 0,00012	< 0,00009	1,5 ± 0,2	< 0,2	< 0,2	233 ± 1,7	2,64 ± 0,13		
mai-08	Brochet	muscle		< 0,2	3,2 ± 0,4	< 0,2	< 0,2				
juil.-02	Perche	Entier		< 0,2	1,5 ± 0,2	< 0,1	< 0,08				
juil.-02	Perche	Entier		< 0,2	1,2 ± 0,2	< 0,2	< 0,1				
juil.-02	Brochet	Entier							17 ± 2		
juil.-02	Brochet	Entier						275 ± 7	2,2 ± 1,6		
juil.-02	Gardon	Entier						259 ± 7		26 ± 2	Pb
juil.-02	Gardon	Entier								12,5 ± 0,7	Pb
juin-93	Perche	Entier			2,1 ± 0,1			Pb			
juin-93	Brochet	Entier			4,6 ± 0,2					5,2 ± 0,1	Pb
juin-93	Rotengle	Entier			2,7 ± 0,1				39		
juin-93	Truite fario	Entier			3,5 ± 0,2						
juin-93	Rotengle	Entier			3,1 ± 0,2				10		
juin-93	Gardon	Entier			2,0 ± 0,1						
juin-93	Perche	Entier						Pb			
mai-84	Vairons				10 ± 2	3,5 ± 0,6	0,3 ± 0,05	1748	1633 *		
mai-84	Truite				20,9 ± 2,1	0,6 ± 0,08	0,7 ± 0,08	607	747 *		
déc.-80	Anguille								1030 ± 11		
déc.-80	Vairons				3,9 ± 0,6	0,3 ± 0,07	0,3 ± 0,04				
déc.-79	Anguille	Entier			14 ± 0,7						
déc.-79	Truite (1 an)	Entier			17 ± 2,5	1,9 ± 1,3					
déc.-79	Truite (2 ans)	Entier			14 ± 0,7						
déc.-79	Truite (3 ans)	Entier			5,7 ± 0,6						

Les sources sont : [IRSN, 2010], [IRSN, 2003], [ACRO, 0508], [IPSN, 1994], [IPSN, 1992]

(*) Résultat exprimé en Bq/kg de matière organique

Pb signifie que les auteurs ont considéré le résultat obtenu non fiable

15.2 Végétaux aquatiques - résultats disponibles

Tableau 22 : [VOLET N°1] Résultats d'analyses radiologiques concernant le 239+240Pu, 241Am, 14C, tritium (OBT), 90Sr et 63Ni sur les végétaux aquatiques, notamment les mousses aquatiques, prélevés depuis 1979 dans différents cours d'eau dans un rayon d'environ 10km autour de la centrale de Brennilis.

Date	Genre	Espèce	Localisation	(LAMBERT II étendu)		ALPHA		BETA PUR			
						239+240Pu	241Am	14C	OBT	90Sr	63Ni
						X	Y	Bq / kg sec	Bq/Kg de carbone	Bq/L eau de combustion	Bq / kg sec
HORS INFLUENCE des rejets liquides du site											
Très peu, voire pas du tout, concerné par les retombées des effluents gazeux du site											
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	144,96	2392,35		< 1,7				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	150,52	2391,61		< 6				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	149,55	2393,82		< 6				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	147,73	2393,93		< 6				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,10	2392,26		< 6				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,42	2390,90		< 4				
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,42	2390,81		< 8				
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Baldingère	Saint-Michel	139,78	2391,57			Pb	3,8		
08/07/2002	Mousses aquatiques	Scapania undulata	Roudouhir	138,54	2394,43		< 2				
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Potamot flottant	Roudouhir	138,71	2393,00		< 0,5	246 ± 7	< 1,4	25 ± 2	Pb
19/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Roudouhir	139,44	2395,39		< 5				
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez – amont Saint-Michel	134,40	2391,88		< 6				
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Saint-Michel	138,69	2393,15				< 1,3		
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent Ellez	145,83	2389,49		< 4				
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent Ellez	147,57	2388,92		< 2,3				
05/06/2007	Végétaux aquatiques		affluent Ellez	145,35	2390,23		< 0,9				
05/06/2007	Végétaux aquatiques		affluent Ellez	144,98	2390,65		< 1,7				
28/11/2006	Mousses aquatiques	Fontinale	marre - zone sourceuse	144,12	2388,99		< 5				
peut être plus concerné par les retombées des effluents gazeux du site											
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Roudoudour	140,49	2392,54		< 4				
INFLUENCE PAR LES REJETS LIQUIDES DU SITE											
DANS L'ELLEZ, EN AVAL DE L'INSTALLATION JUSQU'AU AU RESERVOIR ST-HERBOT											
24/12/1979	Mousses aquatiques		Ellez - aval INB	141,54	2389,82						
01/06/1993	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,54	2390,70					4,2 ± 0,3	
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Myriophylle	Ellez - aval INB	140,54	2390,70			Pb	21		1,43 ± 0,4
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Myriophylle	Ellez - aval INB	144,07	2388,98			Pb	5,4		
06/10/2001	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72		< 6				
08/07/2002	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,07	2388,93		< 0,9				
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Potamot flottant	Ellez - aval INB	140,52	2390,71		< 0,7	252 ± 7	80 ± 30	43 ± 3	0,39 ± 0,1
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	144,07	2388,93		< 2	260 ± 7	9 ± 1	13 ± 2	0,5 ± 0,1
23/07/2002	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,71		< 2				
17/02/2003	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72		< 6				
21/03/2003	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95		< 5				
24/02/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95		< 6				
24/02/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72		< 6				
27/04/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95		< 6				
19/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	142,24	2389,70		< 4				
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95		< 4				
25/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95		< 6				
25/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	142,24	2389,70		< 5				
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	140,64	2390,69				10,6 ± 0,7		
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	144,06	2389,02				< 1,3		

Les sources sont : [ACRO, 2003] [ACRO/LSCE, 2007] [ACRO/LSCE, 2009] [IRSN, 2010] [IPSN, 1994] [IPSN, 1992]

Pb signifie que les auteurs ont considéré le résultat obtenu non fiable

Tableau 23 : [VOLET N° 2] Résultats d'analyses radiologiques concernant les radionucléides bêta-gamma artificiels (60Co et 137Cs) ainsi des éléments appartenant la famille de l'uranium-235 sur les végétaux aquatiques, notamment les mousses aquatiques, prélevés depuis 1979 dans différents cours d'eau dans un rayon d'environ 10km autour de la centrale de Brennilis.

Date prélèvement	Genre	Espèce	Localisation	(LAMBERT II étendu) X Y		GAMMA ARTIFICIEL		GAMMA NATUREL		
						60Co	137Cs	235Umax	227Ac = 227Th	223Ra = 219Rn
						Bq / kilogramme de matière sèche (Bq/kg sec)				
HORS INFLUENCE des rejets liquides du site										
Très peu, voire pas du tout, concerné par les retombées des effluents gazeux du site										
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	144,96	2392,35	< 1,1	9,7 ± 1,4	4,4 ± 0,3	51 ± 6	60 ± 12
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	150,52	2391,61	< 5	< 5	37 ± 9	-	38 ± 17
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	149,55	2393,82	< 5	< 5	55 ± 11	23 ± 12	150 ± 30
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	147,73	2393,93	< 5	< 5	60 ± 14	-	78 ± 31
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,10	2392,26	< 5	< 5	91 ± 18	37 ± 16	176 ± 45
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,42	2390,90	< 3	< 3	13 ± 3,9	-	31 ± 10
18/09/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent riv. Argent	148,42	2390,81	< 5	< 5	125 ± 23	210 ± 60	710 ± 140
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Baldingère	Saint-Michel	139,78	2391,57		1,9 ± 0,2			
08/07/2002	Mousses aquatiques	Scapania undulata	Roudouhir	138,54	2394,43	< 0,7	5,1 ± 0,6			
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Potamot flottant	Roudouhir	138,71	2393,00	< 0,5	3,4 ± 0,4			
19/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Roudouhir	139,44	2395,39	< 4	3,8 ± 2		< 15	< 36
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez – amont Saint-Michel	134,40	2391,88	< 6	27 ± 4,8		< 24	< 60
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Saint-Michel	138,69	2393,15					
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent Ellez	145,83	2389,49	< 3	3,3 ± 1,5	34 ± 7	37 ± 13	85 ± 17
05/06/2007	Mousses aquatiques	Fontinale	affluent Ellez	147,57	2388,92	< 1,2	3,7 ± 1,1	13 ± 0,5	309 ± 11	323 ± 18
05/06/2007	Végétaux aquatiques		affluent Ellez	145,35	2390,23	< 0,9	5,4 ± 1,2	9,9 ± 0,7	21,9 ± 4	22 ± 9
05/06/2007	Végétaux aquatiques		affluent Ellez	144,98	2390,65	< 1	12 ± 1,6	18 ± 1	90 ± 7	87 ± 14
28/11/2006	Mousses aquatiques	Fontinale	marre - zone sourceuse	144,12	2388,99	< 4	2,3 ± 1,5	-	170 ± 50	311 ± 66
peut être plus concerné par les retombées des effluents gazeux du site										
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Roudoudour	140,49	2392,54	< 3	2,7 ± 1,6		< 14	< 32
INFLUENCE PAR LES REJETS LIQUIDES DU SITE										
DANS L'ELLEZ, EN AVAL DE L'INSTALLATION JUSQU'AU AU RESERVOIR ST-HERBOT										
24/12/1979	Mousses aquatiques		Ellez - aval INB	141,54	2389,82	253 ± 51	152 ± 61			
01/06/1993	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,54	2390,70	136 ± 6,6	5,2 ± 0,7			
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Myriophylle	Ellez - aval INB	140,54	2390,70	14 ± 0,7	2,7 ± 0,4			
01/06/1993	Végétaux aquatiques	Myriophylle	Ellez - aval INB	144,07	2388,98	5,2 ± 0,5	2,8 ± 0,3			
06/10/2001	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72	18,7 ± 4,1	5,5 ± 2,9		< 23	220 ± 40
08/07/2002	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,07	2388,93	5,6 ± 0,9	4,9 ± 0,6			
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Potamot flottant	Ellez - aval INB	140,52	2390,71	2,8 ± 0,5	3,4 ± 0,4			
08/07/2002	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	144,07	2388,93	1,1 ± 0,3	3,9 ± 0,4			
23/07/2002	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,71	27 ± 4	5,9 ± 0,6			
17/02/2003	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72	58 ± 8	16 ± 3,5		< 22	< 52
21/03/2003	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95	5,6 ± 2,2	< 4		20 ± 10	119 ± 32
24/02/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95	< 6	< 5		-	94 ± 34
24/02/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	140,52	2390,72	< 6	5,6 ± 3,3		-	-
27/04/2004	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95	1,9 ± 1,2	< 6		24 ± 13	64 ± 30
19/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	142,24	2389,70	3,5 ± 1,8	6 ± 1,9		< 14	32 ± 11
20/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95	< 4	4,4 ± 1,8		16 ± 9	93 ± 20
25/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	144,08	2388,95	10,4 ± 3,1	< 6		25 ± 14	141 ± 40
25/10/2005	Mousses aquatiques	Fontinale	Ellez - aval INB	142,24	2389,70	< 5	< 5		-	57 ± 18
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	140,64	2390,69					
14/05/2008	Végétaux aquatiques	Renoncule	Ellez - aval INB	144,06	2389,02					

Les sources sont : [ACRO, 2003] [ACRO/LSCE, 2007] [ACRO/LSCE, 2009] [IRSN, 2010] [IPSN, 1994] [IPSN, 1992]