

ACRO

ASSOCIATION POUR LE CONTRÔLE
DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'OUEST

2012
2013

Etude des niveaux de radioactivité dans les environs du centre de stockage CSFMA de l'Aube

Phase 2 (volets 1 à 4)

RAP(1)130910-CSA-v1

Version du 10/09/13

Etude réalisée à la demande de la CLI de Soulaines



Feuille Qualité :

DEMANDE	
Mission	Etude des niveaux de radioactivité dans les environs du centre de stockage de l'Aube (CSFMA)- Phase 2
Demandeur	CLI de Soulaines Domaine Saint-Victor 10200 Soulaines-Dhuys
Commande	Du 22/02/12

REALISATION	
Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest 138 rue de l'Eglise 14200 HEROUVILLE SAINT CLAIR tél. : 02.31.94.35.34 / fax : 02.31.94.85.31	
Responsables Scientifiques	P. BARBEY, M. JOSSET, G. PIGREE
Auteurs	M. JOSSET, A. MIGEON
Prélèvements	A. BERNOLLIN, E. DUNAND, M. JOSSET, A. MIGEON, G. ROUGIER
Mesures <i>in situ</i>	A. BERNOLLIN, M. JOSSET
Traitement des échantillons	E. DUNAND, G. ROUGIER
Analyses	de E. DUNAND, A. MIGEON, M. JOSSET, G. ROUGIER radioactivité :

DOCUMENT	
Date d'édition	le 10/09/13
Identification	RAP(1)130910-CSA-v1
Version n°	01
Pages (nombre)	34 pages (+ 29 pages d'annexe)
Objet	Rapport concernant les volets 1 ; 2 ; 3 et rapport intermédiaire du volet 4.
Paramètres	éléments radioactifs : Tritium, Carbone-14, Chlore-36, Nickel-63, Cobalt-58, Cobalt-60, Strontium-90, Ruthénium-106, Argent-110m, Antimoine-124, Antimoine-125, Iode-129, Iode-131, Césium-134, Césium-137, Pu-238, Pu-239+Pu240, Américium-241, indice alpha global, indice bêta global. autres : granulométrie lieu(x) : Centre de Stockage de l'Aube (CSA), Région de Soulaines-dhuys

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

--

Sommaire

Présentation du travail	5
1. Contexte.....	5
2. Articulation du rapport.....	5
3. Eléments techniques de compréhension.....	6
Le centre de stockage des déchets de faibles et moyennes activités de l'Aube (CSA)	6
Autres installations possédant des autorisations de rejets à caractères radioactifs	7
Synthèse et conclusion.....	9
1^{ère} partie : Volet 1	10
Campagne de mesure des niveaux de radioactivité dans les environs du CSA ; Suivi et élargissement du référentiel.....	10
Présentation.....	10
Localisation des prélèvements.....	11
Résultats et commentaires.....	12
A. Milieu aquatique	12
A.1 Les eaux souterraines.....	12
Lieux de prélèvements :	12
Analyses :	13
Résultats :	13
A.2 Les eaux de surface et les sédiments	15
Lieux de prélèvements :	15
Analyses :	15
Résultats :	16
Les eaux de surface :	16
Les sédiments :	17
Note d'information n°1.....	17
Note d'information n°2.....	19
B. Milieu terrestre	21
B.1 Les sols, mats et couvert végétal	21
Lieux de prélèvements :	22
Analyses réalisées :	22
Résultats :	22
Les sols et les mats :	22
Le couvert végétal :	23
C. La chaîne alimentaire	24
C.1 Les produits du jardin.....	24
Analyses réalisées :	24
Résultats :	24
C.2 Le gibier et les poissons d'eau douce.....	25
Analyses réalisées :	25
Résultats :	25
D. Les vignobles.....	26
D.1 Le sol des parcelles et le raisin	26
Analyses réalisée :	26
Résultats :	26

2ème partie : Volet 2	27
Mesure de l'irradiation externe	27
<i>Résultats et Commentaires</i>	27
A. Cartographie des débits de dose autour du CSA.....	28
B. Autres mesures	30
3ème partie - Volet 3	31
Implantation de mousses aquatiques exogènes	31
Méthode.....	31
Lieux et durée d'implantation	32
Analyses réalisées	32
Résultats	32
4ème partie - Volet 4 (rapport intermédiaire)	33
Biosurveillance par les abeilles	33
<i>Etude des produits de la ruche – année 1/3</i>	33
Lieux d'implantation des ruches.....	33
Produits analysés.....	34
Analyses réalisées :	34
Résultats :	34

ANNEXES

Présentation du travail

1. Contexte

Dans le cadre de sa mission d'information, la CLI de Soulaïnes a souhaité réaliser en 2012 des analyses dans l'environnement autour du centre de stockage de l'Aube (CSA). L'objectif est de poursuivre l'étude¹ réalisée par la CLI en 2007 afin :

- de suivre l'évolution des niveaux de radioactivité en renouvelant les mêmes analyses,
- d'élargir le référentiel à partir de nouvelles investigations.

A cette fin, un plan de surveillance et d'analyses a été proposé afin de répondre au mieux au cahier des charges demandé. Celui-ci se décompose en 4 volets :

1. Prélèvements et analyses d'échantillons prélevés dans les domaines terrestres et aquatiques du site du CSA et dans ses environs,
2. Mesures des niveaux d'irradiation (débit de dose) autour du périmètre du CSA, durant un jour d'activité du site et un jour d'inactivité,
3. Implantation de mousses aquatiques exogènes afin d'évaluer la qualité radiologique des eaux de surfaces (Noues d'Amances),
4. Utilisation des abeilles, et par extension des produits de la ruche, pour la surveillance radiologique de l'environnement.

Ainsi, le périmètre de l'étude a porté à la fois sur le secteur proche du centre mais également sur d'autres lieux plus éloignés afin de prendre en considération les enjeux locaux (les vignobles par exemple). La réalisation des trois premiers volets de l'étude s'est effectuée en 2012-2013, le dernier volet, repose quant à lui sur un suivi d'une durée de trois ans (2012-2014).

L'élaboration et le suivi du projet ont été réalisés par la CLI au travers la mise en place d'un comité de pilotage permettant l'implication de ses membres dans chacune de ses étapes. Cette implication forte, permet, à travers cette étude, de construire une information qui tient compte des spécificités de la région et des questionnements particuliers.

Comme en 2007, un tel travail a également impliqué que l'engagement soit partagé par l'industriel. Ainsi, dans le cadre d'une convention tripartite, l'ANDRA a donné l'autorisation de pénétrer à l'intérieur de l'installation nucléaire afin de pouvoir prélever « au pied » des ouvrages de stockage de déchets. L'ANDRA a toutefois demandé à pouvoir « doubler » l'ensemble des mesures.

2. Articulation du rapport

Après un rappel succinct de l'activité du centre de stockage de l'Aube depuis sa création, le rapport s'articule en quatre parties :

Dans la première partie (Volet 1) les moyens mobilisés par l'ACRO pour mesurer la radioactivité dans l'environnement concerné sont décrits et les résultats obtenus commentés et comparés avec ceux obtenus en 2007 ; le détail des résultats figure en annexe ;

Dans la seconde partie (Volet 2) sont présentés les résultats des mesures du débit de dose lié au rayonnement gamma ambiant réalisées le long de la clôture du CSA et en d'autres lieux de la région de Soulaïnes ;

¹ Analyses des niveaux de radioactivité dans les environs du centre de stockage FMA-VC de l'Aube, Etude réalisée en 2007 par l'ACRO.

Dans la troisième partie (Volet 3), la bio-surveillance mise en place par l'intermédiaire de l'implantation de mousses aquatiques exogènes ; Les moyens mobilisés par l'ACRO sont décrits et les résultats commentés ; le détail des résultats figure en annexe ;

Dans la quatrième partie (Volet 4), la bio-surveillance mise en place par l'intermédiaire des abeilles présentant les premiers résultats commentés ; le détail des résultats obtenus pour la première année figure en annexe ;

L'ensemble des résultats et la méthodologie mise en œuvre lors des prélèvements et de l'analyse des échantillons sont présentés en **annexe** de ce rapport.

3. Eléments techniques de compréhension

Le centre de stockage des déchets de faibles et moyennes activités de l'Aube (CSA)

Depuis l'ouverture du centre, il y a vingt ans, les déchets radioactifs dits de faibles et moyennes activités à vie courte sont acheminés au CSA pour y être stockés définitivement. D'origines multiples, mais principalement issus de l'exploitation et du démantèlement des installations nucléaires, ces déchets ont généralement une double particularité : ne pas être « trop radioactifs » et perdre leur propriété radioactive après quelques siècles.

Le CSA a pour vocation la rétention des radionucléides le temps nécessaire à leur élimination, dite par décroissance radioactive ; Pour autant il existe des rejets contrôlés dans l'atmosphère et les eaux de la rivière les Noues d'Amance. L'optimisation du conditionnement de certains déchets, qui par suite de compactage libèrent des éléments radioactifs, en constitue une origine. Les autorisations de rejets fixés par l'arrêté du 21 août 2006 sont présentées dans le tableau 1.

S'il est aisé de trier les déchets en fonction de leur niveau de radioactivité, en revanche il est quasiment impossible de trier leur contenu pour garantir que la totalité des éléments radioactifs soit d'une seule « sorte » ou d'une durée de vie courte par exemple. De nombreux radionucléides aux caractéristiques nucléaires et chimiques très différentes coexistent donc au sein des déchets. Pour illustration, on dénombre au moins 143 radionucléides différents reçus depuis l'ouverture du centre. Aux côtés du cobalt-60, un radio-isotope du cobalt prépondérant dans les déchets et qui sera totalement « éliminé » après 1 siècle de stockage, on retrouve du nickel-63 et en plus faible proportion du carbone-14, deux radionucléides dont « l'élimination » sera effective après respectivement plus de 1000 et 100 000 ans.

Appartenant à différentes familles chimiques dont ils héritent les propriétés, tous ces radionucléides n'ont pas les mêmes capacités de migration. Des éléments radioactifs comme l'iode-129, le tritium, le carbone-14 ou encore le chlore-36, réputés plutôt « mobiles », sont délicats à conserver dans les colis de déchets. Ils pourront, en théorie, influencer les écosystèmes en l'absence de toute action humaine ou extérieure, ce qui ne sera pas le cas avec de nombreux autres, comme avec les isotopes du plutonium (stockés également), réputés peu mobiles.

Cette variété implique également des émissions (rayonnement) différentes et donc l'existence de déchets plus ou moins irradiants selon la quantité de radionucléides dits « émetteurs gamma » qu'ils contiennent.

Libérés dans les écosystèmes par suite ou non de l'action de l'homme, le devenir des radionucléides dépendra largement de leurs caractéristiques physico-chimiques.

- Dans les eaux, alors que le tritium ou le chlore-36 circuleront librement sans nourrir d'affinité particulière avec les éléments de la faune et de la flore, en revanche le césium-137 se fixera préférentiellement sur les sédiments où il pourra s'accumuler ; la proportion de particules fines sera un facteur important de variation des concentrations.
- Dans l'air, le carbone-14 ne tardera pas à rejoindre le cycle du gaz carbonique et pourra se fixer dans les plantes comme les arbres par photosynthèse et « s'accumuler » dans une certaine mesure. Alors que du nickel-63 émis dans l'atmosphère restera sous la forme d'aérosols qui se déposeront rapidement au sol pour être fixés par celui-ci et s'y accumuler sans pour autant être transférés aux plantes car elles n'ont pas d'affinité connue avec celui-ci.

- **Etat actuel des ouvrages**

On compte environ 290 000 m³ de colis de déchets livrés au CSFMA depuis son ouverture, représentant environ 27% de sa capacité de stockage autorisée. Le flux annuel des livraisons se situe autour de 12 000 m³ (12 354 m³ pour l'année 2012).

Fin 2012, 4 nouveaux ouvrages ont été fermés, ce qui porte à 116 le nombre total d'ouvrages contenant des colis de déchets radioactifs.

Concernant les capacités radiologiques, 19 radioéléments font l'objet de limitations. A la fin 2012, les parts de capacités consommées pour ces radioéléments sont inférieures à la consommation de capacité en volume (27%), à l'exception du chlore 36 qui arrive à près de 90% de sa capacité.

De même l'activité globale alpha comptabilisée à 300 ans est limitée. Celle-ci est estimée à partir des activités entrantes mais ne prend pas en compte la contribution des émetteurs alpha créés par la désintégration d'autres éléments² stockés sur le centre (cas du plutonium-241).

Tableau 1 : Autorisations de rejet annuel du centre CSFMA de l'Aube (arrêté du 21 août 2006) : valeurs limites concernant les rejets atmosphérique et liquides et rejets effectifs pour l'année 2012 (source ANDRA³) en MBq.

Rejets atmosphériques	Limite Activité annuelle en MBq	Rejets effectifs en 2012 (MBq)
Tritium	50 000	240 (*)
Carbone 14	5 000	46
Iodes	20	0,036
Autres émetteurs bêta-gamma	0,2	0,0069
Emetteurs alpha	0,02	0,00058
Rejets liquides	Limite Activité annuelle en MBq	Rejets effectifs en 2012 (MBq)
Tritium	5 000	0,2
Carbone 14	120	0,21
Autres émetteurs bêta-gamma	100	0,06
Emetteurs alpha	0,4	0,0024

Note : MBq = Mega Becquerel = 1 .10⁶ Bq = 1 Million de Becquerel.

(*) Forme physico-chimique des rejets triés atmosphériques : 95% sous forme de vapeur d'eau (HTO) et 5% sous forme gazeuse (HT) [d'après rapport annuel 2012 de l'ANDRA].

Autres installations possédant des autorisations de rejets à caractères radioactifs.

A quelques kilomètres du CSA, existent deux autres installations dont les activités sont liées à la gestion des déchets radioactifs.

- **Le CIRES (CSTFA)**

Le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (CIRES), exploité par l'Andra, est situé à quelques kilomètres du CSA, sur les communes de Morvilliers et de La Chaise. Il est autorisé depuis 2003 à stocker des déchets de très faible activité. Fin 2011, environ 31 % de sa capacité totale de stockage autorisée (650 000 m³) étaient atteints.

Depuis l'automne 2012, le CIRES accueille deux nouvelles activités : le regroupement et l'entreposage de déchets non électronucléaires, provenant des hôpitaux, de la recherche, des laboratoires pharmaceutiques ou d'autres filières industrielles. Il s'agit également d'objets anciens détenus par des particuliers.

² L'américium 241, émetteur alpha créé par la désintégration du plutonium 241, émetteur bêta, stockés sur le centre, n'est pas pris en compte dans la comptabilité des émetteurs alpha présents sur le site ; voir pour plus d'informations l'annexe 3 du rapport ACRO RAP080227(01)-CSA-v01 de février 2008.

³ Bilan annuel de la surveillance du Centre et de son environnement (CSA INB N°149) Année 2012

Tableau 2 : Autorisations de rejet annuel (en MBq) du CIRES (sources ANDRA⁴)

Rejets atmosphériques	Limite Activité annuelle en MBq	Rejets effectifs année 2012 (MBq)
Tritium	30 000	45,2
Carbone 14	1 000	75,8
Iodes	2	0,00656
Emetteurs bêta	0,2	0,00063
Emetteurs alpha	0,02	0,00033

• **Site DAHER**

Ouvert en 2010, l'activité du site DAHER situé dans la zone industrielle des grands-champs à Epothémont, intervient dans la filière de collecte des déchets TFA. Outre son activité liée à la logistique de collecte, le site contient également un centre de reconditionnement et de caractérisation des déchets (station STARC) pour rendre les déchets conformes et acceptables au CIRES.

Classé ICPE, l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation délivré le 26 mars 2010, modifié par un arrêté complémentaire du 25 avril 2012, fixe ses autorisations de rejets (cf. Tableau 3).

Tableau 3 : Autorisations 2012 de rejet annuel (en MBq) de l'installation STARC de l'entreprise DAHER située dans la commune d'Epothémont (sources Préfecture de l'Aube^{5 et 6})

Rejets atmosphériques	Limite Activité annuelle en MBq	Rejets effectifs année 2011 (MBq)
Tritium	15 000	1 150
Carbone 14	300	3,18
Iodes 129	0,04	<SD (*)
Emetteurs bêta	0,2	0,2
Emetteurs alpha	0,022	0,0081

(*) Inférieur au seuil de décision

⁴ Rapport annuel 2012 du CSTFA (Cires)

⁵ Arrêté Préfectoral du 25 avril 2012

⁶ Compte rendu de la réunion du 6/12/12 de la Commission de suivi du site de l'entreprise DAHER SNC située à Epothémont.

Synthèse et conclusion

Cette étude répond au souhait de la CLI de Soulaines de poursuivre le travail engagé en 2007 qui avait pour but de dresser un premier bilan environnemental après quinze années d'exploitation du CSA. Cinq ans plus tard, l'objectif est ici de suivre l'évolution des niveaux de radioactivité rencontrés et de permettre, à partir de nouvelles investigations, d'en élargir la connaissance.

A cette fin, le travail s'est articulé en 4 volets complémentaires visant à connaître la situation radiologique actuelle et d'en évaluer les évolutions :

- volet 1. Mesures dans l'environnement aquatique et terrestre du CSA et dans ses environs,
- volet 2. Evaluation des niveaux d'irradiations autour du périmètre de l'installation nucléaire,
- volet 3. Implantation de végétaux aquatiques afin d'évaluer la qualité radiologique des eaux de surface,
- volet 4. Bio-surveillance réalisée par les abeilles au travers de l'analyse des produits de la ruche.

L'élaboration et le suivi du projet ont été réalisés par la CLI au travers la mise en place d'un comité de pilotage permettant l'implication de ses membres dans chacune de ses étapes.

La réalisation des trois premiers volets s'est effectuée en 2012 et 2013, le dernier volet, repose quand à lui sur un suivi d'une durée de trois ans (2012-2014).

Il ressort de ce travail que la situation radiologique constatée n'est pas très différente de celle couramment observée ailleurs, sur le territoire métropolitain, dans des endroits non perturbés par les rejets industriels.

A l'intérieur du site nucléaire, seul du tritium est détecté dans les eaux souterraines du piézomètre DS62, situé à l'aplomb de la première ligne de stockage des déchets, avec une concentration inférieure à 10 Bq/L. La présence de Cobalt-60 et de Nickel-63 mis en évidence en 2007 dans les sédiments du bassin d'orage n'est plus observée en 2012. De même le rapport des activités des isotopes du plutonium reste conforme à celui des retombées des essais nucléaires.

A l'extérieur du site, aucune anomalie n'est notée dans les échantillons prélevés dans l'environnement que ce soit, dans les eaux, dans les indicateurs inertes ou biologiques (sédiments, sols, herbe), ou bien, dans les investigations menées dans la chaîne alimentaire (végétaux, légumes, poissons, etc.).

Les analyses réalisées sur les végétaux aquatiques (Bryophytes) ne révèlent la présence d'aucun apport de radioéléments artificiels émetteurs gamma pouvant provenir des rejets du CSA durant leur période d'implantation dans les Noues d'Amances (35 jours).

Toutefois, les mesures de débits de dose réalisées le long de la clôture du CSA montrent l'existence d'une exposition plus importante à l'Est du site et au voisinage du bâtiment de transit. L'entreposage des déchets radioactifs explique ce constat. Cette situation reste semblable à ce qui avait été constaté il y a cinq ans. Notons également que les valeurs mesurées un jour d'activité puis un jour d'inactivité (samedi) ne présentent pas de différences notables ; néanmoins, en période d'activité, la présence de camions de transport de déchets radioactifs stationnés sur le parking, peut contribuer à augmenter temporairement le niveau d'exposition à l'entrée du site.

Cette étude s'inscrit dans la démarche initiée en 2007 par la CLI, d'une construction d'un référentiel de connaissance. Outre d'actualiser le bilan environnemental, ce travail en élargit la portée permettant ainsi, de suivre dans le temps de nouveaux paramètres. La recherche bas seuil de radioéléments spécifiques tels le carbone-14 ou le tritium organiquement lié ainsi que la mise en place d'une bio-surveillance (par l'intermédiaire des abeilles) constituent des apports novateurs dans ce domaine.

1^{ère} partie : Volet 1

Campagne de mesure des niveaux de radioactivité dans les environs du CSA ; Suivi et élargissement du référentiel

Présentation

En 2007, l'ACRO a réalisé pour le compte de la CLI de Soulaines, un « état des lieux » de la radioactivité autour du centre de stockage de l'Aube. Cinq ans après, de façon à appréhender une éventuelle évolution des niveaux de radioactivité, l'approche choisie (choix des sites, matrices et type d'analyse) est relativement similaire. Ainsi, les prélèvements ont concerné différentes matrices environnementales issues des domaines aquatiques et terrestres afin de prendre en compte les conséquences potentielles des rejets atmosphériques et liquides du centre, comme le montre l'analyse de situation ci-dessous.

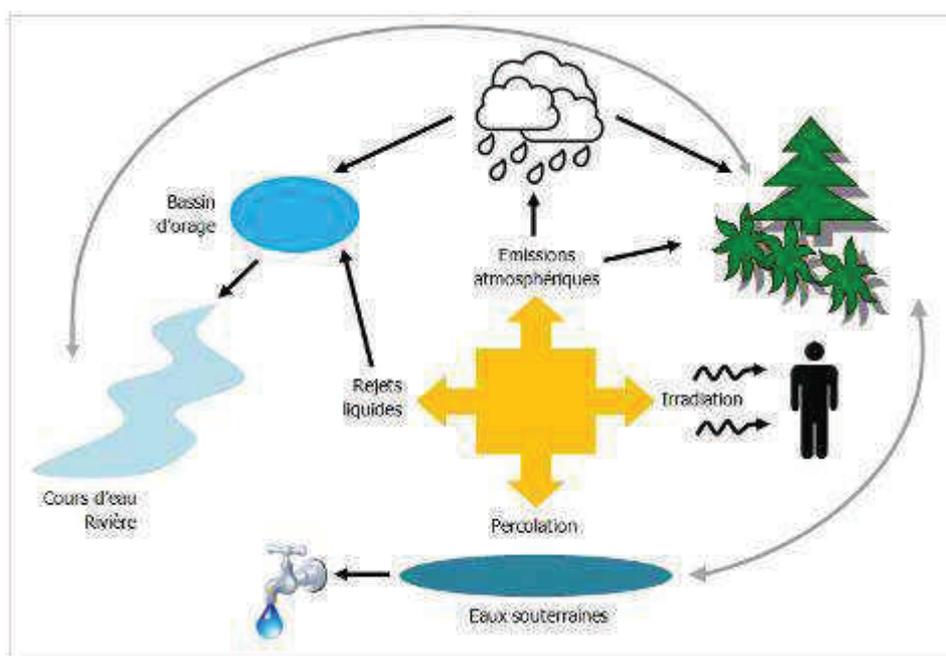


Figure 1 : Schéma des interactions entre le CSA et son milieu environnant.

Afin de répondre au souhait de la CLI d'élargir le référentiel, de nouvelles investigations ont également été menées comme par exemple, sur le gibier et les poissons, mais également sur la recherche de radionucléides spécifiques tels le carbone-14 et le tritium organiquement lié.

Les prélèvements ont été réalisés au cours de 3 campagnes en présence de représentants de l'ANDRA et des membres du comité de pilotage de la CLI :

- Campagne 1 (13 et 14 juin 2012) : domaine aquatique, domaine terrestre et produits du jardin,
- Campagne 2 (13 septembre 2012) : vignobles et produits du jardin,
- Campagne 3 (05 octobre 2012) : cartographie, gibier et pêche.

Les résultats détaillés et la méthodologie appliquée aux différents prélèvements est présentée en annexe.

Localisation des prélèvements

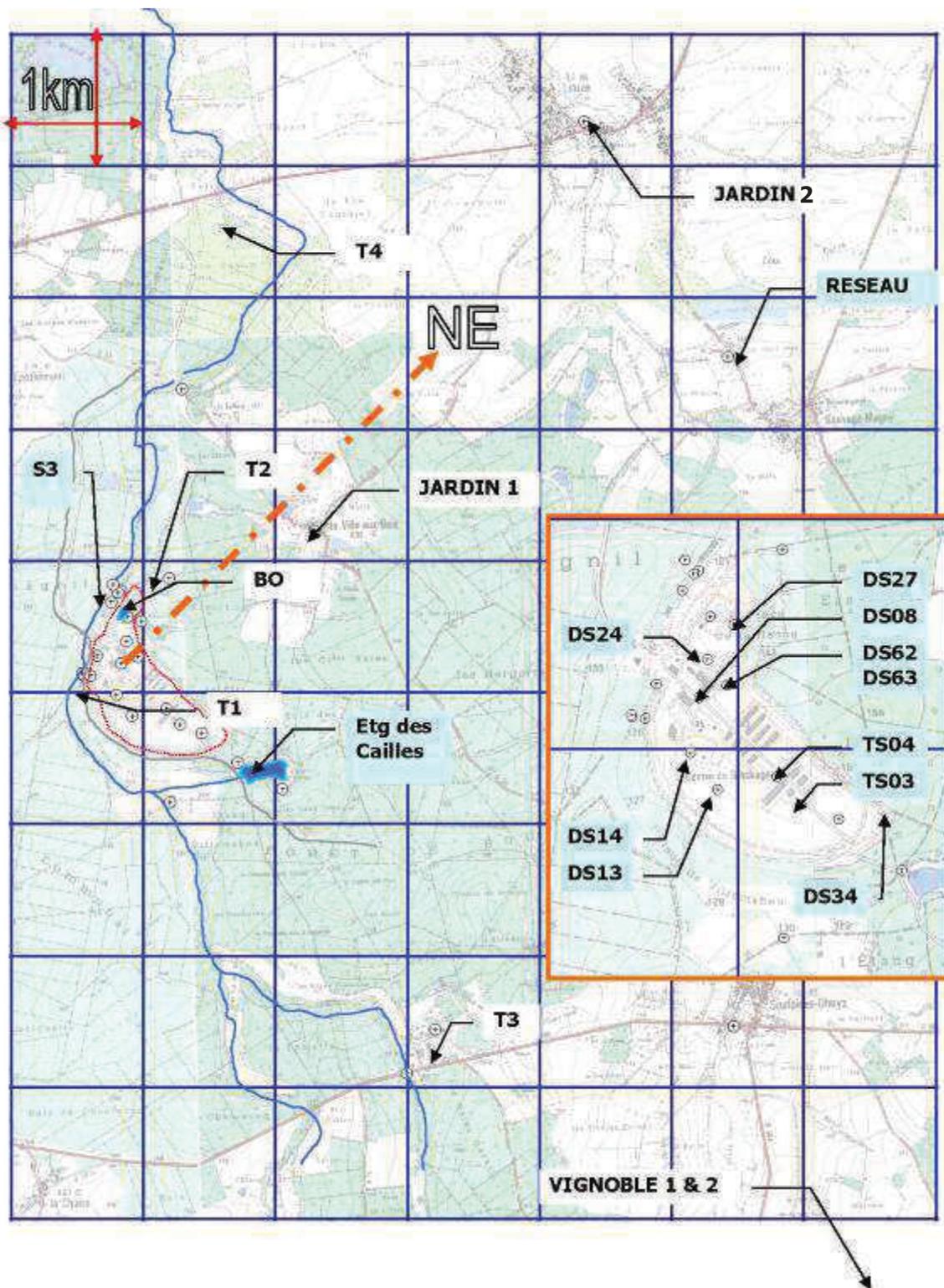


Figure 2 : localisation des sites étudiés durant l'année 2012 autour du centre de stockage CSFMA de l'Aube.

Résultats et commentaires

A. Milieu aquatique

A.1 Les eaux souterraines

Le suivi de la qualité radiologique des eaux souterraines constitue un élément important de la surveillance d'un centre de stockage.

Sous le CSA, la première nappe, composée de sables de l'Aptien, repose sur une couche argileuse de plusieurs dizaines de mètres. C'est celle qui est la plus vulnérable aux pollutions par l'infiltration des eaux de pluie ou par percolation au travers des ouvrages.

La nappe s'écoule vers le ruisseau des Noues d'Amance et la plus grande partie des écoulements est dirigée vers le nord-ouest.

Lieux de prélèvements :

A l'intérieur du centre, les 9 piézomètres retenus en 2007, ont été à nouveau investigués⁷. Un prélèvement supplémentaire a été réalisé dans le piézomètre DS62 du fait de son marquage en tritium relevé en 2009 et 2010 par l'ANDRA dans le cadre de sa surveillance réglementaire.

Les prélèvements ont été effectués selon la méthode utilisée habituellement par l'exploitant (pompage et/ou par immersion d'un préleveur en profondeur) après renouvellement des eaux du piézomètre.

Hors du site, des eaux de captage (Sauvage-Magny et Maizières) ont également été prélevées.

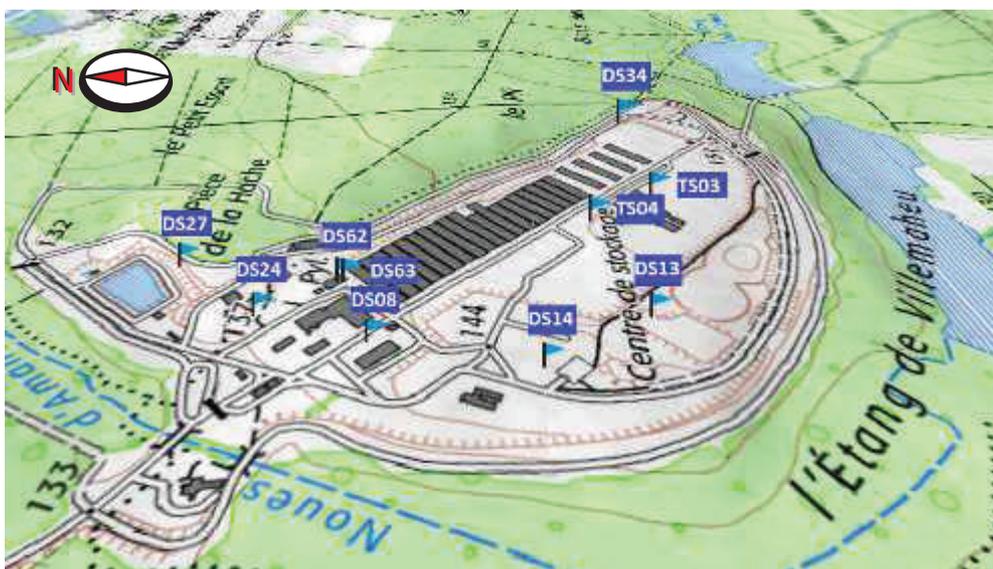


Figure 3 : localisation des piézomètres du CSA investigués dans le cadre de cette étude.

⁷ Seul le piézomètre TS01, rebouché, a été remplacé par le DS34.

Analyses :

Pour l'ensemble des prélèvements, les analyses ont concerné :

- ▶ Tritium libre (HTO) après distillation.
- ▶ Comme en 2007, des mesures complémentaires ont été réalisées dans les eaux de captage (réseau de distribution des eaux) ainsi que dans deux eaux des aquifères sous-jacents du centre :
 - Indice bêta global sur eau filtrée et mesure du potassium,
 - Indice alpha global
 - Emetteurs gamma sur eau filtrée (mesure après concentration)
- ▶ Enfin, le Chlore 36 est recherché dans une eau des aquifères sous-jacents du centre (en fonction des résultats tritium).

Résultats :

Une synthèse des résultats obtenus est présentée dans le tableau 4 avec une mise en perspective avec ceux obtenus en 2007.

A l'intérieur du périmètre de l'installation nucléaire, seul le piézomètre DS62 révèle la présence de tritium dans ses eaux avec une concentration de 5,3 Bq/L. Ce marquage a été mis en évidence par l'ANDRA à partir de 2009 avec une concentration maximale de 27 Bq/L relevée en 2010. L'hypothèse émise par l'exploitant est une migration du tritium contenu dans deux ouvrages voisins contenant des plaques radio-luminescentes stockées en 1994. A signaler que les eaux du piézomètre DS62, ne témoignent pas de la présence d'autres radionucléides artificiels, dont le Chlore-36, radionucléide particulièrement mobile.

Tableau 4 : Synthèse des résultats des mesures réalisées dans les eaux souterraines prélevées sous le CSA et dans deux captages d'eau de distribution en 2012 et comparaisons avec les résultats obtenus en 2007.

Année		2012	2012	2007	2007
radionucléide	période	Eau souterraine sous le CSA	Eau souterraine Captage extérieur	Eau souterraine sous le CSA	Eau souterraine Captage extérieur
		min-max fréquence	min-max fréquence	min-max fréquence	min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma					
Cobalt-60	5,3 ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Ru/Rh-106	373 jours	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Argent-108m	438 ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Argent-110m	250 jours	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Césium-134	2,1 ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Césium-137	30,0 ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Américium-241	437,7 ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Radionucléides naturels émetteurs gamma					
Radium-226 (max)	Ch. 238U	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Plomb-210	Ch. 238U	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Potassium-40	1,3x10 ⁹ ans	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Beryllium-7	53,2 jours	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	< LD (0/3)	< LD (0/2)
Radionucléides émetteur bêta pur					
Tritium	12 ans	Bq/L 5,3 (1/10)	< LD (0/2)	< LD (0/9)	< LD (0/2)
Chlore-36	301x10 ³ ans	Bq/L < LD (0/1)	-	< LD (0/1)	-
Paramètres de potabilité					
Indice alpha total	Bq/L	Bq/L < LD (0/3)	< LD (0/2)	0,019 (1/2)	< LD (0/1)
Indice bêta total	Bq/L	0,09 - 0,13 (3/3)	0,06 - 0,11 (2/2)	0,09 - 0,12 (3/3)	0,11 (1/1)

Concernant les autres piézomètres investigués, on souligne l'absence de tritium (HTO) à des niveaux supérieurs à la limite de détection. Cela est également vrai pour les eaux de captage de Sauvage-Magny et de Maizières.

Les autres paramètres radiologiques pris en compte pour étudier la potabilité des eaux sont également respectés pour l'ensemble des eaux. Ainsi les indices bêta global et alpha global sont respectivement inférieurs à 1 et 0,1 Bq/L. Dans le détail, le bêta global, de l'ordre de 0,1 Bq/L, est constitué quasi-totalement par l'isotope radioactif du potassium, élément naturellement présent dans l'environnement. Aucun radionucléide gamma artificiel n'est décelable.

Rappelons toutefois la difficulté d'établir des projections puisque les prélèvements ont un caractère ponctuel. Soulignons enfin la nécessité de rester attentif à la qualité des eaux de la nappe aptienne sous le CSA puisque du tritium subsiste encore à des niveaux légèrement supérieurs à ceux observés à distance (DS62).

A.2 Les eaux de surface et les sédiments

L'eau est le vecteur principal de pollution dans le compartiment aquatique. Souvent réceptrice de divers contaminants, elle joue un rôle d'interface avec la totalité des matrices étudiées.

Le devenir des contaminants au sein de cette matrice particulière est fonction de divers paramètres : dynamique des fluides (dispersion), nature physico-chimique de l'eau, etc.

Les sédiments sont le siège de divers processus de rétention des éléments traces solubles présents dans l'eau. Les rejets de toutes sortes peuvent ainsi contribuer à augmenter le niveau de pollution par phénomène d'adsorption à la surface des particules sédimentaires. De ce point de vue, les grains les plus fins favorisent mieux la rétention (surface spécifique plus grande). La granulométrie est un facteur essentiel de modulation des concentrations mesurées d'un site à l'autre.

Déposée successivement au fil du temps, cette matrice conserve en partie la mémoire des pollutions et constitue de ce fait un réservoir pouvant alimenter par la suite des transferts.

Lieux de prélèvements :

Trois sites ont été retenus :

- Le bassin d'orage, situé sur le centre,
- Les Noues d'Amances, en aval direct de l'émissaire de rejet,
- L'étang des Cailles.



Photo 1 : Vue des Noues d'Amances, au niveau du déversoir (S3)

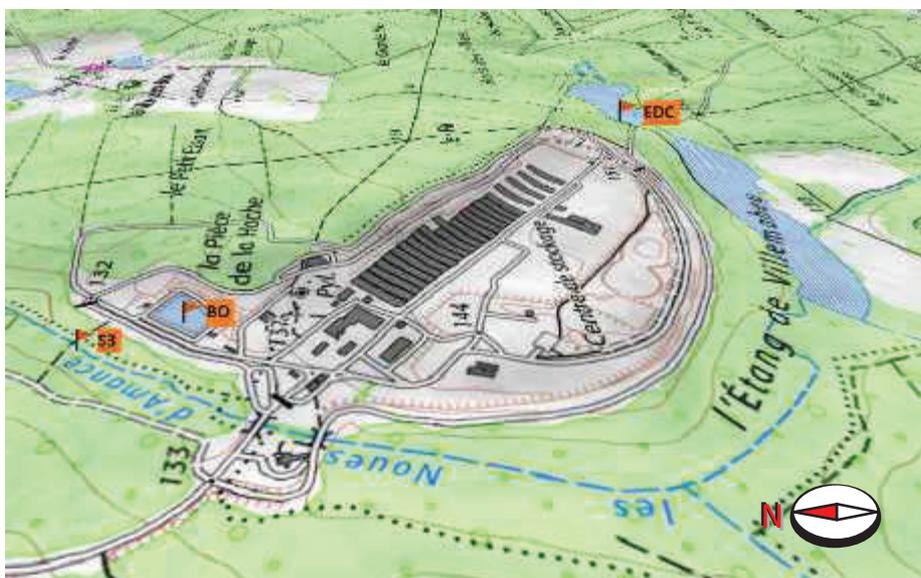


Figure 4 : Localisation des sites de prélèvements des eaux de surfaces et des sédiments.

Analyses :

Pour l'ensemble des prélèvements d'eau, il est réalisé :

- ▶ Tritium libre (HTO) après distillation.
- ▶ Indice Bêta global sur eau filtrée et mesure du potassium,
- ▶ Indice alpha global,
- ▶ Emetteurs gamma sur eau filtrée (mesure après concentration),

En ce qui concerne les sédiments, les analyses portent sur :

- ▶ Emetteurs gamma (mesure sur échantillon sec et tamisé)
- ▶ Granulométrie,

Des analyses complémentaires sont réalisées sur les sédiments du bassin d'orage (comme en 2007) ainsi que dans l'étang des Cailles :

- isotopes du plutonium (^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$),
- tritium organiquement lié (OBT) et Carbone 14.
- Le Nickel-63 sera recherché quand à lui uniquement dans les sédiments du bassin d'orage.

Résultats :

Les eaux de surface :

Concernant les eaux de surface, les paramètres radiologiques pris en compte pour étudier la potabilité des eaux sont respectés. Ainsi les indices bêta global et alpha global sont respectivement inférieurs à 1 et 0,1 Bq/L. De même la teneur en tritium (HTO), reste toujours inférieure à la limite de détection pour l'ensemble des eaux de surfaces analysées. Aucun radionucléide gamma artificiel n'est décelable comme en témoigne les analyses faites par spectrométrie gamma sur les échantillons concentrés par évaporation.

Tableau 5 : Synthèse des résultats des mesures réalisées en 2012 dans les eaux de surface prélevées sur le site du CSA (Bassin d'orage) et hors site (Noues d'Amances, Etang des cailles) et comparaisons avec les résultats obtenus en 2007.

radionucléide	période	unité	Eau de surface Bassin d'orage 2012 min-max fréquence	Eau de surface Hors site 2012 min-max fréquence	Eau de surface Bassin d'orage 2007 min-max fréquence	Eau de surface Hors site 2007 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma						
Cobalt-60	5,3 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Ru/Rh-106	373 jours	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Argent-108m	438 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Argent-110m	250 jours	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Césium-134	2,1 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Césium-137	30,0 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Américium-241	437,7 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Radionucléides naturels émetteurs gamma						
Radium-226 (max)	Ch. 238U	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Plomb-210	Ch. 238U	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Potassium-40	1,3. 10 ⁹ ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Beryllium-7	53,2 jours	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Radionucléides émetteur bêta pur						
Tritium	12 ans	Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/2)
Paramètres de potabilité						
Indice alpha total		Bq/L	< LD (0/1)	< LD (0/2)	0,034 (1/1)	0,029 (2/2)
Indice bêta total		Bq/L	0,27 (1/1)	0,08 - 0,16 (2/2)	0,18 (1/1)	0,071 - 0,083 (2/2)

Les sédiments :

Pour l'ensemble des sédiments, la radioactivité artificielle mesurée par spectrométrie gamma se résume au seul césium-137, y compris dans le bassin d'orage. Les niveaux observés sont comparables à ce que l'on peut observer ailleurs dans des zones considérées comme non influencées par des activités humaines. En 2007, du cobalt-60 et du nickel-63 avaient été détectés dans le bassin d'orage. Ces deux radioéléments artificiels ne sont plus décelés lors de cette campagne. On souligne également l'absence de strontium-90.

Concernant la recherche des isotopes du plutonium, les concentrations mesurées en 2012 dans les sédiments du bassin d'orage et de l'étang des cailles sont caractéristiques des retombées des essais nucléaires (voir la note d'information ci-contre). A contrario, les résultats obtenus en 2007 dans le bassin d'orage, montraient un apport à priori exogène (rapporté) d'isotope du plutonium, puisque le rapport des activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ n'était pas conforme aux valeurs attendues pour les seules retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Note d'information n°1

Les isotopes ^{238}Pu , 239 et 240 du plutonium et l'américium 241 sont omniprésents dans l'environnement du fait, principalement, des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires pratiqués entre 1945 et 1980.

Ces isotopes transuraniens émetteurs alpha de longues périodes sont mesurables à l'état de traces dans les échantillons prélevés dans l'environnement français, avec un rapport de leurs activités traçant leur origine (voir tableau 6).

Tableau 6 : Rapports caractéristiques des retombées des essais nucléaires atmosphériques

rapports d'activités	caractéristiques des retombées 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 7 : Synthèse des résultats des mesures réalisées en 2012 dans les sédiments prélevés sur le site du CSA (Bassin d'orage) et hors site (Noues d'Amances, Etang des cailles) et comparaisons avec les résultats obtenus en 2007.

radionucléide	période	unité	sédiments Bassin d'orage 2012 min-max fréquence	sédiments Hors site 2012 min-max fréquence	sédiments Bassin d'orage 2007 min-max fréquence	sédiments Hors site 2007 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma						
Cobalt-60	5,3 ans	Bq/kg sec	< LD (0/1)	< LD (0/2)	1,13 (1/1)	< LD (0/8)
Ru/Rh-106	373 jours	Bq/kg sec	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/8)
Argent-108m	438 ans	Bq/kg sec	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/8)
Argent-110m	250 jours	Bq/kg sec	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/8)
Césium-134	2,1 ans	Bq/kg sec	< LD (0/1)	< LD (0/2)	< LD (0/1)	< LD (0/8)
Césium-137	30,0 ans	Bq/kg sec	0,64 (1/1)	1,60 - 3,16 (2/2)	1,85 (1/1)	0,32 - 25,8 (8/8)
Américium-241 (*)	437,7 ans	Bq/kg sec	0,010 (1/1)	0,083 (1/1)	< LD (0/1)	< LD (0/8)
Radionucléides émetteur bêta pur (*)						
Tritium (OBT)	12 ans	Bq/kg sec	0,19 (1/1)	0,25 (1/1)	NR	NR
		Bq/L d'eau de combustion	10 (1/1)	6,86 (1/1)	NR	NR
Carbone-14	5700 ans	Bq/kg de C	152 (1/1)	247 (1/1)	NR	NR
Nickel-63	98,7 ans	Bq/kg sec	< LD (0/1)	NR	0,70 (1/1)	NR
Strontium-90	28,8 ans	Bq/kg sec	< LD (0/1)	NR	< LD (0/1)	NR
Radionucléides émetteur alpha (*)						
Plutonium 238	87,8 ans	Bq/kg sec	0,001 (1/1)	0,006 (1/1)	0,0055 (1/1)	NR
Plutonium 239+240		Bq/kg sec	0,0181 (1/1)	0,188 (1/1)	0,0469 (1/1)	NR
Rapports activités :						
$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$			0,055	0,032	0,12	
$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$			0,55	0,44	NR	

NR : Non recherché

(*) : Les analyses ont concernées uniquement les sédiments du bassin d'orage et de l'Etang des Cailles (sauf Nickel-63 et strontium-90).

Les activités spécifiques en carbone-14 de 152 Bq/kg de carbone et 247 Bq/kg de carbone mesurés respectivement dans les sédiments collectés dans le bassin d'orage et l'étang des cailles sont proches des valeurs de références pour le milieu terrestre (235 Bq/kg de C) et pour le milieu aquatique (200 Bq/kg de C). En effet, ces valeurs de référence peuvent varier en fonction de la dilution dans les substances carbonées d'origines anciennes et donc dépourvues de carbone-14 du fait de sa période radioactive (voir, ci-après, la note n°2 pour plus d'information). Les différences peuvent également s'expliquer par une genèse sédimentaire différente entre les deux lieux comme en témoigne leurs caractéristiques granulométriques dissemblables. En effet, un apport plus important de matière d'origine végétale est noté dans le cas des sédiments prélevés dans l'étang des cailles.

Concernant le tritium organiquement lié, il n'est pas possible de trancher sur un apport ou non de tritium exogène (rapporté) dans les sédiments du bassin d'orage ; si cela était le cas, cet apport serait en tout cas très faible. Les résultats obtenus dans le bassin d'orage et l'étang des cailles, respectivement de 10 et de 6,9 Bq/L d'eau de combustion se situent en effet dans la gamme de variation relativement large donnée dans la littérature pour des zones dites « hors influences » [voir la note d'information n°2].

Il est important de noter que les analyses en carbone-14 et en tritium organiquement lié, réalisées pour la première fois, permettent d'élargir le référentiel réalisé en 2007 ; ils constituent donc des nouveaux niveaux de référence qui permettront de suivre de possibles évolutions dans le futur.

Note d'information n°2

Le tritium et le carbone-14 dans l'environnement

Dans la nature, le **tritium** est formé par interaction des rayons cosmiques avec différents constituants de l'atmosphère.

Dans une plus large mesure, le tritium a été, et est émis artificiellement dans l'environnement: essais nucléaires atmosphériques, industrie du nucléaire (centrales de production d'électricité, usines de retraitement).

D'une période de 12,32 ans, la portion de tritium rejeté lors des explosions nucléaires atmosphériques (1945-1980), n'est quasiment plus détectable aujourd'hui.

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le tritium est intimement lié au cycle de cet élément dans l'environnement et existe donc sous plusieurs formes chimiques :

- HTO, eau tritiée (forme prépondérante)
- HT, tritium gazeux
- TOL (ou OBT), tritium organiquement lié

Il peut ainsi être présent dans toutes les molécules hydrogénées, être associé aussi bien à l'eau tissulaire qu'à la matière organique des végétaux et des animaux. Sous la forme d'eau tritiée HTO, ce radionucléide est extrêmement mobile dans l'environnement et dans tous les compartiments biologiques.

Métrologie et expression des résultats

L'expression des résultats de concentration en tritium est souvent liée à la méthode de mesure utilisée.

Ainsi, la concentration en tritium libre (sous forme d'eau tritiée) est toujours donnée en Becquerel par litre (Bq/L).

Par contre, il existe des techniques de mesure différente du tritium sous sa forme organiquement lié (TOL) et par conséquent l'expression des résultats peut varier en fonction de la métrologie appliquée :

- le tritium lié peut être mesuré sur l'eau issue de la combustion de la matière sèche ; les résultats sont alors donnés sous deux expressions : **Bq/kg sec** (ou frais) et en **Bq/L d'eau de combustion**.

- Afin d'atteindre des sensibilités de mesure plus performantes, une technique d'analyse consiste à doser par spectrométrie de masse la teneur en hélium-3 descendant stable du tritium (méthode utilisée dans cette étude pour la mesure du tritium libre et lié dans le couvert végétal et les produits de la ruche). Avec cette technique, les résultats sont données en Bq/kg sec (ou Bq/kg frais) et en rapport isotopique T/H (ratio entre le nombre d'atome de tritium et le nombre d'atome d'hydrogène contenus dans la matrice étudiée).

A noter que les expressions en de Bq/L d'eau de combustion ou en rapport isotopique H/T permettent une comparaison plus aisée entre les résultats obtenus pour différentes matrices, compte tenu des taux d'hydrogènes parfois très différents. C'est pourquoi, beaucoup de résultats de la littérature sont donnés sous l'une de ces 2 expressions.

Valeurs de référence dans l'environnement

Hors influence des installations nucléaires, la concentration en tritium exprimée en Bq/L est homogène dans toutes les composantes des deux grands ensembles que sont le milieu continental (atmosphère, eaux de surface, faune et flore terrestres et dulçaquicoles) d'une part et le milieu marin d'autre part.

En milieu continental non influencé, les concentrations en tritium⁸ (« bruit de fond ») sont actuellement de 1 à 4 Bq/L d'eau de combustion compte tenu de la rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques. Dans les matrices biologiques, la concentration totale de tritium est de 1 à 3 Bq/kg frais en milieu continental, avec une contribution variable des formes libre et liée. Dans les sédiments, les quelques données de la littérature^[9 et 10] indiquent des valeurs pouvant varier entre 5 et 40 Bq/L d'eau de combustion dans des zones, à priori, hors influence de toute activité humaine. Dans sa contribution au livre blanc sur le tritium, l'IRSN⁹ indique toutefois que *le bruit de fond mesuré « hors influence » peut en réalité être influencé par des installations lointaines, d'autres parts qu'il est sujet à des fluctuations pouvant atteindre un facteur 2 à 6.*

⁸ D'après *Fiche radionucléides Tritium et environnement*, 2012, IRSN.

⁹ D'après *Le tritium dans l'environnement, synthèse des connaissances*, Contribution collective IRSN/DEI dans le Livre Blanc du tritium (ASN 2011).

¹⁰ D'après *Le tritium organique dans les écosystèmes d'eau douce*, G Gontier, F. Siclet, dans la revue Radioprotection 2011, Vol 46 n°4 pages 457-491.

Le **carbone-14** est un radionucléide d'origine naturelle formé par l'interaction des rayons cosmiques avec les atomes d'azote présents dans la stratosphère et la troposphère. Sa période radioactive est de 5734 ans. Présent dans l'atmosphère, il intègre rapidement divers cycles biologiques particulièrement avec les réactions de photosynthèse. Ce radioélément a également une origine artificielle. Il a été dispersé en quantité importante dans l'atmosphère par les essais nucléaires. De nos jours, cet élément est principalement rejeté par les centrales nucléaires ainsi que par l'usine de retraitement du combustible irradié (AREVA-La Hague).

Métrie et expression des résultats

La quantification du carbone-14 dans les échantillons de l'environnement est généralement obtenue par combustion de l'échantillon (mesure réalisée sur le carbone extrait de la matrice sous la forme de CO₂).

Les résultats peuvent être donnés en Bq/kg sec ou bien, plus souvent, en Bq/kg de carbone (Becquerel par kilogramme de carbone) qui permet une comparaison plus aisée des résultats entre différentes matrices.

Valeurs de référence dans l'environnement:

Globalement, dans l'environnement terrestre, hors influence d'une installation nucléaire, l'activité par kilogramme de carbone (ou activité spécifique) est homogène d'une matrice à l'autre. L'activité spécifique est actuellement de l'ordre de 235 Bq/kg de carbone. Avant les premiers essais nucléaires atmosphériques et l'entrée dans l'ère industrielle, elle était de 226 Bq/kg de carbone. Cette activité diminue de 0,5 % par an compte tenu de la combustion des énergies fossiles (dépourvues de carbone-14) qui « dilue » ainsi le carbone-14 dans l'environnement. L'activité spécifique dans le milieu aquatique est moindre puisqu'il n'y a pas d'équilibre avec le CO₂ atmosphérique.

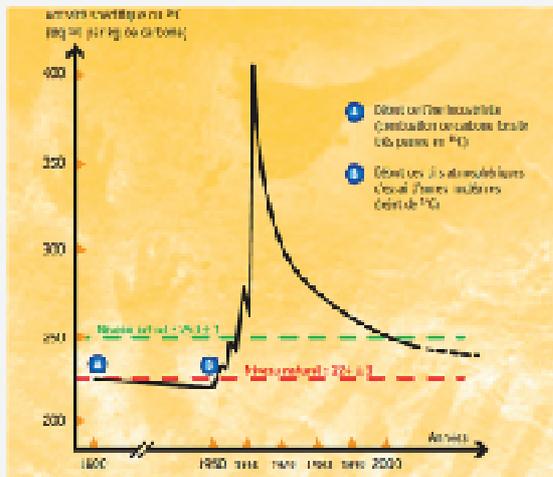


Figure 5 : niveaux d'activité en Carbone-14 atmosphérique de 1800 à nos jours, issu de « le Carbone-14 dans l'environnement », Société Française de Radioprotection, 2003

B. Milieu terrestre

B.1 Les sols, mats et couvert végétal

Les contaminants, potentiellement présents dans les masses d'air sous la forme d'aérosols, se déposent lentement le long d'un 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 pluie, les gouttes d'eau emprisonnent les aérosols en se formant. Lors de leur chute, elles précipitent ces potentiels contaminants contenus dans la masse d'air située entre le sol et les nuages. On parle alors de lessivage dans et sous le nuage, finalement de « dépôts humides ». Les quantités déposées par temps de pluie sont toujours plus importantes que par temps sec.

Le couvert végétal a un rôle d'interface privilégiée entre le milieu atmosphérique et le sol. Les dépôts vont être en partie captés par les surfaces végétales comme les feuilles, les brins d'herbe, etc. Cette contamination par dépôt foliaire suit alors rapidement les concentrations en contaminants du compartiment atmosphérique.

Le couvert végétal peut également être contaminé par le sol. Par transfert racinaire, certains éléments présents dans le sol migrent et sont absorbés par la plante. Comme dans toute matrice biologique, les phénomènes d'ab/adsorption sont sélectifs au même titre que les phénomènes de concentration.



Photo 2 : Prélèvement d'herbe et de sol devant le site DAHER à Epothémont (T4)

Les sols jouent un rôle de réservoir à l'égard des radionucléides artificiels peu mobiles et de longues périodes 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. La remise en suspension de fines particules de sols contaminées va contribuer à la radioactivité de l'air.

Entre ces deux matrices, une partie intermédiaire, **le mat** est constitué d'un mélange de végétal et de particule de terre. On situe généralement cette partie mixte entre 2 cm au dessus et 2 cm en dessous du sol (cf. Figure 6).

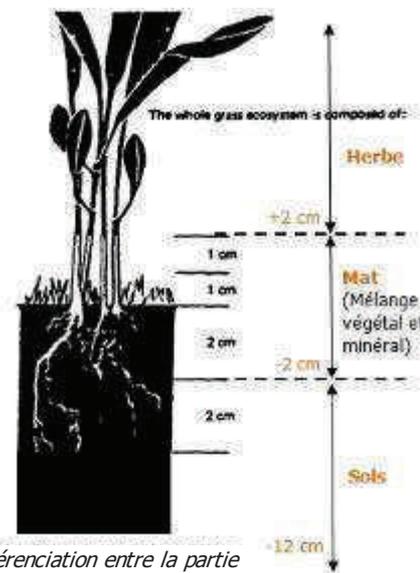


Figure 6 : Différenciation entre la partie aérienne (herbe), le mat et le sol ; source AIEA (Rapport technique - Measurement of Radionucléides in Food and Environment, 1989)

Lieux de prélèvements :

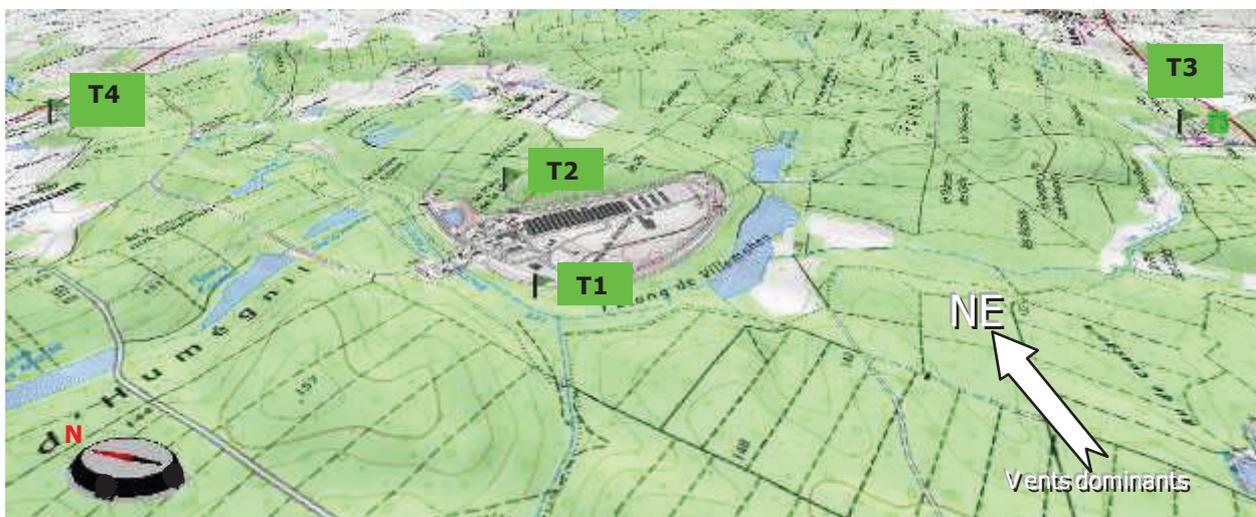


Figure 7 : Localisation des sites de prélèvements terrestres (sols et végétaux).

Le couvert végétal, le mat et les sols sous-jacents ont été prélevés sur les mêmes lieux que ceux investigués en 2007 afin de suivre l'évolution des niveaux observables.

- **station T1** située à 300m en direction du sud-ouest,
- **station T2**, à 700 m en direction du nord-est,
- **station T3**, au Domaine Saint Victor, siège de la communauté de communes, soit à 3,7 km en direction du sud-est.

Afin de prendre en compte l'activité du nouveau centre de tri TFA, DAHER à Epothémont, un site supplémentaire a été ajouté en direction du Nord-Est :

- **station T4**, situé à environ 100m au Nord-Est de la zone d'activité des Grands usages à Epothémont.

Analyses réalisées :

Pour l'ensemble des échantillons, il est réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels).

En deux lieux, des mesures complémentaires sont réalisées :

- Sur la station T2 : la recherche et le dosage des isotopes des plutoniums et américiums ainsi que le dosage du strontium dans la fraction « sol »,
- Sur la station T2 et T4: le dosage du tritium libre et lié (méthode bas bruit de fond) dans la partie aérienne du couvert végétal.

Résultats :

Les sols et les mats :

Le seul radionucléide artificiel détecté est le césium-137. Il est présent dans l'ensemble des échantillons prélevés avec des valeurs ne dépassant pas 10 Bq/kg sec et comparables à celles mesurées en 2007. Ce césium-137 a pour principale provenance celle des retombées de l'accident de la centrale de Tchernobyl et des essais atmosphériques de l'arme nucléaire, durant les années 50-80. A noter qu'une très faible part du césium identifié peut également provenir des retombées plus récentes liées à la catastrophe de Fukushima, même si l'on note ici l'absence du césium-134, rejeté également en grande quantité par les centrales japonaises accidentées (compte tenu de sa période courte de 2 ans, le césium-134 rejeté au moment de Tchernobyl a complètement disparu de l'environnement français).

Le couvert végétal:

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est décelé dans la partie aérienne du couvert végétal prélevé sur les 4 sites investigués.

Concernant le tritium, sous sa forme libre et liée, on constate que les résultats des mesures sont comparables à ceux obtenus en 2007 et conformes aux niveaux attendus dans des zones non influencées par l'activité humaine (voir note d'information n°2 ; page 19-20).

Tableau 8 : Synthèse des résultats des mesures réalisées en 2012 dans le milieu terrestre (couvert végétal, mat et sol) et comparaisons avec les résultats obtenus en 2007.

radionucléide	période		Sols	Mats	Couvert végétal	Sols	couvert végétal
			4 sites terrestres			3 sites terrestres	
			2012 min-max fréquence	2012 min-max fréquence	2012 min-max fréquence	2007 min-max fréquence	2007 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma							
Cobalt-60	5,3 ans	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Ru/Rh-106	373 jours	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Argent-108m	438 ans	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Argent-110m	250 jours	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Iode-129	16 10 ⁶ ans	Bq/kg sec	-	-	< LD (0/4)	-	< LD (0/3)
Iode-131	8 jours	Bq/kg sec	-	-	< LD (0/4)	-	< LD (0/3)
Césium-134	2,1 ans	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Césium-137	30,0 ans	Bq/kg sec	2,1 - 9,8 (4/4)	1,6 - 8,0 (4/4)	< LD (0/4)	4,2 - 9,1 (3/3)	< LD (0/3)
Américium-241	437,7 ans	Bq/kg sec	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/4)	< LD (0/3)	< LD (0/3)
Radionucléides émetteur bêta pur							
Tritium libre (HTO)	12 ans	Bq/L	NR	NR	1,5 - 1,9 (2/2)	NR	1,6 - 1,7 (2/2)
Tritium lié (OBT)	12 ans	Bq/kg sec	NR	NR	0,75 - 0,82 (2/2)	NR	0,82 - 0,88 (2/2)

C. La chaîne alimentaire

C.1 Les produits du jardin

Comme en 2007, deux jardins situés respectivement à La ville aux bois et à Louze ont été retenus. Les investigations concernent plusieurs variétés de légumes : légume feuille (salade), légume tige (rhubarbe), légumes racines (carotte, betterave) et légumes fruits (concombre, courgette) ainsi qu'une plante aromatique (persil). En prévision des analyses, leurs cultures ont été planifiées en amont en accord avec les propriétaires des jardins.

A noter que les analyses ont concerné en priorité les produits issus du jardin de la Ville-aux-bois, situé au plus proche de l'émissaire de rejet du CSA.



Figure 8 : Localisation des sites de prélèvements des produits du jardin



Photo 3 : Jardin de la Ville-aux-bois

Analyses réalisées :

Pour l'ensemble des échantillons, il a été réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels).

Résultats :

Comme en 2007, quel que soit le lieu et le produit étudié, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté.

radionucléide	période	Produits des jardins 2012 min-max fréquence	Produits des jardins 2007 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma			
Cobalt-60	5,3 ans	< LD (0/9)	< LD (0/6)
Argent-108m	438 ans	< LD (0/9)	-
Argent-110m	250 jours	< LD (0/9)	-
Iode-129	16 10 ⁶ ans	< LD (0/9)	-
Césium-134	2,1 ans	< LD (0/9)	-
Césium-137	30,0 ans	< LD (0/9)	< LD (0/6)
Américium-241	437,7 ans	< LD (0/9)	< LD (0/6)

Tableau 9 : Synthèse des résultats obtenus en 2012 et 2007 sur les produits du jardin

C.2 Le gibier et les poissons d'eau douce

Afin de compléter le référentiel de 2007, du gibier et des poissons ont été prélevés afin de les analyser. Leur collecte a été effectuée par la CLI en lien avec la fédération départementale de chasse et de pêche de l'Aube.

Concernant le gibier, deux espèces ont été sélectionnées en fonction de leurs disponibilités dans les environs du CSA et de leurs habitudes alimentaires. Ainsi, il a été décidé de retenir, d'une part, un animal carnassier, le renard, ainsi qu'un animal fouisseur et omnivore, le blaireau.

Concernant les poissons, ont été retenus pour les mêmes raisons, les poissons de « fond » (poissons « benthiques ») dont la particularité est de rechercher leurs nutriments dans les fonds aquatiques (vase) connus pour constituer un compartiment de concentration des polluants présents dans les eaux. Deux espèces, la carpe et la tanche ont été pêchées dans l'étang de la Ville-aux-bois le week-end précédant notre venue.

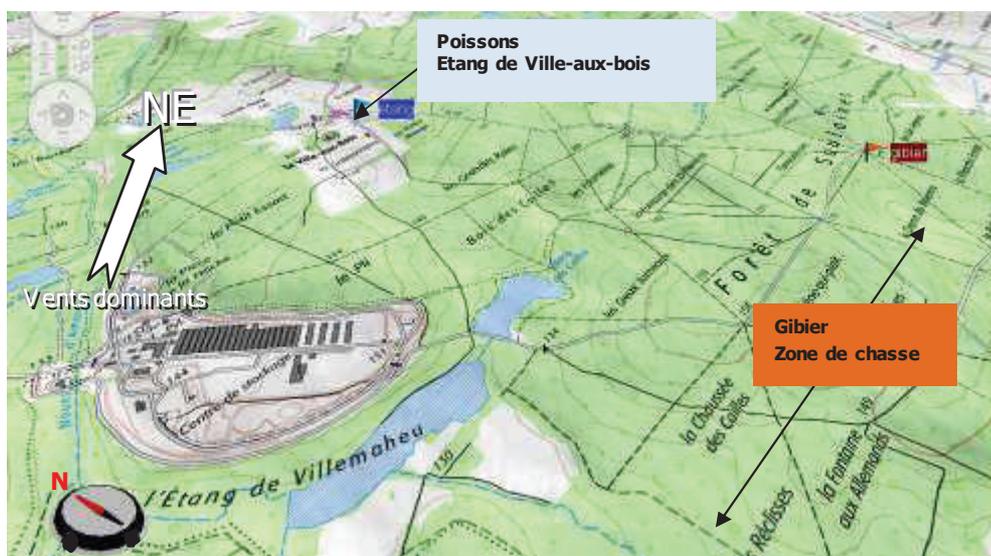


Figure 9 : Localisation des sites de prélèvements de poissons et gibier.

Analyses réalisées :

Pour l'ensemble des échantillons, il a été réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels).

Résultats :

radionucléide	période	Gibiers viande 2012 min-max fréquence	Poissons chair 2012 min-max fréquence	Poissons viscères 2012 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma Bq/kg frais				
Cobalt-60	5,3 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Ru/Rh-106	373 jours	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Argent-108m	438 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Argent-110m	250 jours	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Iode-129	16 10 ⁶ ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Césium-134	2,1 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Césium-137	30,0 ans	0,71 (1/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Américium-241	437,7 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)

Dans le gibier, seul le césium-137 est identifié et quantifié à l'état de trace (0,71 Bq/kg frais) dans la viande de blaireau (partie muscle). Cette présence s'explique du fait de son alimentation variée, constituée bien souvent en majorité par les végétaux et champignons, connus pour leur propriété à concentrer les polluants présents dans les sols (dont le césium). Concernant les poissons, aucun radioélément artificiel émetteur gamma n'est identifié ni dans la chair, ni dans les viscères des deux espèces sélectionnées.

Tableau 10 : Synthèse des résultats des mesures réalisées sur le gibier et les poissons prélevés en octobre 2012 autour du CSA ; activité en Bq/kg frais.

D. Les vignobles

D.1 Le sol des parcelles et le raisin

Les investigations réalisées en 2007, ont été reconduites dans les deux vignobles situés sur les communes de Saulcy et Colombé-la-Fosse à environ 20 km en direction Sud-Est du CSA.

Les prélèvements ont été réalisés le 13 septembre 2012, en début de période de vendange. Sur chaque site, ont été prélevés de la terre de surface (collectée entre les rangées de vignes) et du raisin.



Photo 4 : Prélèvement de raisin Chardonnay le 13/09/12 à Saulcy.

Analyses réalisées :

Les analyses ont été réalisées sur l'échantillon de terre préalablement séché et tamisé ainsi que sur le jus de raisin obtenu par pressage manuel et son résidu solide (le marc).

Pour l'ensemble des échantillons, il a été réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels).

La mesure du tritium a également été réalisée sur la fraction jus du raisin.

Résultats :

Concernant les sols des deux vignobles, seul du césium-137 est observé avec des niveaux semblables à ceux observés sur les quatre sites terrestres étudiés. Son origine provient majoritairement des retombées de l'accident de la centrale Tchernobyl et de celles des essais atmosphériques de l'arme nucléaire. Les différences de niveaux observées entre 2007 et 2012 peuvent s'expliquer par un lieu de collecte à l'intérieur des parcelles différent entre les deux études. En effet, les sols collectés en contre bas des parcelles contiennent bien souvent plus de césium-137 du fait des apports liés aux ruissellements et ravinements des terres.

Concernant le produit des vignes, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté. Dans le cas du jus de raisin, soulignons également l'absence de tritium à un niveau significatif.

Tableau 11 : Synthèse des résultats des mesures réalisées en 2012 et 2007 sur les échantillons de sols et de raisin (jus et marc) prélevés dans les vignes situées sur les communes de Saulcy et de Colombé-la-Fosse.

radionucléide	période	sols	jus de raisin	marc	sols	jus de raisin	marc
		2 vignobles			2 vignobles		
		2012 min-max fréquence	2012 min-max fréquence	2012 min-max fréquence	2007 min-max fréquence	2007 min-max fréquence	2007 min-max fréquence
Radionucléides artificiels émetteurs gamma							
		Bq/kg sec	Bq/L	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/L	Bq/kg sec
Cobalt-60	5,3 ans	< LD (0/2)					
Ru/Rh-106	373 jours	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)	-	-	-
Argent-108m	438 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)	-	-	-
Argent-110m	250 jours	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)	-	-	-
Iode-129	16 10 ⁶ ans	-	< LD (0/2)	< LD (0/2)	-	-	-
Césium-134	2,1 ans	< LD (0/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)	-	-	-
Césium-137	30,0 ans	6,9 - 9,9 (2/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)	7,6 - 26,6 (2/2)	< LD (0/2)	< LD (0/2)
Américium-241	437,7 ans	< LD (0/2)					
Radionucléides émetteur bêta pur							
Tritium	12 ans	NR	< LD (0/2)	NR	NR	< LD (0/2)	NR

2ème partie : Volet 2

Mesure de l'irradiation externe

Des mesures du débit de dose lié au rayonnement gamma ambiant ont été réalisées autour du CSA. Afin d'évaluer les éventuelles contributions liées aux manutentions réalisées sur le site, deux campagnes de mesure ont été programmées : l'une durant une journée d'activité du site (le vendredi 5 octobre 2012), l'autre durant un jour d'inactivité (le samedi 06 octobre 2012).

Résultats et Commentaires

Les mesures du débit de dose ont été réalisées le long de la clôture du CSA. D'autres mesures ont également été réalisées à distance, dans les communes avoisinantes : Ville-aux-bois, La Chaise, Soulaines et Saint-Victor ; A la demande de la CLI, quelques mesures ont également été menées autour du site DAHER à Epothémont.

La grandeur déterminée est le débit d'équivalent de dose, noté $H^*(10)$, exprimé en nano-Sievert par heure (nSv/h). Il est important de noter que dans les conditions opératoires, l'irradiation d'origine cosmique (estimée à environ 39nSv/h dans la région), est largement sous-estimée.

La valeur de référence retenue (V_{REF}) de 52 nSv/h représente la moyenne des valeurs mesurées à distance du site dans la région de Soulaines (voir tableau 14).

Les résultats des deux cartographies sont présentés sur la figure 10 et dans les tableaux 12 et 13, la méthodologie appliquée aux mesures est présentée en annexe.

Le long de la clôture du CSA, deux zones sont identifiées :

1. à l'est, face aux ouvrages de stockage.

C'est au niveau des dernières lignes de stockage que sont enregistrées les plus fortes valeurs. A l'est du site, face aux ouvrages, le débit de dose varie de 70 à 116 nSv/h lorsque le chemin en périphérie du site surplombe les dernières lignes de stockage (E37 à E53). L'augmentation maximale occasionnée par la présence des déchets irradiants stockés correspond approximativement à un doublement du rayonnement ambiant.

En 2007 cette même constatation était observée avec des valeurs maximales enregistrées relativement semblables. Il semble donc que l'augmentation des volumes de déchets stockés durant ces 5 dernières années a peu influencé le niveau de surexposition. Enfin, on note qu'il n'y a pas de différence notable entre les deux séries de mesure correspondant à un jour d'activité puis un jour d'inactivité sur le site.

2. à l'ouest, à proximité du bâtiment d'entreposage des déchets irradiants.

Une deuxième zone présentant une augmentation du débit de dose ambiant jusqu'à 97 nSv/h est observée à proximité du bâtiment de transit, liée, sans aucun doute, à l'entreposage temporaire des colis de déchets entrants. Le niveau de surexposition est alors fonction du nombre de colis entreposés temporairement comme en atteste les niveaux plus importants observés il y a 5 ans. A nouveau, aucune différence n'est notée entre le vendredi et le samedi. Il est toutefois important de préciser l'absence de toute activité de compactage dans le bâtiment voisin durant la semaine où ont été réalisées nos mesures (panne de la presse de compactage).

Pour conclure, on peut souligner que les niveaux d'exposition mesurés restent semblables à ce qui avait été constaté il y a 5 ans. Aucune différence n'est notée entre les deux séries de mesures réalisées, pour la première, un jour d'activité (vendredi) et pour la seconde, un jour d'inactivité sur le site (samedi), ce qui semblerait montrer une faible influence des actions de manutention. Toutefois, en période d'activité, la présence de camions de transport de déchets radioactifs en attente sur le parking, peut contribuer à augmenter temporairement le niveau d'exposition à l'entrée du site.

A. Cartographie des débits de dose autour du CSA

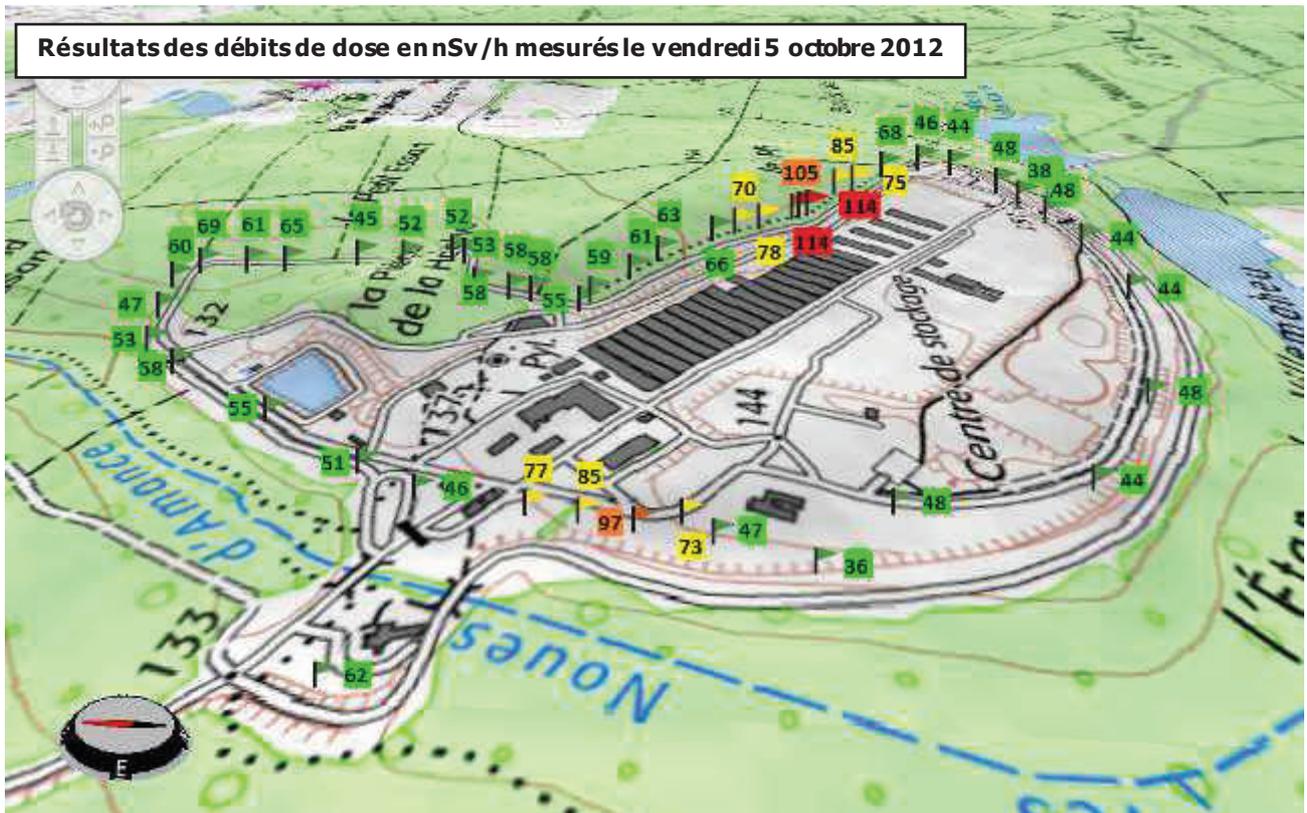


Figure 10: Résultats des mesures de débits de dose $H^*(10)$ en nSv/h réalisées le vendredi 5 octobre (figure du haut) et le samedi 6 octobre 2012 (figure du bas).

Tableau 13 : Résultats des mesures de débits de dose h*(10) réalisées le vendredi 5 octobre 2012 le long de la clôture du CSA (INB149).

Localisation (GPS)				H*(10) nSv/h	écart nSv/h	nb sigma
X	Y					
moy. des mesures réalisées à distance				52		
31U	623323	UTM	5362061	62	10	<3
31U	623532	UTM	5362054	46	-6	<3
31U	623568	UTM	5362124	51	-1	<3
31U	623652	UTM	5362258	55	3	<3
31U	623744	UTM	5362419	58	6	<3
31U	623790	UTM	5362478	53	1	<3
31U	623858	UTM	5362500	47	-5	<3
31U	623929	UTM	5362519	60	8	<3
31U	623966	UTM	5362498	69	17	<3
31U	623969	UTM	5362429	61	9	<3
31U	623974	UTM	5362375	65	13	<3
31U	624004	UTM	5362280	45	-8	<3
31U	623999	UTM	5362210	52	-1	<3
31U	623994	UTM	5362133	52	0	<3
31U	623974	UTM	5362111	58	6	<3
31U	623903	UTM	5362080	53	1	<3
31U	623882	UTM	5362028	58	6	<3
31U	623876	UTM	5361999	58	6	<3
31U	623862	UTM	5361933	55	3	<3
31U	623880	UTM	5361922	59	7	<3
31U	623924	UTM	5361872	61	9	<3
31U	623968	UTM	5361837	63	11	<3
31U	624035	UTM	5361760	66	14	<3
31U	624067	UTM	5361726	70	18	<3
31U	624093	UTM	5361687	78	26	[3 à 4]
31U	624132	UTM	5361634	105	53	>4
31U	624143	UTM	5361622	114	62	>4
31U	624151	UTM	5361607	114	62	>4
31U	624239	UTM	5361554	85	33	>4
31U	624271	UTM	5361517	75	23	[3 à 4]
31U	624348	UTM	5361452	68	16	<3
31U	624433	UTM	5361365	46	-6	<3
31U	624424	UTM	5361305	44	-8	<3
31U	624327	UTM	5361253	48	-4	<3
31U	624274	UTM	5361233	48	-4	<3
31U	624209	UTM	5361211	38	-14	<3
31U	624111	UTM	5361193	44	-8	<3
31U	623952	UTM	5361196	44	-8	<3
31U	623690	UTM	5361301	48	-4	<3
31U	623554	UTM	5361414	44	-8	<3
31U	623512	UTM	5361608	48	-4	<3
31U	623446	UTM	5361684	36	-16	<3
31U	623475	UTM	5361769	47	-5	<3
31U	623496	UTM	5361797	73	21	<3
31U	623484	UTM	5361840	97	45	>4
31U	623494	UTM	5361890	85	33	>4
31U	623507	UTM	5361941	77	25	[3 à 4]

Tableau 12 : Résultats des mesures de débits de dose h*(10) réalisées le samedi 6 octobre 2012 le long de la clôture du CSA (INB149).

Localisation (GPS)				H*(10) nSv/h	écart nSv/h	nb sigma
X	Y					
moy. des mesures réalisées à distance				52		
31U	623329	UTM	5362063	66	14	<3
31U	623534	UTM	5362048	48	-4	<3
31U	623638	UTM	5362280	51	-1	<3
31U	623715	UTM	5362380	59	7	<3
31U	623784	UTM	5362474	57	5	<3
31U	623879	UTM	5362502	55	3	<3
31U	623967	UTM	5362512	74	22	>4
31U	623992	UTM	5362385	65	13	<3
31U	623992	UTM	5362299	55	3	<3
31U	623993	UTM	5362118	54	2	<3
31U	623932	UTM	5362095	56	4	<3
31U	623899	UTM	5362064	56	4	<3
31U	623875	UTM	5361986	62	10	<3
31U	623865	UTM	5361931	60	8	<3
31U	623931	UTM	5361864	67	15	<3
31U	623966	UTM	5361823	66	14	<3
31U	624035	UTM	5361756	69	17	<3
31U	624060	UTM	5361736	73	21	3
31U	624084	UTM	5361695	77	25	[3 à 4]
31U	624124	UTM	5361644	98	46	>4
31U	624158	UTM	5361607	116	64	>4
31U	624240	UTM	5361560	88	36	>4
31U	624273	UTM	5361512	76	24	[3 à 4]
31U	624340	UTM	5361449	71	19	<3
31U	624416	UTM	5361375	52	0	<3
31U	624382	UTM	5361271	53	1	<3
31U	624283	UTM	5361240	54	2	<3
31U	624194	UTM	5361208	54	2	<3
31U	623830	UTM	5361234	47	-5	<3
31U	623656	UTM	5361330	48	-4	<3
31U	623553	UTM	5361423	53	1	<3
31U	623513	UTM	5361626	49	-3	<3
31U	623441	UTM	5361672	39	-13	<3
31U	623465	UTM	5361738	36	-16	<3
31U	623494	UTM	5361798	75	23	[3 à 4]
31U	623485	UTM	5361823	86	34	>4
31U	623491	UTM	5361869	92	40	>4
31U	623505	UTM	5361925	85	33	>4
31U	623511	UTM	5361958	84	32	>4
31U	623458	UTM	5362017	74	22	[3 à 4]

Méthodologie analytique

La valeur de référence retenue ($V_{REF}=52nSv/h$) représente la moyenne des valeurs mesurées à distance du site dans la région de Soulaïnes.

Considérant la loi de Gauss applicable à V_{REF} on détermine l'écart-type $\sigma = \sqrt{V_{REF}}$

Dans les conditions opératoires, trois cas de figure sont distingués par la suite selon que l'écart entre la mesure statique en un point (X,Y) soustrait de la valeur de référence (V_{REF}) est :

- B. $< 3 \sigma$ → fluctuation naturelle du bruit de fond : aucune anomalie,
- C. compris en 3 et 4 σ → anomalie suspectée,
- D. $> 4 \sigma$ → anomalie avérée : explication à rechercher.

B. Autres mesures

Tableau 14 : Résultats des mesures de débits de dose $H^*(10)$ en nSv/h réalisées dans la région de Soulaines-Dhuys

Lieu	Localisation GPS		H*(10) nSv/h
	X	Y	
Ville au bois	31U 625175	UTM 5362698	51
La chaise	31U 623445	UTM 5358126	46
près du pont D24	31U 624104	UTM 5363960	52
Soulaines	31U 628040	UTM 5359076	59
Saint-Victor	31U 625846	UTM 5359051	50
moyenne des mesures à distances			52

Tableau 15 : Résultats des mesures de débits de dose $H^*(10)$ réalisées le 5 octobre 2012 autour du site DAHER à Epthémont

Localisation GPS		H*(10) nSv/h	écart nSv/h	nb sigma
x	y			
Moy. des mesures à distance		52		
31U 623750	UTM 5365015	52	0	<3
31U 623675	UTM 5365092	63	11	<3
31U 623652	UTM 5365062	59	7	<3
31U 623636	UTM 5365026	66	14	<3
31U 623601	UTM 5365045	54	2	<3
31U 623577	UTM 5365060	66	14	<3
31U 623514	UTM 5365088	62	10	<3
31U 623561	UTM 5365143	59	7	<3
31U 623629	UTM 5365213	56	4	<3
31U 623709	UTM 5365154	54	2	<3
31U 623726	UTM 5365085	47	-5	<3

Les niveaux de rayonnement mesurés à distance du CSA dans les communes avoisinantes varient entre 46 et 59 nSv/h. Il n'y a pas d'écart notable avec ce que l'on peut mesurer ailleurs dans des zones géologiquement semblables. La moyenne de ces valeurs sert de valeur de référence.

A la demande de la CLI, des mesures ont également été réalisées au cours de la journée du 5 octobre autour de l'installation DAHER située dans la zone industrielle des grands usages à Epthémont.

Aucune surexposition n'est notée au périmètre des installations. A noter que la composition des terrains de surface du site (enrobage de type bitume) apporte une légère augmentation du débit de dose dès l'entrée du site (mesure réalisée à environ 1m de distance du sol).

Les résultats des mesures sont présentés dans les tableaux 14 et 15 et sur la figure 11.

Résultats des débits de dose en nSv/h mesurés le vendredi 5 octobre 2012 autour du site DAHER à Epthémont.

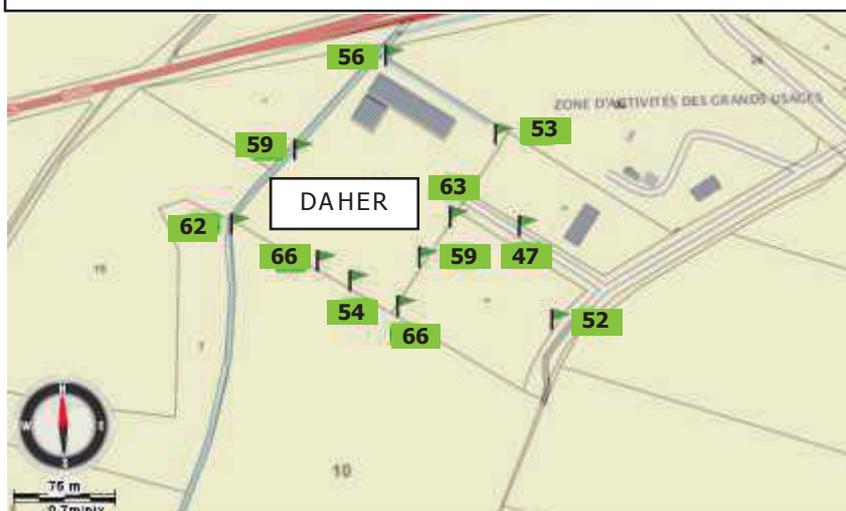


Figure 11 : Résultats des mesures de débits de dose $H^*(10)$ en nSv/h réalisées le vendredi 5 octobre 2012 autour du site DAHER, à Epthémont.

3ème partie - Volet 3

Implantation de mousses aquatiques exogènes

Pour évaluer la contamination de cours d'eau, il est intéressant d'utiliser un bioindicateur, c'est à dire de trouver un organisme aquatique commun, résistant à la pollution, dont la propriété est d'accumuler les polluants et qui soit facile à localiser, à prélever et à analyser.

Dans les rivières, l'intérêt de retenir les mousses aquatiques est motivé par de nombreux travaux qui confirment que celles-ci constituent de bien meilleurs indicateurs de la pollution radioactive que les sédiments, les végétaux aquatiques immergés et les poissons¹¹. En effet, les mousses aquatiques présentent des facteurs de concentrations très élevés à l'égard de la plupart des radioéléments.

Lorsqu'il est constaté une absence de bioindicateur dans le milieu que l'on souhaite surveiller, il est possible d'utiliser une technique d'implantation de plante exogène¹². Toutefois, il est à noter que sa mise en place nécessite un travail logistique important, pour un gain en surveillance qui ne peut dépasser une période d'intégration effective d'environ un mois maximum.

Méthode

Des bryophytes de l'espèce *Rhynchostegium riparioides* ont été retenus ; ce choix s'explique tout d'abord par l'abondance de cette espèce dans les cours d'eau de la région Normande (ce qui facilite son prélèvement) ; d'autre part, sa physiologie lui permet une bonne adaptation à une immersion forcée indifféremment des caractéristiques géochimiques et hydrologiques du milieu d'implantation ; enfin, tout comme les *Fontinalis sp.*, cette espèce est parmi les plus utilisées dans les études radioécologiques.

Les bryophytes sont récoltées sur un même site régulièrement suivi par l'ACRO, situé sur l'Orne, en amont hydrologique de l'agglomération caennaise (lac de Rabodange, situé à 20 km au sud de Caen), considéré comme hors influence, et conservées, immergées en permanence, avant leur transplantation.

- Une aliquote est écartée pour analyse par spectrométrie gamma, afin de mesurer le « bruit de fond » de référence,
- Les implants, par lots de 80 g, sont conditionnés dans des paniers lestés puis immergés aux stations choisies pendant un mois environ. Au total, 240 g de matière fraîche sont nécessaires par site pour le besoin analytique.



Photos 5 : de gauche à droite : prélèvements des mousses aquatiques à Rabodange (Orne), conservation en immersion en aquarium et implantation dans les Noues d'Amances en aval direct du déversoir.

¹¹ Utilisation des mousses aquatiques comme bioindicateurs de contamination radioactive, JP. Baudin, A. Lambrechts et M.Pally, IPSN, in Hydroécol. Appl. (1991) Tome 3 Vol 2, pp 209-240.

¹² La mousse aquatique comme traqueur de la contamination radioactive de la Moselle en aval de la centrale nucléaire de Cattenom, J. Mersch, M. Kass, Bulletin Soc. Nat. Luxemb., 95 (1994).

Lieux et durée d'implantation

Les mousses aquatiques ont été collectées le 27 mai 2013 au lac de Rabodange (Orne) afin de permettre leur implantation du 29 mai au 3 juillet 2013 (35 jours) dans les Noues-d'Amances en 3 sites : amont, aval direct (déversoir) et aval 2 km (pont de la D24). Il est à noter que la période d'implantation a coïncidé avec une période de hautes eaux et de forts débits.

Seuls 2 implants sur 3 ont pu être récupérés suite à la perte totale du contenu des filets immergés en aval du CSA au pont de la D24. Cette perte est liée au fort débit du cours d'eau à cet endroit. De même, peu de matière biologique a pu être récupérée lors de la relève des paniers du premier implant, ne permettant d'effectuer qu'une analyse qualitative faute de quantité suffisante.

Tableau 16: Caractéristiques des différents lots d'implants de mousses aquatiques (Bryophytes).

N°	identification	Quantité (*)	lieu	Coordonnées Lambert II étendue	Période d'implantation		Observation
1	Référence	150 g	Rabodange (61)	X=406,339 Y=2424,192			Echantillon de référence
2	Implant n°1	3 x 80g	Noue d'Amances amont CSA	X=772,488 Y= 2379,856	29/05/13 14h30	3/07/13 16h00	Importante perte due au fort débit
3	Implant n°2	3 x 80 g	Noue d'Amances aval déversoir	X=772,754 Y= 2380,684	29/05/13 14h30	3/07/13 16h00	Présence de sédiments à l'intérieur des filets.
4	Implant n°2	3 x 80 g	Noue d'Amances aval D24	X= 773,286 Y=2382,311	29/05/13 16h	-	Perte totale des implants

Analyses réalisées

Pour l'ensemble des échantillons, il a été réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels). Compte tenu du peu de matière disponible, seule une analyse qualitative a été réalisée sur l'implant n°1 (voir résultats détaillés en annexe).

Résultats

radionucléide	lieu	Bryophytes Référence Rabodange (61) orne	Bryophytes implants Déversoir Noues d'Amance
Radionucléides émetteurs gamma (Bq/kg sec)			
Cobalt-60	5,3 ans	< LD	< LD
Ru/Rh-106	373 jours	< LD	< LD
Argent-108m	438 ans	< LD	< LD
Argent-110m	250 jours	< LD	< LD
Iode-129	16.10 ⁶ ans	< LD	< LD
Iode-131	8 jours	< LD	< LD
Césium-134	2,1 ans	< LD	< LD
Césium-137	30,0 ans	2,33	2,24
Américium-241	437,7 ans	< LD	< LD

Par rapport à la situation de référence, les mousses aquatiques implantées en aval du déversoir ne témoignent de la présence d'aucun radionucléide gamma artificiel, mis à part le césium-137 déjà présent dans l'échantillon de référence. Pour ce dernier, le niveau mesuré dans l'échantillon implanté est du même ordre que dans l'échantillon de référence.

Aucun apport significatif de radioéléments artificiels émetteurs gamma n'est donc à noter durant la phase d'immersion en aval direct du déversoir du CSA.

Tableau 17: Synthèse des résultats obtenus dans les bryophytes (référence et implants).

4ème partie - Volet 4 (rapport intermédiaire)

Biosurveillance par les abeilles

Les abeilles sont reconnues comme étant d'excellents indicateurs biologiques parce qu'elles signalent la dégradation de l'environnement dans lequel elles vivent par le biais par exemple des agents polluants (métaux lourds, radionucléides) que l'on peut retrouver sur leur corps et dans les produits de la ruche.

De nombreuses caractéristiques éthologiques et morphologiques font de l'abeille un bon indicateur écologique : pendant leur voyage, les butineuses récoltent les substances potentiellement polluées et interceptent sur leurs corps des particules aérodispersées sur une surface géographique définissable (pouvant atteindre 7 km²). Sachant qu'une ruche peut compter plusieurs milliers de butineuses effectuant chacune un millier de voyage par jour, on peut évaluer l'activité d'une colonie à environ une dizaine de millions de micro-prélèvements par jour.

Ainsi, de nombreux travaux scientifiques montrent l'intérêt des abeilles dans l'évaluation des niveaux de pollutions chimiques dans l'environnement (pesticides, amiante, métaux lourds, etc.). Dans le domaine particulier de la radioactivité, des expériences dans de nombreux pays témoignent également de l'intérêt des abeilles dans la surveillance de l'environnement à partir de l'analyse des produits de la ruche (pollens, cire, miel, propolis) mais également des insectes eux-mêmes. Ainsi, aux Etats-Unis, des réseaux de surveillance basés sur l'installation spécifique de ruches autour d'installations nucléaires ont été mis en place par l'agence de protection de l'environnement.

Ce volet de surveillance consacré à l'étude des produits des ruches implantées autour du CSA mené sur trois ans, constitue une étude pionnière en France.

Etude des produits de la ruche – année 1/3

Lieux d'implantation des ruches

La première année d'étude s'est intéressée à deux lieux existants d'implantation de ruches situés respectivement à la Ville-aux-bois et à la Chaise, non loin de l'entrée du CIREs.



Photo 7 : Ruches de la Ville-aux-Bois



Photo 6 : Ruches implantées à La Chaise.

Produits analysés

Miel, pollen et propolis ont pu être récoltés dans les ruches situées sur la commune de la chaise. Pour des raisons techniques (absence notamment de piège à pollen), seul le miel a pu être récolté dans les ruches situées à la ville-aux-bois.



Analyses réalisées :

Pour l'ensemble des échantillons, il a été réalisé une recherche et un dosage des émetteurs gamma (naturels et artificiels).

La mesure du tritium, sous sa forme liée (OBT), a également été réalisée sur les échantillons de miel et de pollen. Cette mesure n'a pu être réalisée sur le propolis compte tenu de la quantité disponible insuffisante.



Photo 8 : miel et pollen récoltés dans les ruches de la Chaise.

Résultats :

Concernant l'ensemble des produits, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté.

Les niveaux de tritium organiquement lié mesurés dans le pollen sont comparables à ceux obtenus dans les échantillons d'herbe et conformes aux niveaux attendus dans des zones non influencées par l'activité humaine (voir note n°2 ; page 19-20). On constate par contre que pour une teneur en hydrogène semblable, les niveaux de tritium mesurés dans les miels sont de 5 à 10 fois inférieures aux niveaux de référence attendus pour les végétaux (et mesurés dans le pollen).

La poursuite de l'étude sur deux années supplémentaires devra permettre de consolider ce premier constat et permettre si possible d'en trouver l'origine ; De plus, l'implantation de nouvelles ruches à proximité du CSA permettra d'étendre les investigations.

Enfin, outre la possibilité d'évaluer la qualité radiologique de l'environnement, cette étude devrait également permettre de classer les différents produits de la ruche selon leur degré de pertinence vis-à-vis des radionucléides recherchés.

Tableau 18 : Synthèse des résultats obtenus en 2012 dans les produits des ruches implantées à la Ville-aux-Bois et à la Chaise.

radionucléide	période		Miel Ville-aux-bois	Miel La Chaise	Pollen La chaise	Propolis La chaise
Radionucléides artificiels émetteurs gamma						
Cobalt-60	5,3 ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Ru/Rh-106	373 jours	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Argent-108m	438 ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Argent-110m	250 jours	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Iode-129	16 10 ⁶ ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Césium-134	2,1 ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Césium-137	30,0 ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Américium-241	437,7 ans	Bq/kg sec	< LD	< LD	< LD	< LD
Radionucléides émetteur bêta pur						
Tritium lié (OBT)	12 ans	Bq/kg sec	0,20	0,12	1,05	NR
Teneur en Hydrogène		% massique	7,18%	7,34%	7,12%	