



**Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest**

Association loi 1901 SIRET : 950 369 868 00027 APE : 743B

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](mailto:acro-laboratoire@wanadoo.fr)

[www.acro.eu.org](http://www.acro.eu.org)

**RAPPORT**

# Analyse des niveaux de la radioactivité dans les environs du centre de stockage FMA-VC de l'Aube

Année -2007

Présentation, résultats et méthodes

Commission Locales d'Information  
de Soulaines-Dhuys

Domaine St-Victor  
10200 SOULAINES DHUYS

# 1 Sommaire

<b>1</b>	<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>PRESENTATION DU TRAVAIL</b>	<b>3</b>
2.1	cadrage	3
2.2	description	3
2.3	Elément technique de compréhension	5
<b>3</b>	<b>CONSTATS</b>	<b>6</b>
3.1.1.1	Les arbres :	6
3.1.1.2	Les eaux :	6
3.1.1.3	Les sédiments :	6
3.1.1.4	Les sols :	6
3.1.1.5	Le couvert végétal (herbe) :	7
3.1.1.6	Les produits du jardin et les vignobles :	7
3.1.1.7	Dosimétrie :	7

## 2 Présentation du travail

### 2.1 cadrage

---

Avec la promulgation en juin 2006 de la loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (loi TSN), les commissions locales d'information (CLI) comme celle de Soulaines ont vu leur rôle renforcé en matière d'information du public et de concertation. Elles se sont également vu confier une mission de suivi avec la possibilité de faire réaliser des expertises ou analyses dans l'environnement.

Ce socle juridique offre concrètement à l'acteur de terrain qu'est la CLI la possibilité d'élaborer sa propre information en direction des populations, en marge de celle fournie par l'Etat et par l'industriel.

Parce qu'elle est composée d'élus locaux, d'associatifs, de syndicalistes et de personnes qualifiées, la CLI est accessible et appréhende la vie locale dans toutes ses dimensions. En conséquence elle peut construire une information qui tienne compte des spécificités de la région et des questionnements particuliers, des éléments qui échappent par essence à l'industriel et à l'Etat.

Le travail réalisé en 2007 par la CLI de Soulaines s'inscrit pleinement dans ce cadre. L'implication de ses membres dans l'élaboration et le suivi du projet, et l'articulation de celui-ci avec les usages locaux (bois, vignoble, jardin) y concourent. Ce travail est légitime. Et le fait de vouloir se doter de ses propres données comme l'a fait la CLI n'est pas un acte de défiance mais le gage d'une démarche crédible.

La démarche initiée par la CLI a débuté en réaction à une crise. En toile de fond, la formalisation réglementaire en 2004 des rejets en milieu naturel du CSA a été un catalyseur puisque dans les esprits ce site nucléaire devait être *conçu, réalisé et exploité pour ne pas rejeter d'effluents radioactifs liquides ou gazeux [...]*<sup>1</sup>. Parallèlement, la présence d'hydrogène radioactif dans la nappe albo-aptienne et l'impossibilité pour la CLI de répondre à diverses questions particulières à l'aide des données disponibles, notamment des filières à enjeux pour la région, ont été autant d'éléments pour engager une démarche d'information d'un nouveau genre.

Dans ce contexte, la CLI a souhaité disposer d'un regard technique extérieur couplé à des investigations de terrain et à des analyses en laboratoire. L'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, forte d'une expérience de 20 ans dans le domaine, a été retenue pour effectuer ce travail à l'issue d'un appel à concurrence mis en place fin 2006.

Dès lors, l'exploitant de l'installation nucléaire n'a plus été le seul interlocuteur sur un plan technique. Pour autant il n'a pas été écarté. Toujours tenu informé de la nature et du calendrier des opérations, il a pu se joindre aux actions de terrain le concernant étroitement ; ce qu'il a fait.

Comme toute démarche d'un genre nouveau, celle-ci a d'abord nécessité un engagement politique de la part des membres de la CLI, et de son président, ainsi que du représentant des élus locaux, pilote de ce projet, monsieur DALLEMAGNE (Président de la communauté de communes). Mais elle a également impliqué que cet engagement soit partagé par l'industriel. L'ouverture des portes du site nucléaire assortie de la possibilité de prélever « au pied » des ouvrages de stockage des déchets, un fait rarissime voire unique dans le microcosme du nucléaire, dénote la volonté de la direction de l'ANDRA d'accompagner la CLI dans la construction de sa propre information.

On pourrait se satisfaire de ce bilan environnemental après quinze années d'exploitation du site nucléaire, d'autant que les résultats des analyses sont encourageants, et ne jamais réitérer cette expérience. Mais c'est oublier que le principal acquis, ou véritable enjeu, réside dans l'existence même d'une telle démarche qui, associant des acteurs d'horizons divers, a permis aux populations locales de trouver dans leur CLI un auteur et acteur (à part entière) de leur information. Un acquis d'intérêt commun, fragile s'il n'est pas entretenu. Enfin, ne pas réitérer cette expérience ce serait oublier que rien n'est immuable, le CSA est encore présent pour plusieurs siècles.

### 2.2 description

---

Elaborée en concertation avec la Commission Locale d'Information de Soulaines, l'étude engagée avait une triple ambition :

1. collecter des informations qui renseignent sur la pression exercée par le CSA sur les écosystèmes environnants et permettent d'apprécier les conséquences pour l'homme au sens large ;
2. construire un référentiel pour toute future démarche d'investigation ou de suivi ;
3. permettre à la commission d'élaborer à terme une information en direction des riverains et des acteurs locaux qui tienne compte de leurs interrogations.

---

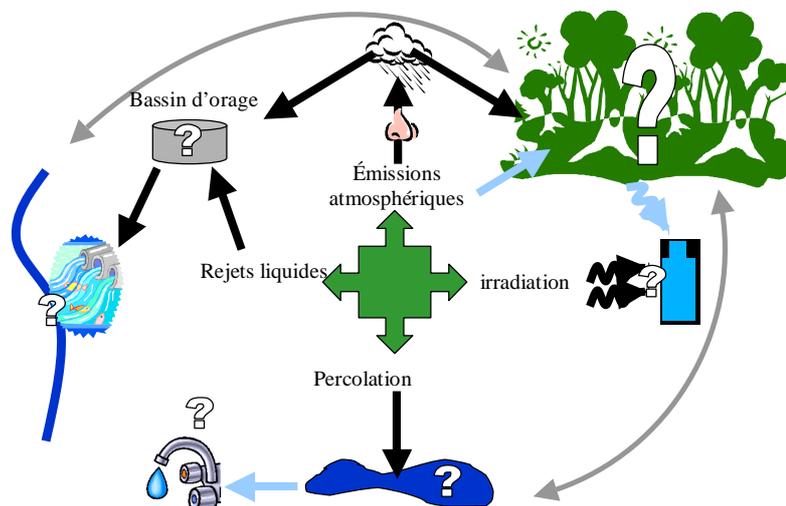
<sup>1</sup> Extrait de l'article 2.2 du décret du 4 septembre 1989 autorisant le CEA à créer, sur le territoire des communes de Soulaines-Dhuys, d'Épothémont et de Ville-aux-bois une installation de stockage de déchets radioactifs solides (INB n° 149).

Qu'ils soient déposés au sol, circulant avec les eaux souterraines ou de la rivière *les Noues d'Amance*, ou encore fixés par les végétaux ou culture, les contaminants les plus caractéristiques des déchets radioactifs stockés ont fait l'objet d'un dépistage. Et dans certains cas, des informations nouvelles ont pu être obtenues. En effet, des radionucléides peu (voire pas) recherchés habituellement comme le nickel-63 ou le chlore-36 ont été intégrés à la stratégie en fonction de leurs affinités avec les constituants du milieu naturel. Enfin, ce travail a été complété par la mesure du rayonnement ambiant en plusieurs endroits, au voisinage du site nucléaire comme à distance dans quelques lieux de vie sous les vents dominants.

Pour réaliser cette évaluation, le savoir faire du laboratoire ACRO a été mis en oeuvre depuis la phase d'élaboration des opérations jusqu'à celle d'analyse. Pour les radionucléides particuliers, les analyses ont été diligentées auprès de laboratoires reconnus pour leur compétence et avec qui l'ACRO travaille régulièrement. Comme à l'accoutumée, aucun de ces laboratoires n'a été informé du lieu des prélèvements et des enjeux du travail de manière à garantir leur neutralité.

Comme pour toutes les évaluations du genre, celle entreprise courant 2007 pour la CLI n'a pas été réalisée dans le but de cerner toutes les contributions possibles. Un tel travail est à la fois techniquement et économiquement impossible, et dans certains cas d'un intérêt limité. A partir des éléments en notre possession et des questions posées à la CLI, nous avons préféré sérier les champs (lieu, radionucléide, etc.) vis-à-vis desquels on devrait s'interroger (ou être attentif) et conserver une dimension concrète à ce travail en tenant compte des utilisations effectives du milieu naturel.

Estimant que nous étions dans une démarche de construction de connaissances, rien n'a été préalablement figé. La stratégie d'actions a donc évolué au fil du temps, au rythme des données accumulées, selon une combinaison associant 3 paramètres : opportunité, intérêt et coût. Il n'empêche que la plupart des échanges (ou interactions) entre le CSA et son milieu environnant a été étudié comme le montre l'analyse de situation ci-dessous.



Parmi toutes les questions recensées par la CLI, nous avons traité dans le cadre de ce travail des aspects suivants :

1. de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine
2. de la qualité radiologique des eaux de la nappe albo-aptienne située à l'aplomb du CSA et plus particulièrement de l'évolution de la contamination (par l'hydrogène radioactif) ainsi que de l'existence ou non d'autres contaminants radioactifs
3. de la composition (à instant donné) des effluents liquides radioactifs rejetés dans les Noues d'Amances et de leurs conséquences sur le milieu naturel (eaux & sédiments)
4. des conséquences sur les Noues d'Amances et l'étang des cailles des eaux d'infiltration évacuées par les drains situés sur la flan ouest de l'installation nucléaire
5. des dépôts au voisinage du CSA sous les vents dominants (zones critiques) consécutifs aux rejets atmosphériques pratiqués par l'atelier de comptage des déchets et notamment :
  - a. des conséquences des rejets récents d'hydrogène et d'halogènes radioactifs ;
  - b. de l'accumulation dans les sols depuis quinze ans de radioéléments artificiels de longue période caractéristiques des déchets stockés
6. de la qualité radiologique des produits du jardin sous les vents dominants

7. de l'intégrité du patrimoine forestier situé au voisinage du CSA et notamment des conséquences des rejets atmosphériques de carbone radioactif pratiqués entre le printemps 2003 et le printemps 2004, soit au moment où ces rejets ont atteint leur paroxysme
8. des niveaux de la radioactivité observable (à distance) dans les vignobles qui ont accepté de participer.
9. du niveau du rayonnement gamma ambiant en périphérie du site comme à distance dans les zones habitées pour évaluer à terme l'incidence sur les promeneurs et riverains des déchets irradiants définitivement stockés

Par la suite nous nous attachons à décrire les méthodes, lieux, indicateurs et résultats obtenus. Dans le chapitre intitulé « constats », les résultats sont succinctement commentés et les faits saillants dégagés ; la situation radiologique constatée à l'intérieur du CSA y est alors dissociée de celle observée à distance de celui-ci.

Une note destinée à améliorer la compréhension des problématiques de stockages des déchets nucléaires et d'analyses des radionucléides dans l'environnement est également jointe pour les non spécialistes. De même un mémoire sur le devenir du plutonium-241 stocké au CSA est joint en annexe en réponse à des questions sur cet isotope actuellement prépondérant dans les déchets bêta-gamma (17% de la famille après calcul à réception).

Le rapport est composée de 3 annexes :

- ANNEXE 1 : localisation, nature et calendrier des prélèvements effectués - détail des résultats obtenus, du matériel et des méthodes.
- ANNEXE 2 : dosimétrie gamma - détail des résultats & localisation des sites étudiés
- ANNEXE 3 : mémoire sur l'élimination du plutonium-241

## 2.3 Élément technique de compréhension

Depuis une quinzaine d'années, 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 nucléaire après quelques siècles.

Si 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.

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 plutôt « immobiles ».

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.

## 3 Constats

### 3.1.1.1 Les arbres :

Le 4 avril 2007, de jeunes chênes ayant approximativement l'âge du CSA ont été abattus en deux endroits au voisinage de l'installation nucléaire : à 550m au nord de la cheminée de compactage des déchets, sous les vents dominants ; à 1,6km au sud-est à proximité de l'étang des Cailles, à distance des rejets (« référence »).

Quelque soit l'arbre, les analyses faites par spectrométrie gamma sur l'écorce, comme sur la partie duramen-aubier, ne témoignent pas de la présence de radionucléides artificiels émetteurs gamma. Quant à la détermination du tritium organiquement lié (total) et du carbone-14 dans la partie duramen-aubier des arbres en rapport avec leur croissance des 20 dernières années, elle n'appelle pas à formuler de commentaire. Certes du  $^{14}\text{C}$  est identifié mais les niveaux sont, aux incertitudes près, en adéquation avec les valeurs de référence obtenues dans des endroits non perturbés par les rejets des installations nucléaires. Il en est de même si on s'intéresse à la période au cours de laquelle les niveaux de rejets en carbone-14 du CSA ont atteint leur paroxysme : de printemps de 2003 à printemps 2004. Sur ce point, c'est l'analyse des cernes d'arbres qui renseigne. Exprimé en % de carbone moderne (pMC) et non en Bq/kg de carbone du fait de la technique employée, les résultats, tous deux compris en 109 et 111%, sont conformes à ce qui était mesuré ailleurs à la même époque.

### 3.1.1.2 Les eaux :

Les 9 et 10 mai 2007, des eaux souterraines et superficielles ont été prélevées en plusieurs endroits, y compris à l'intérieur du périmètre de l'installation nucléaire.

S'intéressant au domaine public, à l'eau utilisée pour la consommation humaine et celle des Noues d'Amances à la fois en amont et en aval des rejets pratiqués par le CSA, il convient d'abord de souligner que 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), toujours inférieure à 7 Bq/L (limite de détection) est en deçà de la valeur paramétrique retenue par la réglementation. Dans le détail, le bêta global, de l'ordre de 0,1 Bq/L, est constitué quasi-totalement par l'isotope radioactif du potassium. Aucun radionucléide gamma artificiel n'est décelable, ni même le césium-137 pourtant largement rencontré dans l'environnement, comme en témoigne les analyses faites par spectrométrie gamma sur les dépôts résultant d'une concentration par évaporation. Au rang des radionucléides ubiquistes d'origine naturelle, le radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) n'est décelable que dans les eaux souterraines du forage de Sauvage-Magny. Toutefois sa concentration reste très faible avec environ 6 Bq/L.

À l'intérieur du périmètre de l'installation nucléaire, les résultats obtenus avec les eaux superficielles du bassin d'orage et les eaux souterraines sont comparables à ceux enregistrés dans le domaine public. On souligne l'absence de tritium (HTO) à des niveaux supérieurs à 7 Bq/L dans les 9 piézomètres sondés. A signaler encore que les eaux du piézomètre DS24, contaminées significativement par le tritium dans le passé, ne témoignent pas de la présence de chlore-36, un radionucléide particulièrement mobile et dont la quantité stockée sur le CSA a atteint 80% de la capacité réglementaire.

Rappelons la difficulté en l'état d'établir des projections puisque les prélèvements avaient un caractère ponctuel. Soulignons enfin la nécessité de rester attentif à la qualité des eaux de la nappe albo-aptienne sous le CSA puisque du tritium subsiste encore à des niveaux légèrement supérieurs à ceux qui sont observés à distance (résultats obtenus par l'ANDRA et communiqués le 26 juin dernier à la CLI).

### 3.1.1.3 Les sédiments :

Les 26 et 27 juin 2007, des sédiments ont été prélevés en plusieurs endroits le long des Noues d'Amances qui borde le CSA, dans l'étang des Cailles, le ru Forgeot en amont et le bassin d'orage situé dans l'emprise de site nucléaire.

À l'extérieur du CSA, la radioactivité artificielle mesurée par spectrométrie gamma se résume au seul césium-137, y compris en aval des rejets de l'installation nucléaire. Exception faite de l'étang des Cailles, les niveaux sont très faibles comparativement à la situation observée sur le bassin Seine-Normandie ; l'activité massique la plus élevée est de 3,67 Bq/kg sec. Dans l'étang des Cailles, la teneur en  $^{137}\text{Cs}$  culmine à 25,8 Bq/kg sec. Les caractéristiques physico-chimiques des sédiments prélevés expliquent cet état de fait.

Dans le bassin d'orage, plusieurs radionucléides artificiels caractéristiques des déchets ont été recherchés. Au rang des émetteurs bêta-gamma, du cobalt-60 est détecté en plus du  $^{137}\text{Cs}$  ; les teneurs sont respectivement de 1,13 et 1,85 Bq/kg sec. Ces radionucléides coexistent avec du nickel-63 ( $0,70 \pm 0,30$  Bq/kg sec) et du plutonium a priori exogène (rapporté) puisque le rapport des activités  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  n'est pas conforme à celui des retombées des essais nucléaires atmosphériques ( $0,03 \pm 0,01$ ). On souligne l'absence de strontium-90. Dans tous les cas, les activités massiques de tous les radionucléides artificiels détectés sont très faibles. Pour illustration, celle des isotopes du plutonium n'excède par  $0,05$  Bq/kg sec pour le couple  $^{239+240}$  généralement prépondérant dans l'environnement.

Rappelons que les valeurs obtenus dans le bassin d'orage renseignent sur les ajouts possibles dans le milieu naturel en aval des rejets.

### 3.1.1.4 Les sols :

Les 27 et 28 juin 2007, des sols découpés en 2 horizons (0-2 et 2-12cm) ont été prélevés à la fois sous les vents dominants au voisinage du CSA (à 700 en direction du nord-est ; à 300m en direction du sud-ouest) et à distance au siège de la communauté de communes, soit à 3,7 km en direction du sud-est.

Quelque soit le lieu et l'horizon étudié, la radioactivité artificielle mesurée par spectrométrie gamma se résume à la seule présence de césium-137. Dans tous les cas ce  $^{137}\text{Cs}$  provient des retombées de l'accident de la centrale Tchernobyl et de celles des essais atmosphériques de l'arme nucléaire, principalement durant les années 50-60. Les activités massiques n'excèdent pas 10 Bq/kg sec et sont comparables à celles mesurées dans les sols en Normandie.

### 3.1.1.5 Le couvert végétal (herbe) :

Le 27 juin 2007, le couvert végétal des sols indiqués précédemment a été échantillonné.

Quelque soit le lieu, aucun radionucléide artificiel émetteur bêta-gamma n'est détecté, y compris parmi les halogènes radioactifs que sont les isotopes 129 et 131 de l'iode. Pour le tritium, il n'y a aucune différence entre les résultats obtenus sous les vents dominants à 700m de la cheminée et ceux à distance au siège de la communauté de communes.

Concernant la fraction libre du tritium (HTO) mesurée dans l'eau tissulaire des végétaux associée à la vapeur d'eau condensé à la surface de ceux-ci, les résultats sont voisins de 1,7 Bq/L. Une telle valeur n'est pas différente de celle observée dans l'eau de pluie non perturbée par les rejets des installations nucléaires.

Quant à la fraction liée non échangeable ( $\text{OBT}_{\text{nex}}$ ) du tritium, elle s'établit entre 0,8 et 0,9 Bq/kg sec et n'appelle pas à formuler de commentaire particulier.

Comme pour les eaux, rappelons qu'il n'est pas possible d'établir une projection à partir des seules données disponibles particulièrement pour le tritium ; les résultats rendent compte des apports des 2 à 3 dernières semaines au plus.

### 3.1.1.6 Les produits du jardin et les vignobles :

Le 4 septembre 2007, des jardins situés sous les vents dominants à Ville-aux-bois et Louze ainsi que des vignobles localisés à 20km en direction du sud-est dans les communes de Saulcy et Colombé-la-Fosse ont été étudiés. Dans les jardins les produits collectés ont été : les haricots blancs, salades, courgettes, thym, fanes de carottes et choux. Dans les vignobles, en plus des sols au pied des vignes, du jus de raisins et du marc en rapport avec ces mêmes sols ont été obtenus.

Quelque soit le lieu et le produit biologique, aucun radionucléide artificiel émetteur bêta-gamma n'est détecté y compris en recourant à un appareillage très sensible (une spectrométrie gamma ultra bas bruit de fond) pour effectuer les analyses. Dans le cas du jus de raisin, soulignons également l'absence de tritium (HTO) à des niveaux significatifs ( $> 7$  Bq/L).

Concernant les sols des deux vignobles, seul du césium-137 est observé. Malgré une valeur un peu forte à Saulcy ( $\approx 26$  Bq/kg sec), les résultats n'appellent à formuler de commentaire particulier ; ce césium-137 provient des retombées de l'accident de la centrale Tchernobyl et de celles des essais atmosphériques de l'arme nucléaire.

### 3.1.1.7 Dosimétrie :

Le 8 mai 2007, des mesures du débit de dose ont été réalisées le long de la clôture du CSA ainsi que dans les communes situées sous les vents dominants d'Epothémont, de Ville-aux-Bois, de Louze et de Sauvage-Magny. La grandeur déterminée était l'équivalent de dose ambiant noté  $H^*(10)$  exprimé en nSv/h. Dans les conditions opératoires, ces mesures rendaient compte du niveau d'irradiation gamma ambiant et peu de l'irradiation cosmique (estimée à environ 39nSv/h dans la région).

Avec un débit de dose de 50nSv/h comme référence et compris entre 50 et 63 nSv/h à distance dans les communes citées, il n'y a pas d'écart notable avec les valeurs enregistrées dans les environs du laboratoire à Caen. De telles valeurs sont à rapprocher de la composition radioactive naturelle des sols.

Le long de la clôture du CSA, 4 zones peuvent être identifiées et méritent d'être commentées.

1. à l'ouest, à proximité du bâtiment d'entreposage des déchets irradiants.  
C'est à cet endroit que sont enregistrées les plus fortes valeurs. Dans les conditions opératoires, le débit de dose a pu atteindre 160nSv/h, soit un ajout équivalent à deux fois le rayonnement ambiant (env. 100nSv/h). Il ne fait aucun doute que cette surexposition est la conséquence des entreposages effectués dans le dit bâtiment.
2. à l'est, face aux ouvrages de stockage.  
Le débit de dose varie de 80 à 110 nSv/h, soit un ajout équivalent au plus à une fois le rayonnement ambiant. Là encore, le stockage de déchets irradiants est à l'origine de cette surexposition.
3. au sud-ouest, à proximité de la route qui mène au bassin d'orage.  
Le débit de dose est le plus faible avec 27nSv/h. L'utilisation de remblais exogène pauvre en radioactivité naturelle explique cet état de fait.
4. au nord-est, non loin de la station T2.  
Avec un débit de dose de 70 à 80 nSv/h sur plusieurs dizaines de  $\text{m}^2$ , cet endroit mériterait des investigations supplémentaires pour cerner les raisons de cette élévation du rayonnement ambiant.

Pour conclure, soulignons que les mesures ont été faites durant une journée d'inactivité du site. Il est vraisemblable que des valeurs plus élevées puissent être enregistrées au moment de la manutention de certains déchets. Toutefois, la surexposition créée est à la fois limitée dans le temps (quelques heures au plus) et dans l'espace. Dans le cas présent, le 8 mai, nous avons cherché à caractériser une situation a priori stationnaire, conséquence des activités depuis l'ouverture du site, car elle constitue à notre sens le cas de figure critique.

Soulignons enfin l'absence de surexposition à ce jour aussi bien au niveau du bâtiment d'accueil du public que le long de la route qui mène à l'étang des Cailles. Rappelons également que toutes projections à partir des données disponibles est hasardeuse.

Localisation, nature et calendrier des  
prélèvements effectués durant l'année 2007

Détail des résultats obtenus

Matériel et méthodes

Expressions

# 1 Sommaire

<b>1</b>	<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>LOCALISATION, NATURE &amp; CALENDRIER DES PRELEVEMENTS</b>	<b>3</b>
2.1	Cartographie	3
2.2	Récapitulation des prélèvements	4
<b>3</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Les sols</b>	<b>6</b>
3.1.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	6
3.1.2	Résultats	7
<b>3.2</b>	<b>Les « sédiments »</b>	<b>8</b>
3.2.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	8
3.2.2	Résultats pour les Noues d'Amances	9
3.2.3	Résultats pour les autres lieux	10
<b>3.3</b>	<b>Les vignobles</b>	<b>11</b>
3.3.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	11
3.3.2	Résultats	12
<b>3.4</b>	<b>Les produits du jardin</b>	<b>13</b>
3.4.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	13
3.4.2	Résultats	14
<b>3.5</b>	<b>Le couvert végétal</b>	<b>15</b>
3.5.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	15
3.5.2	Résultats	16
<b>3.6</b>	<b>Les arbres</b>	<b>17</b>
3.6.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	17
3.6.2	Résultats	19
<b>3.7</b>	<b>Les eaux superficielles &amp; souterraines</b>	<b>20</b>
3.7.1	Remarques concernant les prélèvements et le traitement	20
3.7.2	Localisation exacte des prélèvements à l'intérieur du CSA	21
3.7.3	Résultats pour les eaux superficielles & souterraines	22
3.7.4	Résultats supplémentaires pour les eaux souterraines de l'INB	23
<b>4</b>	<b>MATERIEL, METHODES ET EXPRESSION POUR LES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA</b>	<b>24</b>
4.1	Matériel & méthode	24
4.2	Expression des résultats	24
4.2.1.1	Détermination du <sup>226</sup> Ra et de l' <sup>235</sup> U par spectrométrie gamma	24
<b>5</b>	<b>FILIATION DES URANIUM 235 &amp; 238</b>	<b>25</b>

## 2 Localisation, nature & calendrier des prélèvements

### 2.1 Cartographie

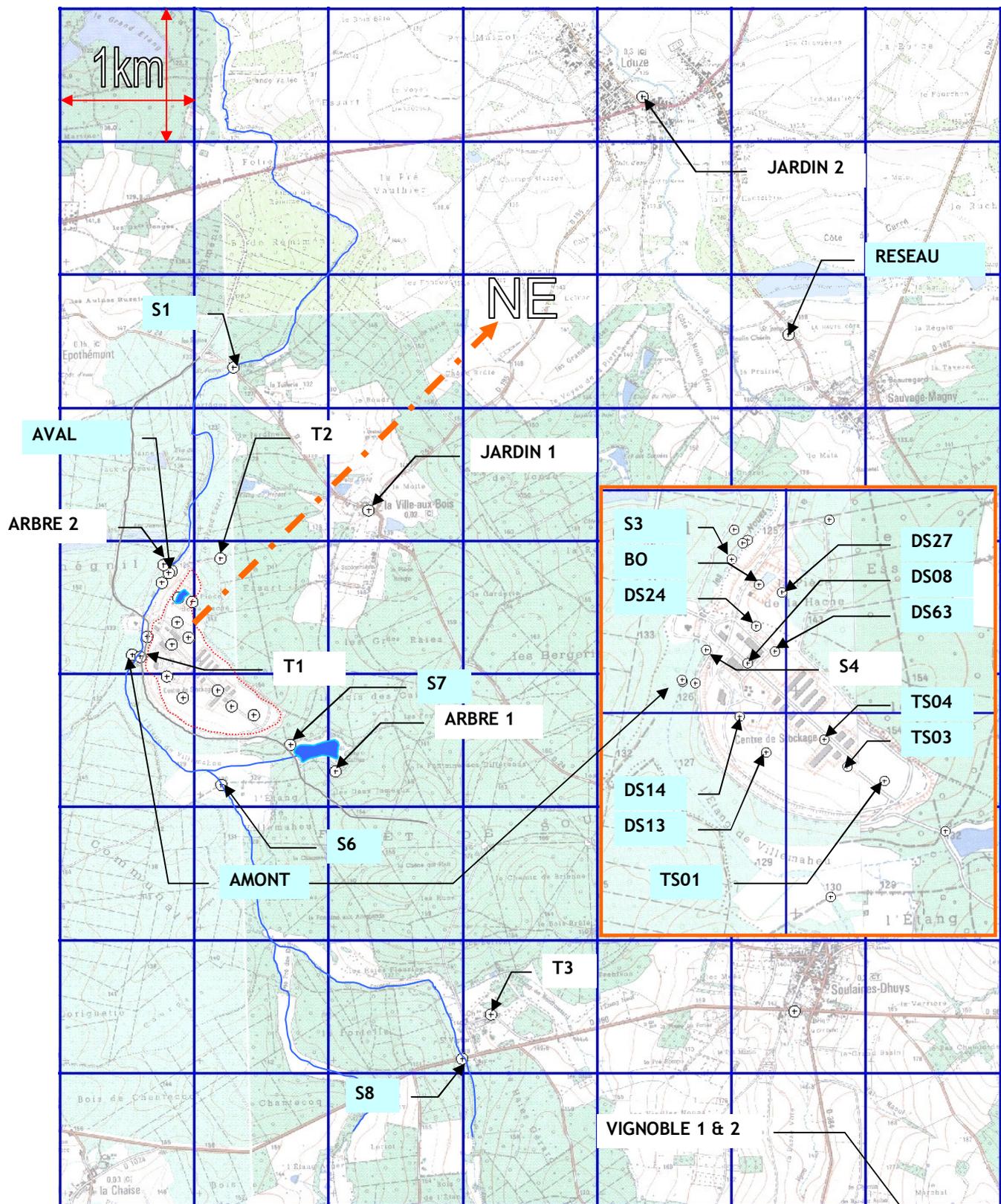


Figure 1 : localisation des sites étudiés durant l'année 2007 dans la région de Soulaire-Dhuys.

## 2.2 Récapitulation des prélèvements

Tableau 1 : localisation, calendrier et nature des prélèvements effectués durant l'année 2007 dans la région de Soulaines - détail.

station	X Lambert II étendu	Y	lieu	localisation	enregistré	date	catégorie	dénomination
<i>Observations concernant le prélèvement</i>								
AMONT	772,536	2380,143	SOULAINES	les Noues d'Amances (barrage)	090507-CSA-06	09/05/07	eau douce	cours d'eau
					pH = 7,8 ; temp = 14,4°C ; prélèvement manuel			
arbre 1	774,046	2379,274	SOULAINES	à proximité de l'étang des Cailles	290607-CSA-05	27/06/07	sédiments	superficiels
					sable fin plutôt organique			
arbre 2	772,766	2380,827	SOULAINES	à proximité du CSA	040407-CSA-01	04/04/07	arbre	chêne
					pièce de bois n°1 ; diamètre sans l'écorce = 19cm ; 20 cernes + cœur ; planté en 1985			
ARVAL	772,825	2380,78	SOULAINES	100m en aval du pt de rejets	040407-CSA-03	04/04/07	arbre	chêne
					pièce de bois n°1 ; diamètre sans l'écorce = 14cm ; 17 cernes + cœur ; environ 20 ans			
AVAL	772,825	2380,78	SOULAINES	100m en aval du pt de rejets	090507-CSA-05	09/05/07	eau douce	cours d'eau
					pH = 7,8 ; temp = 15°C ; prélèvement manuel			
BO	772,877	2380,579	CSA	à l'intérieur du site (INB)	290607-CSA-03	27/06/07	sédiments	superficiels
BO	772,877	2380,579	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-01	09/05/07	eau douce	eaux pluviales
					pH = ? ; temp = 17,7°C ; prélèvement manuel à l'intérieur de la station			
DS08	772,825	2380,226	CSA	à l'intérieur du site (INB)	290607-CSA-01	26/06/07	sédiments	superficiels
					prélèvement à l'aide d'un cone de bertois			
DS08	772,825	2380,226	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-07	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 4,8 ; temp = 13,4°C ; prélèvement par pompage sans purge préalable			
DS13	772,909	2379,825	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-09	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 5,2 ; temp = 12,0°C ; prélèvement par tube à soupape passive avec purge préalable			
DS14	772,79	2379,986	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-08	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 4,8 ; temp = 12,0°C ; prélèvement par tube à soupape passive sans purge préalable			
DS24	772,864	2380,393	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-04	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 6,2 ; temp = 12,6°C ; prélèvement par pompage avec purge préalable			
DS27	772,98	2380,546	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-11	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 5,7 ; temp = 11,2°C ; prélèvement par tube à soupape passive sans purge préalable			
DS63	772,947	2380,279	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-13	09/05/07	eau douce	eau souterraine
					pH = 6,6 ; temp = 12,6°C ; prélèvement par tube à soupape passive sans purge préalable			
jardin 1	774,291	2381,236	Ville aux Bois		040907-CSA-07	04/09/07	Aliment	Haricots blancs
					040907-CSA-08	04/09/07	Aliment	Salades
					040907-CSA-09	04/09/07	Aliment	Courgettes
jardin 2	776,333	2384,342	Louze		040907-CSA-10	04/09/07	Aliment	Thym
					040907-CSA-11	04/09/07	Aliment	Fanes carottes
					040907-CSA-12	04/09/07	Aliment	Choux (cœur)
RESEAU	777,42	2382,556	Sauvage-Magny	Station pompage eau potable	090507-CSA-03	10/05/07	eau douce	eau souterraine
				pH = 6,7 ; temp = 12,7°C ; prélèvement manuel à l'intérieur de la station après purge des tuyaux				
S1	773,286	2382,311	SOULAINES	pont D24	290607-CSA-02	27/06/07	sédiments	superficiels
S3	772,754	2380,694	SOULAINES	Déversoir (pt de rejets)	290607-CSA-04	27/06/07	sédiments	superficiels
S4	772,642	2380,287	SOULAINES	Drains ouest subhorizontaux	290607-CSA-07	27/06/07	sédiments	superficiels
					boues - oxyde de fer			

station	X Lambert II étendu	Y	lieu	localisation	enregistr	date	catégorie	dénomination				
<i>Observations concernant le prélèvement</i>												
S6	773,197	2379,174	SOULAINES		290607-CSA-08	27/06/07	sédiments	superficiels				
S7	773,708	2379,472	SOULAINES		290607-CSA-06	27/06/07	sédiments	superficiels				
S8	774,989	2377,112	SOULAINES	domaine St Victor	290607-CSA-09	27/06/07	sédiments	superficiels				
T1	773,592	2380,137	SOULAINES	à proximité du CSA	290607-CSA-10	27/06/07	végétaux	herbe				
					partie aérienne à partir de 2cm au dessus du sol							
					290607-CSA-13	28/06/07	sols	0-2cm				
T2	773,189	2380,872	SOULAINES	à proximité du CSA	290607-CSA-11	27/06/07	végétaux	herbe				
					partie aérienne à partir de 2cm au dessus du sol							
					290607-CSA-15	27/06/07	sols	0-2cm				
T3	775,201	2377,445	SOULAINES	domaine St Victor	290607-CSA-12	27/06/07	végétaux	herbe				
					partie aérienne à partir de 2cm au dessus du sol							
					290607-CSA-17	27/06/07	sols	0-2cm				
TS01	773,437	2379,697	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-12	09/05/07	eau douce	eau souterraine				
					pH = 6,1 ; temp = 11,7°C ; prélèvement par tube à soupape passive avec purge préalable							
					090507-CSA-10	09/05/07	eau douce	eau souterraine				
TS03	773,271	2379,762	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-10	09/05/07	eau douce	eau souterraine				
pH = 6,4 ; temp = 11,5°C ; prélèvement par tube à soupape passive sans purge préalable												
TS04	773,168	2379,883	CSA	à l'intérieur du site (INB)	090507-CSA-02	09/05/07	eau douce	eau souterraine				
pH = 6,1 ; temp = 12,4°C ; prélèvement par pompage avec purge préalable												
Vignoble 1	784,488	2366,617	Saulcy		040907-CSA-01	04/09/07	aliment	marc de raisin				
					provient de la parcelle étudiée ; 3ème presse							
					040907-CSA-02	04/09/07	aliment	jus de raisin				
provient de la parcelle étudiée ; dernière presse												
Vignoble 2	781,306	2365,329	Colombé-la-Fosse		040907-CSA-03	04/09/07	sols	culture				
					040907-CSA-04	04/09/07	aliment	jus de raisin				
					provient de la parcelle étudiée							
					040907-CSA-05	04/09/07	aliment	marc de raisin				
					provient de la parcelle étudiée							
					040907-CSA-06	04/09/07	sols	culture				

## 3 Résultats

### 3.1 Les sols

#### 3.1.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

**Sur le terrain :** Trois sites sont étudiés.

Parmi eux, deux sont localisés au voisinage immédiat de l'installation nucléaire sous les vents dominants : à environ 300m de la cheminée de l'unité de compactage en direction du sud-ouest (station T1) et à 700m en direction du nord-est (station T2). Ceux-ci sont situés à la lisière des bois en des endroits relativement dégagés par rapport aux retombées atmosphériques. Du fait de leur configuration par rapport à l'installation nucléaire, ils témoignent des conséquences des rejets aériens.



Le troisième et dernier site est localisé dans le domaine Saint-Victor, siège de la communauté de communes de Soulaines-Dhuys, soit à 3,7 km du CSA en direction du sud-est. Il est plus précisément adossé à l'ancienne serre dont seule l'armature métallique subsiste de nos jours. Ce site renseigne sur la radioactivité observable à distance de l'installation nucléaire.

Le couvert végétal écarté pour la constitution des échantillons d'herbe destinés à l'analyse, 3 prélèvements de sols espacés sont réalisés à l'endroit étudié. Chaque prélèvement s'apparente à un cube de sols de dimensions 20x20x25 cm (de profondeur) obtenu à l'aide d'une pelle bêche. Dès lors, deux horizons sont séparés (0-2 cm et 2-10cm) conformément à la NF M60-790-2 dans le cas de la caractérisation initiale d'un site. Les photos ci-contre montrent le résultat d'un prélèvement selon cette méthode.

Pour constituer les échantillons destinés à l'analyse (ANDRA versus ACRO) à partir des lots disponibles, la norme X31-100 est appliquée.

**Au laboratoire :** Chaque horizon fait l'objet d'une analyse quantitative par spectrométrie gamma au laboratoire de l'ACRO en tenant compte des normes NF M60-790-3 et 6. Toutefois les échantillons sont séchés à 60°C en étuve ventilée et mesurés après au moins 30 jours de conditionnement.

Tableau 2 : caractéristiques des échantillons de sols collectés

Références	Fraction	Masse fraîche Réception labo	Masse sèche <2mm « pour analyse »	Masse sèche >2mm « fraction rejetée » (*)
290607-CSA-13	0 – 2 cm	1532 g	1054 g	66 g
290607-CSA-14	2 – 12 cm	2527 g	1841 g	199 g
290607-CSA-15	0 – 2 cm	1453 g	835 g	119 g
290607-CSA-16	2 – 12 cm	2760 g	2017 g	48 g
290607-CSA-17	0 – 2 cm	1491 g	962 g	88 g
290607-CSA-18	2 – 12 cm	4830 g	1886 g	24 g

(\*) : correspond à la quantité de débris, racines, végétaux, brindilles, cailloux d'un diamètre supérieur à 2mm, etc. qui est délibérément écartée de toute analyse.

## 3.1.2 Résultats

Tableau 3 : résultats des analyses des sols prélevés les 27 &amp; 28 juin 2007 en 3 endroits au voisinage de l'INB n° 149 - commune de Soulaines / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	290607-CSA-13	290607-CSA-14	290607-CSA-15	290607-CSA-16	290607-CSA-17	290607-CSA-18
Catégorie	sols	sols	sols	sols	sols	sols
Dénomination ou [Genre - espèce]	0-2cm	2-12cm	0-2cm	2-12cm	0-2cm	2-12cm
<b>Prélèvement</b>						
Date	28-juin-07	28-juin-07	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07
Code de station	<b>T1</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T3</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...						
Lieu (commune) ou site	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES
Département	10	10	10	10	10	10
Localisation (détail)	SO CSA	SO CSA	NE CSA	NE CSA	St Victor	St Victor
Lambert 2 étendu (km) X	773,592	773,592	773,189	773,189	775,201	775,201
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,137	2380,137	2380,872	2380,872	2377,445	2377,445
distance / l'exutoire (km)	0,3	0,3	0,7	0,7	3,7	3,7

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	28/06/2007	28/06/2007	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007
Unité	Bq/kg sec					

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA						
<b>Comptage</b>						
n° de manipulation	<b>5594</b>	<b>5593</b>	<b>5592</b>	<b>5591</b>	<b>5590</b>	<b>5566</b>
Temps de comptage actif (s)	92761	255086	94773	74330	154194	104582
Géométrie (en cc)	500	500	500	500	500	500
Masse de l'échantillon conditionné	608	692	576	621	551	636
âge de l'échantillon (jours)	109	106	106	105	103	86
âge du conditionnement (jours)	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>63</b>	<b>62</b>	<b>60</b>	<b>42</b>
Psec / Pfrais						
Fraction analysée	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm
Etat du conditionnement	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Densité analysée	1,20	1,38	1,15	1,24	1,10	1,27
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>						
57 Co 272 jours						
58 Co 71 jours						
60 Co 5,3 ans	<0,4	<0,3	<0,4	<0,4	<0,3	<0,4
106 Ru-Rh(*) 373 jours						
108mAg 418 ans						
110m Ag 250 jours						
131 I 8 jours						
134 Cs 2,1 ans						
137 Cs 30 ans	<b>4,20±0,46</b>	<b>4,64±0,43</b>	<b>9,1±0,9</b>	<b>8,7±0,8</b>	<b>8,7±0,8</b>	<b>8,8±0,8</b>
154 Eu 8,6 ans						
241 Am 438 ans	<0,7	<0,5	<0,8	<0,9	<0,6	<0,8
<b>Radionucléides NATURELS</b>						
234 Th à 63 kev ch. 238U	24±9	23±8	26±10	24±10	26±10	24±9
234 Th à 92 kev ch. 238U	-	-	28±6	-	-	-
234m Pa ch. 238U	<55	<35	<60	<55	<50	<50
230 Th ch. 238U	<70	<42	<75	<85	<60	<72
<b>226 Ra max 235U-238U</b>	<b>43±6</b>	<b>42,9±4,7</b>	<b>53±7</b>	<b>57±7</b>	<b>56±6</b>	<b>52±6</b>
214 Pb (= 226Ramin) ch. 238U	21,1±2,2	22,1±2,2	26,5±2,7	26,6±2,7	26,4±2,6	26,5±2,7
214 Bi ch. 238U	21,5±2,4	21,8±2,2	25,5±2,8	26,4±2,9	26,1±2,7	26,3±3,6
210 Pb ch. 238U	34±6	24,6±3,7	46±7	38±6	42±6	37±6
228 Ac (= 228Ra) ch. 232Th	20,7±2,4	22,5±2,3	27,7±3,0	28,7±3,2	28,2±2,9	29,1±3,1
212 Pb (= 228Th) ch. 232Th	21,1±1,9	22,1±1,9	27,4±2,5	29,0±2,6	27,9±2,5	28,5±2,5
<b>235 U max ch. 235U</b>	<b>1,25±0,21</b>	<b>1,20±0,18</b>	<b>1,55±0,25</b>	<b>1,73±0,28</b>	<b>1,69±0,25</b>	<b>1,47±0,23</b>
235 U à 163 keV ch.235U	<4,9	<3,3	<5	<6	<4,4	<5
231 Pa ch. 235U						
227 Th (= 227Ac) ch. 235U	<1,8	<1,1	<2,1	<2,3	<1,6	<1,9
219 Rn (= 223Ra) ch. 235U	<4,2	<2,5	<4,5	<5	<3,6	<4,2
40 K 1,3E9 ans	281±26	290±26	279±26	277±26	355±32	345±31
7 Be 53 jours	<11	<6	<12	<13	<9	<8

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne						
fraction analysée						
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					

## 3.2 Les « sédiments »

### 3.2.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

**Sur le terrain :** Le long du cours d'eau des Noues d'Amances qui reçoit les effluents liquides de l'installation nucléaire, l'étude porte sur un tronçon d'environ 4km. Cinq sites sont pris en référence.



Figure 2 : station S6



Figure 3 : déversoir ; station S3



Figure 4 : les Noues d'Amances

Parmi eux, deux sont localisés en amont du point de rejets. Situé à 2km, le site S6 est considéré comme étant totalement hors influence et correspond à la station codifiée RU1 ou SRU1 par l'ANDRA. Toujours en amont mais à 600m seulement de l'émissaire, la station dite « AMONT » est localisée au niveau d'un barrage métallique (voir photo) qui favorise l'accumulation des particules. A cet endroit, une partie des eaux météoriques drainées sur le flan ouest de l'INB se mêlent aux eaux du cours d'eau via un réseau de fossés.

Directement concernée par les rejets d'effluents liquides de l'INB, la station S3 est adossée au déversoir (voir photo). Un peu plus loin, à une centaine de mètres, se trouve le quatrième site étudié et dénommé « AVAL ». Depuis la berge gauche il est aisément repérable puisque situé à l'aplomb du piézomètre.

Quant à la cinquième station, elle se situe à l'intersection avec la D24, légèrement en amont du pont, soit à l'endroit codifié R2 par l'ANDRA.

En amont de ce tronçon, l'étang des cailles et le ruisseau Forgeot font également l'objet de prélèvements : le premier pour vérifier si les écoulements souterrains depuis le CSA ne constituent pas à ce jour un facteur de perturbation (ou de pollution) de ses eaux ; le second pour disposer d'une référence supplémentaire, en dehors de toute influence de l'INB.

Enfin, un prélèvement est réalisé à l'intérieur de l'installation nucléaire au niveau du bassin d'orage qui constitue en quelque sorte le dernier ouvrage d'épuration avant rejet en milieu naturel. De cette manière, il est possible de caractériser ce que pourrait être dans le milieu naturel la situation radiologique la plus critique ou de rendre compte des niveaux de radioactivité maximums observables dans les sédiments.

Un autre prélèvement est effectué à la sortie du drain ouest subhorizontal qui reçoit les eaux d'infiltration dans les environs de la casemate d'entreposage des déchets irradiants.

Hormis pour le bassin d'orage, tous les prélèvements sont effectués depuis « la berge » à l'aide d'une canne télescopique équipée d'un pot en inox ; la surface est raclée sur une profondeur variable inférieure à quelques centimètres. Il faut souligner que le tronçon étudié le long des Noues d'Amances, étriqué, est creusé dans l'argile et qu'il n'y a pratiquement aucun dépôt de particules fines.

Pour le bassin d'orage, le prélèvement est effectué dans la partie sud-ouest à l'aide d'un cône de Bertois lancé à environ 7m des berges. A cet endroit, les eaux de ruissellement en provenance de l'aire de stockage des déchets se mêlent aux autres.

**Au laboratoire :** Chaque échantillon fait l'objet d'une analyse quantitative par spectrométrie gamma au laboratoire de l'ACRO en tenant compte de la norme NF M60-790-6 après séchage à 60°C en étuve ventilée. Ils sont mesurés après au moins 30 jours de conditionnement sauf les sédiments du bassin d'orage. Ceux-ci sont analysés sans tarder. Une fraction est également expédiée dans un autre laboratoire pour une analyse par spectrométrie gamma ultra-bas bruit de fond selon une méthode interne.

Par ailleurs des analyses complémentaires sont diligentées auprès du Laboratoire de Mesure de la Radioactivité de l'Environnement (LMRE) du service de traitement des échantillons et de métrologie pour l'environnement (STEME) de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN). Elles concernent les sédiments du bassin d'orage et ont pour but de déterminer :

1. le  $^{63}\text{Ni}$  par méthode interne
2. le  $^{238}\text{Pu}$  et  $^{239+240}\text{Pu}$  selon NF M60-790-8
3. le  $^{90}\text{Sr}$  selon NF M60-790-7

## 3.2.2 Résultats pour les Noues d'Amances

Tableau 4 : résultats des analyses des « sédiments » prélevés le 27 juin 2007 le long du cours d'eau dénommé les Noues d'Amances - commune de Soulaines / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	290607-CSA-02	290607-CSA-03	290607-CSA-04	290607-CSA-05	290607-CSA-08	
Catégorie	sédiments	sédiments	sédiments	sédiments	sédiments	
Dénomination ou [Genre - espèce]	superficiels	superficiels	superficiels	superficiels	superficiels	
<b>Prélèvement</b>						
Date	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07	
Code de station	<b>S1</b>	<b>AVAL</b>	<b>S3</b>	<b>AMONT</b>	<b>S6</b>	
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...	Noues d'Amances					
Lieu (commune) ou site	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES	
Département	10	10	10	10	10	
Localisation (détail)	pont D24		Déversoir	barrage		
Lambert 2 étendu (km) X	773,286	772,804	772,754	772,533	773,197	
Lambert 2 étendu (km) Y	2382,311	2380,766	2380,694	2380,151	2379,174	
distance / l'exutoire (km)	1,9	0,1	0	- 0,6	- 2	

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007	
Unité	Bq/kg sec					

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA						
<b>Comptage</b>						
n° de manipulation	<b>5589</b>	<b>5556</b>	<b>5563</b>	<b>5565</b>	<b>5547</b>	
Temps de comptage actif (s)	87532	31652	85028	76084	111105	
Géométrie (en cc)	500	500	500	500	500	
Masse de l'échantillon conditionné	713	730	731	654	578	
âge de l'échantillon (jours)	102	79	84	85	71	
âge du conditionnement (jours)	<b>62</b>	<b>23</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>31</b>	
Psec / Pfrais	81,0%	78,0%	77,0%	71,0%	57,0%	
Fraction analysée	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	
Etat du conditionnement	sec	sec	sec	sec	sec	
Densité analysée	1,43	1,46	1,46	1,31	1,16	
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>						
57 Co	272 jours	<0,3	<0,5	<0,3	<0,3	<0,3
58 Co	71 jours	<0,7	<1	<0,6	<0,8	<0,7
60 Co	5,3 ans	<0,4	<0,5	<0,3	<0,4	<0,4
106 Ru-Rh(*)	373 jours	<6	<10	<6	<7	<7
108mAg	418 ans	<0,3	<0,5	<0,3	<0,4	<0,3
110m Ag	250 jours	<0,4	<0,6	<0,4	<0,5	<0,4
131 I	8 jours	-	-	-	-	-
134 Cs	2,1 ans	<0,3	<0,5	<0,3	<0,4	<0,4
137 Cs	30 ans	<b>0,32±0,16</b>	<0,6	<b>0,42±0,17</b>	<b>0,67±0,21</b>	<b>3,67±0,40</b>
154 Eu	8,6 ans	<0,5	<0,7	<0,5	<0,6	<0,6
241 Am	438 ans	<0,6	<1,1	<0,6	<0,7	<0,7
<b>Radionucléides NATURELS</b>						
234 Th à 63 kev	ch. 238U	13±6	12±7	10±5	12±6	26±10
234 Th à 92 kev	ch. 238U	-	17,8±4,8	12,2±3,2	-	31±6
234m Pa	ch. 238U	<44	<65	<45	<45	<50
230 Th	ch. 238U	<56	<100	<60	<65	<70
<b>226 Ra max</b>	<b>235U-238U</b>	<b>22,8±4,3</b>	<b>28±7</b>	<b>22,1±4,6</b>	<b>32±5</b>	<b>60±7</b>
214 Pb (= 226Ramin)	ch. 238U	11,1±1,2	11,7±1,5	10,8±1,5	16,2±1,7	28,1±2,8
214 Bi	ch. 238U	-	12,5±1,7	9,9±1,6	15,0±1,9	26,7±2,8
210 Pb	ch. 238U	14,1±4,0	15±7	13,6±4,3	15,4±4,6	30±5
228 Ac (= 228Ra)	ch. 232Th	12,8±1,7	12,8±2,2	12,3±1,9	18,6±2,3	30,3±3,2
212 Pb (= 228Th)	ch. 232Th	12,2±1,1	13,4±1,4	11,4±1,4	18,7±1,7	30,7±2,7
<b>235 U max</b>	<b>ch. 235U</b>	<b>0,67±0,15</b>	<b>0,93±0,25</b>	<b>0,65±0,16</b>	<b>0,90±0,18</b>	<b>1,85±0,28</b>
235 U à 163 keV	ch.235U	<4,2	<7	<4,3	<4,3	<5,0
231 Pa	ch. 235U					
227 Th (= 227Ac)	ch. 235U	<1,6	<2,8	<1,6	<2	<1,9
219 Rn (= 223Ra)	ch. 235U	<3,4	<6	<3,4	<4	<4,2
40 K	1,3E9 ans	131±13	152±16	147±18	207±19	267±24
7 Be	53 jours	<8	<11	<7	<8	<7

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne						
fraction analysée						
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					

## 3.2.3 Résultats pour les autres lieux

Tableau 5 : résultats des analyses des « sédiments » ou « vases » prélevé(e)s le 27 juin 2007 ailleurs que dans le lit des Noues d'Amances - commune de Soulaines / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	290607-CSA-01		290607-CSA-07		290607-CSA-06	290607-CSA-09
Catégorie	sédiments		sédiments		sédiments	sédiments
Dénomination ou [Genre - espèce]	superficiels		superficiels		superficiels	superficiels
<b>Prélèvement</b>						
Date	26-juin-07		27-juin-07		27-juin-07	27-juin-07
Code de station	<b>BO</b>		<b>S4</b>		<b>S7</b>	<b>S8</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...	Bassin d'orage		-		Etang des Cailles	Ru Forgeot
Lieu (commune) ou site	CSA		SOULAINES		SOULAINES	SOULAINES
Département	10		10		10	10
Localisation (détail)	Intérieur INB		Drain ouest			St Victor
Lambert 2 étendu (km) X	772,877		772,642		773,708	774,989
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,579		2380,287		2379,472	2377,112
distance / l'exutoire (km)	0		-0,4		-2,5	-5,2

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	26/06/2007		27/06/2007		27/06/2007	27/06/2007
Unité	Bq/kg sec		Bq/kg sec		Bq/kg sec	Bq/kg sec

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA						
<b>Comptage</b>						
n° de manipulation	<b>5501</b>		<b>5559</b>		<b>5562</b>	<b>5543</b>
Temps de comptage actif (s)	229106		100477		68755	80416
Géométrie (en cc)	500		500		500	500
Masse de l'échantillon conditionné	594		553		478	624
âge de l'échantillon (jours)	17		80		81	68
âge du conditionnement (jours)	<b>1</b>		<b>40</b>		<b>41</b>	<b>28</b>
Psec / Pfrais	44,5%		35,0%		40,0%	62,0%
Fraction analysée	<2mm		<2mm		<2mm	<2mm
Etat du conditionnement	sec		sec		sec	sec
Densité analysée	1,19		1,10		0,96	1,25
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>						
57 Co	272 jours	<0,4	<0,3		<0,4	<0,4
58 Co	71 jours	<0,4	<0,7		<1	<0,7
60 Co	5,3 ans	<b>1,13±0,17</b>	<0,4		<0,5	<0,4
106 Ru-Rh(*)	373 jours	<4	<7		<10	<8
108mAg	418 ans	<0,2	<0,3		<0,5	<0,4
110m Ag	250 jours	<0,3	<0,4		<0,6	<0,5
131 I	8 jours	<1	-		-	-
134 Cs	2,1 ans	<0,3	<0,4		<1	<0,4
137 Cs	30 ans	<b>1,85±0,22</b>	<b>0,36±0,19</b>		<b>25,8±2,3</b>	<b>3,06±0,38</b>
154 Eu	8,6 ans	<0,4	<0,7		<0,7	<0,6
241 Am	438 ans	<0,5	<0,6		<0,9	<0,9
<b>Radionucléides NATURELS</b>						
234 Th à 63 kev	ch. 238U	-	23±9		21±9	21±9
234 Th à 92 kev	ch. 238U	17,5±3,3	18,1±3,8		24±5	21,9±4,6
234m Pa	ch. 238U	<40	<55		<70	<55
230 Th	ch. 238U	<44	<60		<87	<80
<b>226 Ra max</b>	<b>235U-238U</b>	<b>43,5±4,9</b>	<b>55±7</b>		<b>46±7</b>	<b>48±7</b>
214 Pb (= 226Ramin)	ch. 238U	18,3±1,8	30,7±3,0		20,5±2,2	26,0±2,6
214 Bi	ch. 238U	18,3±1,9	29,7±3,1		21,3±2,6	26,5±2,9
210 Pb	ch. 238U	215±21	14,9±4,2		48±7	37±6
228 Ac (= 228Ra)	ch. 232Th	19,5±2,1	16,0±2,0		25,3±3,1	30,9±3,3
212 Pb (= 228Th)	ch. 232Th	19,4±1,7	13,0±1,2		25,5±2,3	30,7±2,7
<b>235 U max</b>	<b>ch. 235U</b>	<b>1,45±0,22</b>	<b>1,39±0,22</b>		<b>1,45±0,28</b>	<b>1,26±0,22</b>
235 U à 163 keV	ch.235U	<b>&lt;3,6</b>	<b>&lt;4,8</b>		<b>&lt;6</b>	<b>&lt;5</b>
231 Pa	ch. 235U					
227 Th (= 227Ac)	ch. 235U	<1,3	<1,8		<2,7	<2,2
219 Rn (= 223Ra)	ch. 235U	<2,8	<4,1		<6	<4,90
40 K	1,3E9 ans	367±33	218±20		319±30	282±26
7 Be	53 jours	44,1±4,1	7,3±3,8		<12	<8

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne	290607-CSA-01					
fraction analysée	< 2mm					
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					
63 Ni	Bq/kg sec	0,70±0,30				
90 Sr	Bq/kg sec	<0,69				
238 Pu	mBq/kg sec	5,5±1,0				
239+240 Pu	mBq/kg sec	46,9±3,2				

## 3.3 Les vignobles

### 3.3.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

Deux établissements ont accepté un contrôle de leur production du moment :

1. l'Etablissement MOUJIN situé à Saulcy, dénommé par la suite VIGNOBLE n° 1
2. l'Etablissement COURTILLIER situé à Colombé-la-Fosse, dénommé par la suite VIGNOBLE n° 2

Ces deux établissements sont localisés à environ 18km de l'installation nucléaire en direction du sud-est. Les prélèvements ont été réalisés le 4 septembre 2007, soit au moment des vendanges.



Figure 5 : unité de pressage (vignoble n° 1)

**Sur le terrain :** En rapport avec le pressage en cours, la parcelle concernée a été identifiée et un prélèvement de sols effectué. Pour constituer l'échantillon destiné à l'analyse, le long d'un rang de vigne, d'une extrémité à l'autre, les sols ont été échantillonnés tous les 5m en raclant une petite quantité à l'aide d'une pelle de laboratoire. De retour à l'atelier de fabrication, du marc et du jus de raisin ont été récupérés après pressage.



Figure 6 : parcelle étudiée dans le cadre à Saulcy (vignoble n° 1)



Figure 7 : parcelle étudiée à Colombé-la-fosse (vignoble n° 2)

**Au laboratoire :** Chaque échantillon a fait l'objet d'une analyse quantitative par spectrométrie gamma au laboratoire de l'ACRO.

- Pour les sols, l'approche a été similaire à celle décrite au chapitre 3.1.
- Pour le marc, après séchage et réduction en poudre par broyage mécanique à lame, le résidu sec a été conditionné dans une géométrie de type boîte de pétri d'un volume utile de 61 cc pour comptage.
- Enfin pour le jus, celui-ci a été immédiatement conditionné dans un conteneur SG500 et congelé dans l'attente d'un créneau d'analyse.

Une fraction du jus de raisin disponible a fait l'objet d'une double distillation destinée au dosage du tritium HTO dans le respect de la norme ISO 9698.

## 3.3.2 Résultats

Tableau 6 : résultats des analyses d'échantillons prélevés le 4 septembre 2007 dans des vignobles de la région de Soulaïnes - département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	040907-CSA-03	040907-CSA-01	040907-CSA-02	040907-CSA-06	040907-CSA-05	040907-CSA-04
Catégorie	sols	aliment	aliment	sols	aliment	aliment
Dénomination ou [Genre - espèce]	culture	marc de raisin	jus de raisin	culture	marc de raisin	jus de raisin
<b>Prélèvement</b>						
Date	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07
Code de station	<b>VIGNOBLE 1</b>	<b>VIGNOBLE 1</b>	<b>VIGNOBLE 1</b>	<b>VIGNOBLE 2</b>	<b>VIGNOBLE 2</b>	<b>VIGNOBLE 2</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...						
Lieu (commune) ou site	Saulcy	Saulcy	Saulcy	Colombé-la-Fosse	Colombé-la-Fosse	Colombé-la-Fosse
Département	10	10	10	10	10	10
Localisation (détail)						
Lambert 2 étendu (km) X	784,488	784,488	784,488	781,306	781,306	781,306
Lambert 2 étendu (km) Y	2366,617	2366,617	2366,617	2365,329	2365,329	2365,329
distance / l'exutoire (km)	18	18	18	18	18	18

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007
Unité	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/L	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/L

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA						
<b>Comptage</b>						
n° de manipulation	<b>5596</b>	<b>ac-csa1b</b>	<b>5615</b>	<b>5599</b>	<b>5595</b>	<b>5616</b>
Temps de comptage actif (s)	102602	113816	84303	165828	148388	174738
Géométrie (en cc)	500	61	500	500	61	500
Masse de l'échantillon conditionné	640	42,6	0,5 L	685	50,9	0,5 L
âge de l'échantillon (jours)	44	90	62	48	42	63
âge du conditionnement (jours)	<b>1</b>	<b>75</b>	<b>61</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>62</b>
Psec / Pfrais		25,6%			20,2%	
Fraction analysée	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm
Etat du conditionnement	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Densité analysée	1,28	0,70	1,05	1,37	0,83	1,04
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>						
60 Co 5,3 ans	<0,4	<0,5	<0,4	<0,3	<1	<0,3
137 Cs 30 ans	<b>25,6±2,2</b>	<0,5	<0,4	<b>7,6±0,7</b>	<1,1	<0,3
241 Am 438 ans	<1	<0,5	<0,5	<0,7	<1	<0,3
<b>Radionucléides NATURELS</b>						
234 Th à 63 kev ch. 238U	47±17	-	-	-	-	-
234 Th à 92 kev ch. 238U	-	-	-	50±25	-	-
234m Pa ch. 238U	65±27	-	-	<55	-	-
230 Th ch. 238U	<90	-	-	<60	-	-
<b>226 Ra max</b> 235U-238U	<b>127±13</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;10</b>	<b>92±9</b>	<b>&lt;23</b>	<b>&lt;7</b>
214 Pb (= 226Ramin) ch. 238U	52±5	-	-	44,5±4,3	-	-
214 Bi ch. 238U	50,2±4,9	-	-	44,1±4,2	-	-
210 Pb ch. 238U	75±9	<5	<7	41±5	<16	<5
228 Ac (= 228Ra) ch. 232Th	51,0±5,0	<1	<2	36,9±3,6	<6	<1,4
212 Pb (= 228Th) ch. 232Th	49,7±4,4	<0,4	<0,7	35,6±3,1	<1,9	<0,5
<b>235 U max</b> ch. 235U	<b>4,3±0,6</b>	-	-	<b>2,72±0,37</b>	-	-
235 U à 163 keV ch. 235U	<6	<3	<4,6	<4,4	<11	<3,4
231 Pa ch. 235U						
227 Th (= 227Ac) ch. 235U	4,1±1,7	<1,6	<1,6	<1,7	<3,9	<1
219 Rn (= 223Ra) ch. 235U	<5	<4	<3,6	<3,7	<10	<2
40 K 1,3E9 ans	547±49	527±20	95±10	491±44	376±37	86±11
7 Be 53 jours	11±4	<8	<6	13,1±2,5	10±6	<3,6

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne			040907-CSA-02			040907-CSA-04
fraction analysée			jus			jus
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					
Tritium libre (HTO)	Bq/L		<7			<7

## 3.4 Les produits du jardin

---

### 3.4.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

Deux sites sont étudiés : un jardin à Ville-aux-bois, le second à Louze. En accord avec les propriétaires, les produits sont prélevés le jour même dans les conditions habituelles d'exploitation de la parcelle. Dès lors, ils sont conservés dans une glacière réfrigérée à 4°C.

Dans les 48h suivants la collecte, les échantillons sont acheminés au laboratoire ACRO pour un pré-traitement. A leur arrivée, ils sont triés et les particules de sols sont écartés. Aucun rinçage à l'eau n'est effectué. Après quoi, ils sont séchés 60°C en étuve ventilée, réduits en poudre et conditionnés dans des conteneurs de 61cc.

Du fait des faibles quantités disponibles, tous les échantillons sont expédiés dans un autre laboratoire pour une analyse par spectrométrie gamma ultra-bas bruit de fond selon une méthode interne.

## 3.4.2 Résultats

Tableau 7 : résultats des analyses de légumes et autres produits du jardin prélevés le 4 septembre 2007 chez des particuliers dans les communes de Louze et Ville-aux-bois - département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	040907-CSA-07	040907-CSA-08	040907-CSA-09	040907-CSA-10	040907-CSA-11	040907-CSA-12
Catégorie	Aliment	Aliment	Aliment	Aliment	Aliment	Aliment
Dénomination ou [Genre - espèce]	Haricots blancs	Salades	Courgettes	Thym	Fanes carottes	Choux (cœur)
<b>Prélèvement</b>						
Date	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07	04-sept-07
Code de station	<b>JARDIN 1</b>	<b>JARDIN 1</b>	<b>JARDIN 1</b>	<b>JARDIN 2</b>	<b>JARDIN 2</b>	<b>JARDIN 2</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...						
Lieu (commune) ou site	Ville aux Bois	Ville aux Bois	Ville aux Bois	Louze	Louze	Louze
Département	10	10	10	10	10	10
Localisation (détail)						
Lambert 2 étendu (km) X	774,291	774,291	774,291	776,333	776,333	776,333
Lambert 2 étendu (km) Y	2381,236	2381,236	2381,236	2384,342	2384,342	2384,342
distance / l'exutoire (km)	1,7	1,7	1,7	5,4	5,4	5,4

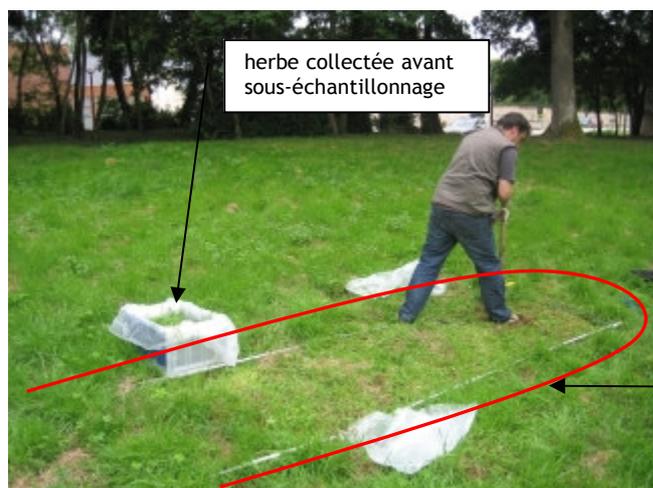
EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007	04/09/2007
Unité	Bq/kg sec					

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA						
<b>Comptage</b>						
n° de manipulation	<b>ac-csa07</b>	<b>ac-csa08</b>	<b>ac-csa09</b>	<b>ac-csa10</b>	<b>ac-csa11</b>	<b>ac-csa12</b>
Temps de comptage actif (s)	109126	93510	156641	317427	228850	228557
Géométrie (en cc)	61	61	61	61	61	61
Masse de l'échantillon conditionné	41,7	23,9	34,9	23,9	26,7	39
âge de l'échantillon (jours)	75	81	79	76	83	83
âge du conditionnement (jours)	<b>63</b>	<b>69</b>	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>71</b>	<b>71</b>
Psec / Prais	8,1%	8,5%	4,3%	24,0%	15,1%	9,4%
Fraction analysée	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm	<2mm
Etat du conditionnement	sec	sec	sec	sec	sec	sec
Densité analysée	0,68	0,39	0,57	0,39	0,44	0,64
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>						
60 Co	5,3 ans	<0,6	<1,3	<0,7	<0,5	<0,4
137 Cs	30 ans	<0,5	<1,1	<0,6	<0,5	<0,3
241 Am	438 ans	<0,7	<0,9	<0,5	<1	<1
<b>Radionucléides NATURELS</b>						
234 Th à 63 keV	ch. 238U	-	-	-	-	-
234 Th à 92 keV	ch. 238U	-	-	-	-	-
234m Pa	ch. 238U	-	-	-	-	-
230 Th	ch. 238U	-	-	-	-	-
<b>226 Ra max</b>	<b>235U-238U</b>	<b>&lt;6</b>	<b>&lt;13</b>	<b>&lt;7</b>	<b>11±6</b>	<b>&lt;8</b>
214 Pb (= 226Ramin)	ch. 238U	-	-	-	-	-
214 Bi	ch. 238U	-	-	-	-	-
210 Pb	ch. 238U	<5	<11	<6	39±5	35±7
228 Ac (= 228Ra)	ch. 232Th	<1	<3	<1	3,9±1,2	<1,6
212 Pb (= 228Th)	ch. 232Th	<1	<1	<1	1,8±0,5	1,3±0,7
<b>235 U max</b>	<b>ch. 235U</b>	-	-	-	-	-
235 U à 163 keV	ch. 235U	<4	<8	<4	<4	<3
231 Pa	ch. 235U	-	-	-	-	-
227 Th (= 227Ac)	ch. 235U	<1,7	<3,8	<2,1	<1,6	<2,3
219 Rn (= 223Ra)	ch. 235U	<4	<9	<5	<4	<3
40 K	1,3E9 ans	1022±29	1880±70	1472±36	723±19	1797±38
7 Be	53 jours	<11	71±29	<13	251±18	194±22

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne						
fraction analysée						
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					

## 3.5 Le couvert végétal

### 3.5.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement



Trois sites sont étudiés ; ils correspondent à ceux décrits au chapitre 3.1.

**Sur le terrain :** Pour chaque site, les 2 premiers centimètres (le mât) sont systématiquement écartés et la collecte concerne un nombre d'unité d'1m<sup>2</sup> suffisant pour couvrir les besoins. Trois sous-échantillons représentatifs, de 250 à 300g de matière fraîche, sont constitués et chacun est conditionné dans un double sac plastique thermo-soudé sur place puis conservé dans une glacière réfrigérée à 4°C.

Délimitation de la zone

Dans les 24h suivants la collecte, les échantillons sont acheminés :

1. au laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), Nobles gases and tritium group, unité mixte de recherche CEA-CNRS-UVSQ n° 1572 de Gif-sur-Yvette (91) ; laboratoire de géochimie des gaz rares spécialisé dans la mesure des isotopes de l'hélium ainsi que dans la détermination des teneurs en tritium par recroissance de l'hélium.
2. au laboratoire ACRO.

**Au laboratoire :** Les analyses diligentées au Nobles gases and tritium group du LSCE concerne à la fois le dosage de tritium HTO et du tritium organiquement lié non échangeable. Pour ce faire le LSCE emploie une méthode interne basée sur la recroissance de l'hélium-3 et une mesure par spectrométrie de masse. Le dosage de tritium HTO est effectué sur l'eau récupérée par suite de la lyophilisation de l'échantillon.

Au sein du laboratoire ACRO, les échantillons font l'objet d'une analyse quantitative par spectrométrie gamma selon méthode interne. Les brins d'herbe sont coupés en longueur d'environ 5cm dans un bac propre puis homogénéisé manuellement. Après quoi, une quantité de 250g de matière fraîche est conditionnée dans un conteneur SG500 comme le montrent les photos ci-dessous. En attente d'un créneau d'analyse, les échantillons sont conservés à 4°C ; l'analyse est réalisée au plus tard 7 jours après le prélèvement.

Cette méthode interne garantit :

- l'absence de pertes des halogènes et autres volatils car il n'y a pas de séchage notamment avec une étuve ventilée ;
- d'avoir des échantillons comparables car tous d'une densité de 0,5 ce qui n'est pas le cas après séchage et broyage ;
- de ne pas trop "diverger" par rapport à la courbe d'efficacité théorique (densité 0,5 contre 1) et de pouvoir en conséquence faire une correction d'atténuation
- une évaluation rapide



## 3.5.2 Résultats

Tableau 8 : résultats des analyses de végétaux (herbe) prélevés le 27 juin 2007 en 3 endroits au voisinage de l'INB n° 149 - commune de Soulaines / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS					
n° d'enregistrement interne	290607-CSA-10	290607-CSA-11	290607-CSA-12		
Catégorie	végétaux	végétaux	végétaux		
Dénomination ou [Genre - espèce]	herbe	herbe	herbe		
<b>Prélèvement</b>					
Date	27-juin-07	27-juin-07	27-juin-07		
Code de station	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>		
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...					
Lieu (commune) ou site	SOULAINES	SOULAINES	SOULAINES		
Département	10	10	10		
Localisation (détail)	SO CSA	NE CSA	St Victor		
Lambert 2 étendu (km) X	773,592	773,189	775,201		
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,137	2380,872	2377,445		
distance / l'exutoire (km)	0,3	0,7	3,7		

EXPRESSION DES RESULTATS					
Date de référence	27/06/2007	27/06/2007	27/06/2007		
Unité	Bq/kg sec	Bq/kg sec	Bq/kg sec		

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA					
<b>Comptage</b>					
n° de manipulation	<b>5483</b>	<b>5485</b>	<b>5487</b>		
Temps de comptage actif (s)	92491	90087	52924		
Géométrie (en cc)	500	500	500		
Masse de l'échantillon conditionné	250	250	250		
âge de l'échantillon (jours)	2	5	6		
âge du conditionnement (jours)	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
Psec / Pfrais	17,0%	21,0%	17,0%		
Fraction analysée	aérienne	aérienne	aérienne		
Etat du conditionnement	frais	frais	frais		
Densité analysée	0,50	0,50	0,50		
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>					
57 Co	272 jours	<1,6	<1,4	<2,2	
58 Co	71 jours	<3,2	<2,8	<4,5	
60 Co	5,3 ans	<3,6	<2,7	<5	
106 Ru-Rh(*)	373 jours	<52	<49	<80	
108mAg	418 ans	<2,6	<2,2	<3,5	
110m Ag	250 jours	<3	<2,4	<4	
129 I	16E6 ans	<4	<3	<6	
131 I	8 jours	<3,4	<3,5	<6,4	
134 Cs	2,1 ans	<3	<2,5	<4	
137 Cs	30 ans	<3,3	<2,9	<4,6	
154 Eu	8,6 ans	<3,3	<2,8	<5	
241 Am	438 ans	<3,5	<2,7	<4,6	
<b>Radionucléides NATURELS</b>					
234 Th à 63 kev	ch. 238U	-	-	-	
234 Th à 92 kev	ch. 238U	-	-	-	
234m Pa	ch. 238U	-	-	-	
230 Th	ch. 238U	-	-	-	
<b>226 Ra max</b>	<b>235U-238U</b>	<b>&lt;86</b>	<b>&lt;70</b>	<b>&lt;110</b>	
214 Pb (= 226Ramin)	ch. 238U	-	-	-	
214 Bi	ch. 238U	-	-	-	
210 Pb	ch. 238U	-	-	-	
228 Ac (= 228Ra)	ch. 232Th	<20	<16	<24	
212 Pb (= 228Th)	ch. 232Th	<7	<5	<8	
<b>235 U max</b>	<b>ch. 235U</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
235 U à 163 keV	ch.235U	<4,3	<35	<50	
231 Pa	ch. 235U	-	-	-	
227 Th (= 227Ac)	ch. 235U	<12	<13	<21	
219 Rn (= 223Ra)	ch. 235U	<36	<30	<47	
40 K	1,3E9 ans	1190±150	890±120	1080±150	
7 Be	53 jours	88±18	226±31	163±30	

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)					
n° d'enregistrement interne		290607-CSA-11	290607-CSA-12		
fraction analysée		aérienne	aérienne		
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>				
Hydrogène (H)	% massique	5,66	5,66		
Tritium libre (HTO)	Bq/L	1,71±0,13	1,65±0,09		
Tritium lié (OBT) (*)	Bq/kg sec	0,88±0,09	0,82±0,21		

(\*) correspond au tritium lié non échangeable

## 3.6 Les arbres

### 3.6.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

Deux endroits sont étudiés. Situés au voisinage de l'installation nucléaire, les bois appartiennent à un même propriétaire forestier ayant accepté l'opération et l'abattage de deux arbres pour les besoins de l'étude.

**Sur le terrain :** La station dénommée ARBRE 1 est localisée à proximité de l'étang des cailles, soit à environ 1,6 km de la cheminée de l'unité de compactage des déchets, en direction du sud-est. A cet endroit, l'arbre prélevé renseigne sur la radioactivité observable à distance de l'installation nucléaire. Plus proche, sous les vents dominants, en direction du nord, la station ARBRE 2 est localisée à seulement 550m de la même cheminée. Celle-ci témoigne des conséquences des rejets atmosphériques de l'installation.

Dans les deux cas, il est procédé à l'abattage d'un jeune chêne (d'une vingtaine d'année) dans les conditions habituelles de leur exploitation, soit par sciage « au pied » à l'aide d'une tronçonneuse. Le tronc (écorce comprise), à partir de 1m du sol et jusqu'à la première division, est débité en plusieurs pièces d'une longueur linéaire n'excédant pas 60cm. Sur chacune des pièces de bois, le nord est reporté ainsi qu'une identification sur la tranche la plus proche du sol ; ces informations sont faites à l'aide d'une entaille peu profonde. Chaque pièce est enveloppée à l'aide d'une bâche plastique pour les besoins du transport.



Figure 9 : ARBRE n°1

Figure 8 : ARBRE n°2

Dans les 24h suivants la collecte, les échantillons sont acheminés au laboratoire de l'ACRO pour pré-traitement.

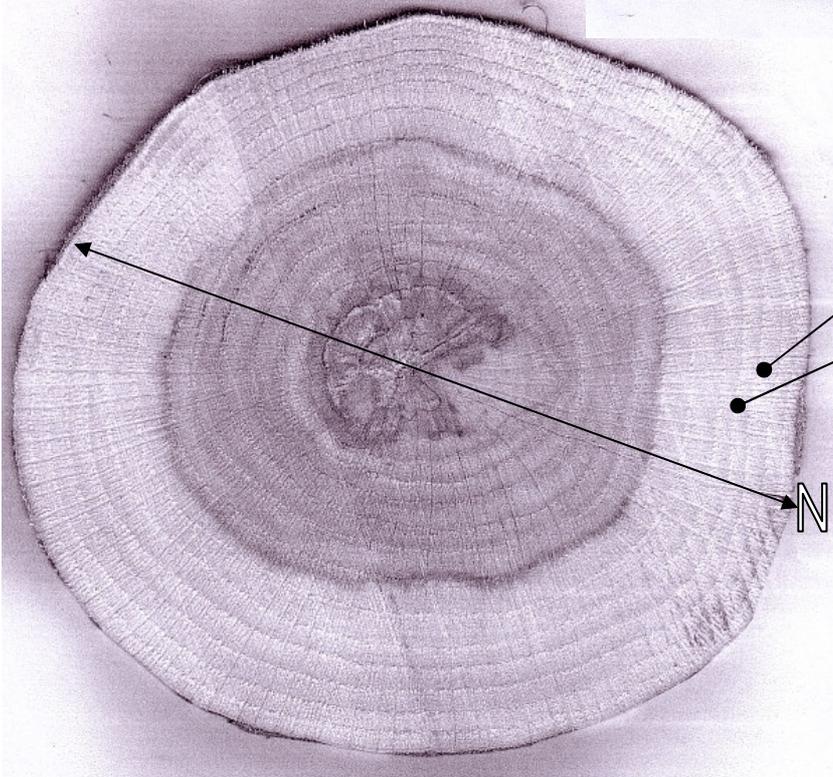
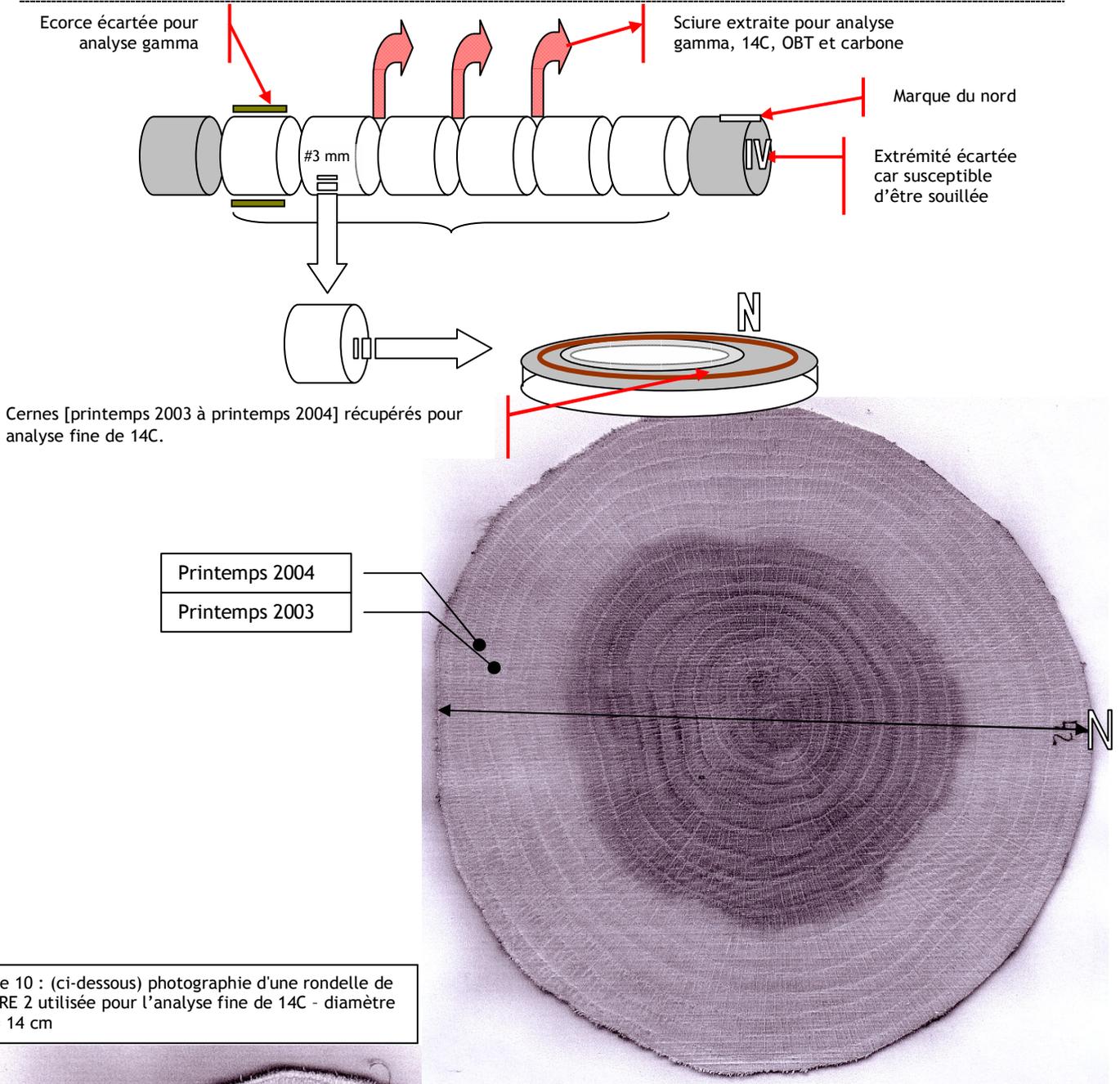
**Au laboratoire :** Les pièces de bois sont enveloppées dans un tissu et stockées dans l'obscurité à température ambiante. Dans les 5 jours suivant la réception, elles sont « travaillées » à l'aide de machines utilisées par les menuisiers professionnels et équipées d'un dispositif de récupération de la sciure préalablement nettoyé. Les opérations consistent pour chaque pièce de bois destinée à l'analyse (soit 2 au total) à :

1. écarter les deux extrémités car susceptibles d'être souillées notamment par l'huile de la tronçonneuse ;
2. écarter l'écorce ;
3. découper la pièce de bois en tranches (< 0,5 cm d'épaisseur) et récupérer la sciure
4. extraire les cernes correspondant à la période [printemps 2003 à printemps 2004] d'un nombre suffisant de rondelles pour obtenir plus de 10g de matière.

Au sein du laboratoire de l'ACRO, la sciure et l'écorce font l'objet d'une analyse quantitative par spectrométrie gamma selon méthode interne. Pour ce faire, la sciure est conditionnée en l'état dans un conteneur SG500 alors que l'écorce est préalablement séchée à 60° C en étuve ventilée et réduite en poudre par broyage mécanique à lames.

Des analyses complémentaires sont diligentées auprès :

- du laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), laboratoire 14C, unité mixte de recherche CEA-CNRS-UVSQ n°1572 de Gif-sur-Yvette (91). La demande concerne la détermination du 14C dans les cernes extraits des rondelles. Pour ce faire une méthode interne est mise en œuvre. Les cernes sont grattés au scalpel pour enlever les éventuelles traces de contamination survenues lors des manipulations. L'activité du 14C est déterminé par comptage bêta dans un compteur proportionnel à gaz.
- du laboratoire SUBATECH de Nantes (44). La demande concerne la détermination du carbone, du 14C et du tritium organique total de la sciure à partir d'aliquote congelée. Après lyophilisation des échantillons, les dosages du 14C et du tritium lié sont effectués par oxydiser selon la NF M60 812, celui du carbone total selon méthode interne.



## 3.6.2 Résultats

Tableau 9 : résultats des analyses des arbres débités le 4 avril 2007 en 2 endroits au voisinage de l'INB n° 149 - commune de Soulaines / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS					
n° d'enregistrement interne	040407-CSA-01A	040407-CSA-01B		040407-CSA-03A	040407-CSA-03B
Catégorie	arbre	arbre		arbre	arbre
Dénomination ou [Genre - espèce]	duramen-aubier	écorce		duramen-aubier	écorce
<b>Prélèvement</b>					
Date	04-avr-07	04-avr-07		04-avr-07	04-avr-07
Code de station	<b>ARBRE 1</b>	<b>ARBRE 1</b>		<b>ARBRE 2</b>	<b>ARBRE 2</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...					
Lieu (commune) ou site	SOULAINES	SOULAINES		SOULAINES	SOULAINES
Département	10	10		10	10
Localisation (détail)	Etang des Cailles	Etang des Cailles			
Lambert 2 étendu (km) X	774,046	774,046		772,766	772,766
Lambert 2 étendu (km) Y	2379,274	2379,274		2380,827	2380,827
distance / l'exutoire (km)	1,6	1,6		0,55	0,55

EXPRESSION DES RESULTATS					
Date de référence	04/09/2007	04/09/2007		04/09/2007	04/09/2007
Unité	Bq/kg sec	Bq/kg sec		Bq/kg sec	Bq/kg sec

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA					
<b>Comptage</b>					
n° de manipulation	<b>5349</b>	<b>5677</b>		<b>5353</b>	<b>5678</b>
Temps de comptage actif (s)	81034	166618		83843	181487
Géométrie (en cc)	500	500		500	500
Masse de l'échantillon conditionné	152	281		158	295
âge de l'échantillon (jours)	7	299		9	301
âge du conditionnement (jours)	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>2</b>	<b>2</b>
Psec / Pbrut	70%	-		70%	-
Fraction analysée	sciure	<2mm		sciure	<2mm
Etat du conditionnement	brut	sec		brut	sec
Densité analysée	0,30	0,56		0,32	0,59
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>					
60 Co	5,3 ans	<1,4	<0,5	<1,4	<0,5
137 Cs	30 ans	<1,4	<0,5	<1,3	<0,4
241 Am	438 ans	<1,4	<0,5	<1,3	<0,5
<b>Radionucléides NATURELS</b>					
234 Th à 63 kev	ch. 238U	-	-	-	-
234 Th à 92 kev	ch. 238U	-	-	-	-
234m Pa	ch. 238U	-	-	-	-
230 Th	ch. 238U	-	-	-	-
<b>226 Ra max</b>	<b>235U-238U</b>	<b>&lt;34</b>	<b>&lt;12</b>	<b>&lt;32</b>	<b>15,8±4,9</b>
214 Pb (= 226Ramin)	ch. 238U	-	-	-	-
214 Bi	ch. 238U	-	-	-	-
210 Pb	ch. 238U	-	-	-	-
228 Ac (= 228Ra)	ch. 232Th	<8	11,0±1,9	<7	15,7±2,2
212 Pb (= 228Th)	ch. 232Th	<2,5	10,3±1,1	<2,5	15,7±1,5
<b>235 U max</b>	<b>ch. 235U</b>	-	-	-	-
235 U à 163 keV	ch. 235U	<b>&lt;16</b>	<b>&lt;5,7</b>	<b>&lt;15</b>	<b>&lt;5,5</b>
231 Pa	ch. 235U	-	-	-	-
227 Th (= 227Ac)	ch. 235U	<b>&lt;6</b>	<b>&lt;1,9</b>	<b>&lt;5,6</b>	<b>&lt;1,8</b>
219 Rn (= 223Ra)	ch. 235U	<15	<4,6	<13	<4,3
40 K	1,3E9 ans	84±20	98±11	38±16	71±8
7 Be	53 jours	<11	<145	<10	<138

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)					
n° d'enregistrement interne		040407-CSA-01A		040407-CSA-03A	
fraction analysée		sciure		sciure	
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>				
14C	Bq/kg sec	117±43		127±32	
tritium lié (OBT) (*)	Bq/kg sec	<90		<72	
carbone total (C)	% massique	55,7		55,7	
14C/carbone total	Bq/kg de C	210±78		228±57	

(\*) correspond au tritium lié total (= échangeable + non échangeable)

DENDROCHRONOLOGIE : [PRINTEMPS 2003 A PRINTEMPS 2004]					
n° d'enregistrement interne		040407-CSA-01C		040407-CSA-03C	
fraction analysée		cernes		cernes	
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>				
14C	% MC (**)	110,3±0,4		109,5±0,4	

(\*\*) expression en pour cent Moderne Carbone ; En 2003-2004, la valeur de référence variait entre 108 et 110%

## 3.7 Les eaux superficielles & souterraines

### 3.7.1 Remarques concernant les prélèvements et le traitement

Treize sites sont étudiés.

**Sur le terrain :** Les trois-quarts (10) sont situés à l'intérieur du périmètre de l'installation nucléaire. Parmi-eux, neuf correspondent à des piézomètres, donc à des eaux souterraines. Ils sont sélectionnés pour appréhender les répercussions actuelles du stockage. En conséquence, il est tenu compte à la fois du sens des écoulements souterrains mais également de l'existence, encore en 2005, d'une contamination des eaux de la nappe albo-aptienne par le tritium le long d'une ligne constituée par l'ouvrage E21R03 et les piézomètres DS24 et DS63. La carte ci-après renseigne (en perspective des déchets stockés à la fin 2004). Deux groupes sont identifiés :



Figure 12 : piézomètre DS24

1. les piézomètres DS24 et TS04 qui font l'objet de plusieurs analyses et dont les échantillons d'eau sont obtenus dans le respect des protocoles de surveillance de l'ANDRA, soit avec une purge préalable.
2. les piézomètres DS63, DS27, DS08, DS14, DS13, TS03 et TS01 qui font l'objet d'une détermination du tritium (HTO) et sont obtenus soit dans le respect des protocoles ANDRA lorsqu'ils font partie du programme de sa surveillance, soit à l'aide d'un échantillonneur tube à soupape passive. Le tableau du chapitre 2.2 renseigne sur les modalités d'obtention de ces échantillons.

Toujours dans le périmètre de l'installation, un prélèvement est également réalisé dans le bassin d'orage au niveau de la station de pompage destinée aux rejets en milieu naturel (les Noues d'Amances). Cette fois, l'échantillon est constitué par immersion des conteneurs dans un bassin tampon.



Figure 13 : opération de pompage sur le piézomètre DS24

A l'extérieur du CSA, le long des Noues d'Amances, au droit des stations dénommées AMONT et AVAL (décrites au chapitre 3.2) des prélèvements sont effectués.

Enfin, avec l'accord du gestionnaire du réseau d'adduction d'eau potable de la région, un prélèvement est réalisé sur le forage situé le long de la D182 à Sauvage-Magny. Au préalable, les conduites sont purgées de manière à accéder directement à l'eau de la nappe.

Pour les eaux superficielles (AMONT, AVAL et BO), la pratique de remplissage des conteneurs est la suivante :

- l'eau est soutirée de manière à garantir que la pellicule située à la surface n'est pas échantillonnée et à la quantité de MES collectées.

**D'une manière générale,** aucun traitement (filtration ou acidification) n'est appliquée sur site. Les conteneurs sont préalablement rincés avec l'eau destinée à être prélevée.

Pour le radon, gaz dissous, on évite tout contact avec l'air et on s'assure de l'absence de bulles d'air dans le conteneur après fermeture ; les flacons employés sont en aluminium d'un volume utile de 0,6L. Dans les autres cas, le prélèvement s'opère de manière directe en évitant toute contamination ou souillure au cours des manipulations. ; le contact avec l'air n'est pas proscrit. Des emballages en PEHD d'un volume adapté sont utilisés. Entre deux prélèvements, le matériel d'échantillonnage non jetable est rincé à l'acide nitrique 0,1 N, puis à l'eau déminéralisée. Enfin, les échantillons sont conservés dans l'obscurité dans une glacière à une température inférieure ou égale à celle qu'ils avaient au moment du prélèvement.

**Au laboratoire :** dans les 48h suivant la collecte et selon les paramètres étudiés, les échantillons sont acheminés vers :

- le laboratoire SUBATECH de Nantes (44). La demande concerne la détermination :
  - a. de l'indice alpha global sur eau filtrée à 0,45µm et selon la NF M60-801 ;
  - b. de l'indice bêta global sur eau filtrée à 0,45µm et selon la NF M60-800 ;
  - c. du potassium sur eau filtrée à 0,45µm et selon méthode interne à l'aide d'une ICP-MS.
  - d. du 36Cl sur eau filtrée à 0,45µm et selon méthode interne
- le laboratoire DOSIRAD (77) pour la détermination du radon dissous et selon méthode interne.
- et/ou le laboratoire ACRO pour la détermination :
  - a. du tritium (HTO) selon ISO 9698 en accord avec la NF M60-802-1
  - b. du radon dissous par spectrométrie gamma et selon méthode interne
  - c. des radionucléides émetteurs gamma par spectrométrie gamma sur eau filtrée à 0,45µm à la fois :
    - i. par mesure directe sur un volume de 0,5L conditionné en SG500 (recherche des iodes)
    - ii. sur dépôt sec obtenu après évaporation en couche mince de 5L et ajout d'un traceur (selon méthode interne)

## 3.7.2 Localisation exacte des prélèvements à l'intérieur du CSA

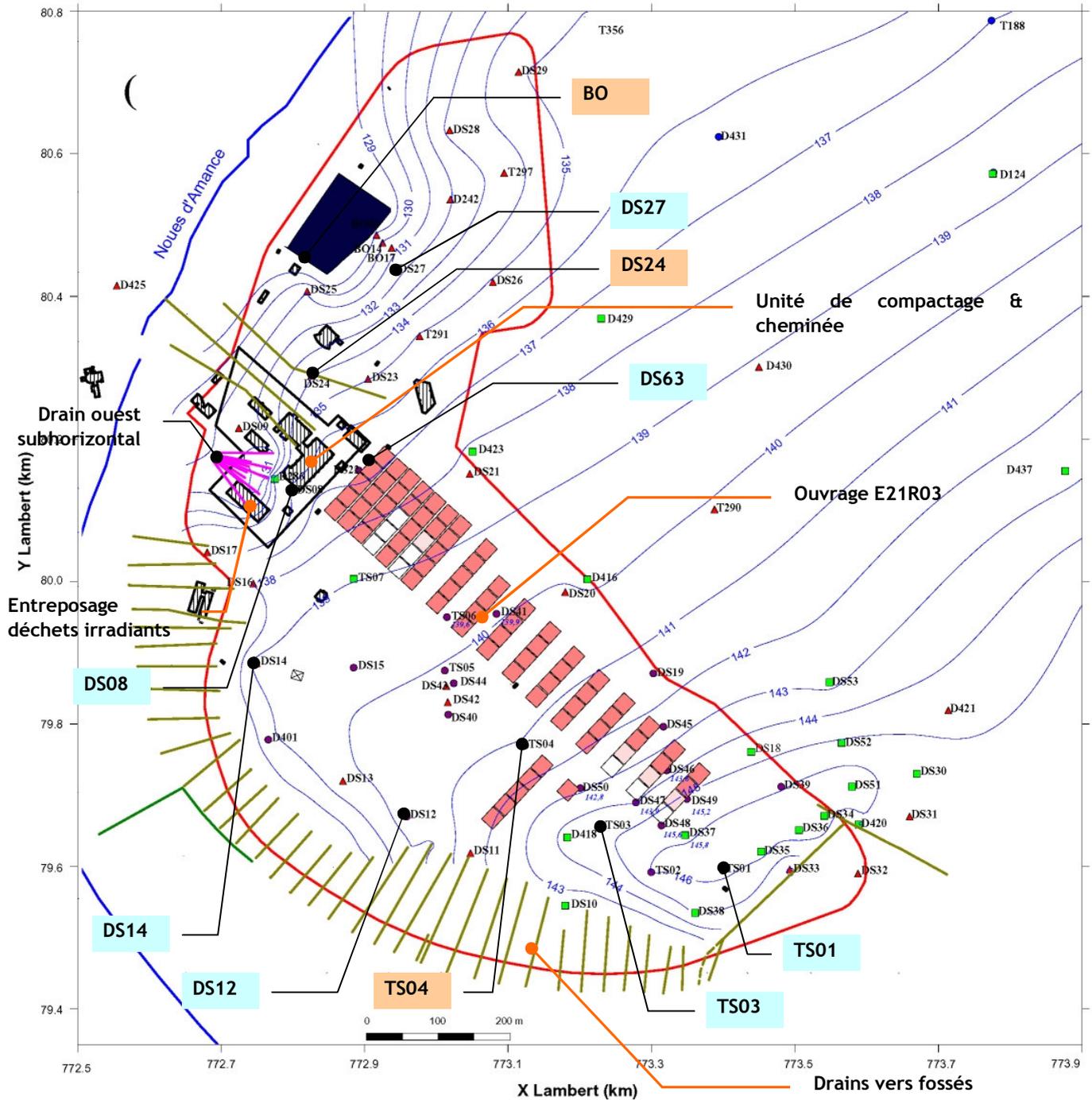


Figure 14 : configuration de l'INB n° 149 fin 2004 et localisation des prélèvements d'eau effectués à l'intérieur en mai 2007

## 3.7.3 Résultats pour les eaux superficielles &amp; souterraines

Tableau 10 : résultats des analyses des eaux prélevées les 9 &amp; 10 mai 2007 en plusieurs endroits à l'intérieur et à l'extérieur de l'INB n° 149 - commune de Soulaïnes et de Sauvage-Magny/ département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	090507-CSA-01	090507-CSA-02	090507-CSA-03	090507-CSA-04	090507-CSA-05	090507-CSA-06
Catégorie	eau douce	eau douce	eau douce	eau douce	eau douce	eau douce
Dénomination ou [Genre - espèce]	eaux pluviales	eau souterraine	eau souterraine	eau souterraine	cours d'eau	cours d'eau
<b>Prélèvement</b>						
Date	09-mai-07	09-mai-07	10-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07
Code de station	<b>BO</b>	<b>TS04</b>	<b>RESEAU</b>	<b>DS24</b>	<b>AVAIL</b>	<b>AMONT</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...	Bassin orage	nappe phréatique	nappe phréatique	nappe phréatique	noies d'Amances	noies d'Amances
Lieu (commune) ou site	CSA	CSA	Sauvage-Magny	CSA	SOULAINES	SOULAINES
Département	10	10	10	10	10	10
Localisation (détail)	Intérieur INB	Intérieur INB	Station AEP	Intérieur INB		barrage
Lambert 2 étendu (km) X	772,877	773,168	777,42	772,864	772,825	772,536
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,579	2379,883	2382,556	2380,393	2380,78	2380,143
distance / l'exutoire (km)	0	-	5,2	-	0,1	- 0,6

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	09-mai-07	09-mai-07	10-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07
Unité	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L

RESULTATS DES ANALYSES PAR SPECTROMETRIE GAMMA											
<b>Comptage</b>											
n° de manipulation	<b>5407</b>	<b>5464</b>	<b>5406</b>	<b>5459</b>	<b>5403</b>	<b>5474</b>	<b>5401</b>	<b>5467</b>	<b>5408</b>	<b>5463</b>	<b>5476</b>
Temps de comptage actif (s)	160414	155575	63522	55751	26623	87149	51297	79189	25916	80106	75223
Géométrie (en cc)	ALU06	-	ALU06	-	ALU06	-	ALU06	-	ALU06	-	-
Masse de l'échantillon conditionné	0,6 L	5 L	0,6 L	5 L	0,6 L	5 L	0,6 L	5 L	0,6 L	5 L	5 L
âge de l'échantillon (jours)	3	38	2	37	1	43	1	41	5	36	46
âge du conditionnement (jours)	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
Psec / Pfrais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fraction analysée	brute	<0,45µ	brute	<0,45µ	brute	<0,45µ	brute	<0,45µ	brute	<0,45µ	<0,45µ
Etat du conditionnement	-	dépôt	-	dépôt	-	dépôt	-	dépôt	-	dépôt	dépôt
Densité analysée	1,00	-	1,00	-	1,00	-	1,00	-	1,00	-	-
	-	≈1000	-	≈1000	-	≈1000	-	≈1000	-	≈1000	≈1000
	ALU06	traceur	ALU06	traceur	ALU06	traceur	ALU06	traceur	ALU06	traceur	traceur
<b>Radionucléides ARTIFICIELS</b>											
60 Co	5,3 ans	<0,001	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
129 I (**)	1,6E7 ans	<0,5	<0,5	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1	<1	nr
131 I (**)	8 jours	<0,5	<0,5	<1	<1	<0,5	<1	<1	<1	<1	nr
134 Cs	2,1 ans	<0,001	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
137 Cs	30 ans	<0,001	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
241 Am	438 ans	<0,001	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
<b>Radionucléides NATURELS</b>											
<b>226 Ra max</b>	235U-238U	<0,03	<0,02	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
222 Rn (**)	3,8 jours	<2	<b>16,4±2,5</b>	<b>6,8±1,5</b>	<b>16,1±2,3</b>	<3	<3	<3	<3	<3	nr
210 Pb	ch. 238U	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
<b>235 U max</b>	ch. 235U	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
40 K (*)	1,3E9 ans	153±17	100±15	135±19	137±19	120±17	99±14	120±17	120±17	99±14	99±14
7 Be	53 jours	<0,01	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

RESULTATS DES AUTRES ANALYSES ( RADIOACTIVITE & PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES)						
n° d'enregistrement interne						
fraction analysée	090507-CSA-01	090507-CSA-02	090507-CSA-03	090507-CSA-04	090507-CSA-05	090507-CSA-06
	< 0,45µm	< 0,45µm	< 0,45µm	< 0,45µm	< 0,45µm	< 0,45µm
<b>Paramètre</b>	<b>unité</b>					
radon (222Rn) (***)	Bq/L	0	<b>16,1</b>	<b>5,7</b>	<b>15,2</b>	0,7
Tritium (HTO)	Bq/L	<7	<7	<7	<7	<7
Indice alpha global	Bq/L	<b>0,034±0,019</b>	<b>0,019±0,017</b>	<b>&lt;0,027</b>	<b>&lt;0,039</b>	<b>&lt;0,026</b>
Indice bêta global	Bq/L	<b>0,18±0,06</b>	<b>0,090±0,047</b>	<b>0,11±0,05</b>	<b>0,12±0,05</b>	<b>0,071±0,039</b>
Potassium (K)	mg/L	<b>4,79±0,32</b>	<b>3,13±0,23</b>	<b>4,23±0,29</b>	<b>4,27±0,26</b>	<b>3,75±0,41</b>
Chlore-36 (36Cl)	Bq/L	nr	nr	nr	<0,1	nr

(\*) calculé à partir du dosage de l'élément potassium (K) et non déterminé par spectrométrie gamma

(\*\*) dosage par mesure directe sur le flacon de prélèvement (bouteille en ALU de 0,6L), donc sans aucun traitement au préalable

(\*\*\*) dosage à l'aide de DSTN (kodalpa LR115)

## 3.7.4 Résultats supplémentaires pour les eaux souterraines de l'INB

Tableau 11 : Teneur en tritium HTO (en Bq/L) des eaux souterraines prélevées (en sus) le 9 mai 2007 en plusieurs endroits à l'intérieur de l'INB n°149 - commune de Soulaïnes / département de l'Aube (source ACRO).

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	090507-CSA-07	090507-CSA-08	090507-CSA-09	090507-CSA-10	090507-CSA-11	090507-CSA-12
Catégorie	eau douce					
Dénomination ou [Genre - espèce]	eau souterraine					
<b>Prélèvement</b>						
Date	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07
Code de station	<b>DS08</b>	<b>DS14</b>	<b>DS13</b>	<b>TS03</b>	<b>DS27</b>	<b>TS01</b>
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...	nappe phréatique					
Lieu (commune) ou site	CSA	CSA	CSA	CSA	CSA	CSA
Département	10	10	10	10	10	10
Localisation (détail)	Intérieur INB					
Lambert 2 étendu (km) X	772,825	772,79	772,909	773,271	772,98	773,437
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,226	2379,986	2379,825	2379,762	2380,546	2379,697
distance / l'exutoire (km)	-	-	-	-	-	-

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07	09-mai-07
Unité	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L	Bq/L

RESULTATS DES ANALYSES PAR SCINTILLATION LIQUIDE						
Tritium (HTO)	Bq/L	<7	<7	<7	<7	<7

IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS						
n° d'enregistrement interne	090507-CSA-13					
Catégorie	eau douce					
Dénomination ou [Genre - espèce]	eau souterraine					
<b>Prélèvement</b>						
Date	09-mai-07					
Code de station	<b>DS63</b>					
Nom du cours d'eau/mer/Océan ...	nappe phréatique					
Lieu (commune) ou site	CSA					
Département	10					
Localisation (détail)	Intérieur INB					
Lambert 2 étendu (km) X	772,947					
Lambert 2 étendu (km) Y	2380,279					
distance / l'exutoire (km)	-					

EXPRESSION DES RESULTATS						
Date de référence	09-mai-07					
Unité	Bq/L					

RESULTATS DES ANALYSES PAR SCINTILLATION LIQUIDE						
Tritium (HTO)	Bq/L	<7				

## 4 Matériel, méthodes et expression pour les analyses par spectrométrie gamma

### 4.1 Matériel & méthode

La mesure des émetteurs gamma est effectuée avec une spectrométrie gamma Ortec de type N équipée d'un château de plomb d'épaisseur 10 cm, d'un analyseur « DSPEC » (système d'acquisition numérique) et d'un détecteur au germanium hyperpur de type N (Ortec), d'efficacité 32%, monté dans un cryostat vertical.

La plage d'énergie prise en référence s'étend de 27 à 2000 keV. L'efficacité de référence du détecteur est déterminée à l'aide d'une source liquide multi-radionucléides et d'une source liquide de <sup>133</sup>Ba en tenant compte des phénomènes de sommation de coïncidences qui existent avec ce radionucléide. Les sources employées sont des solutions étalons certifiées.

L'autoabsorption en rapport avec la densité de l'échantillon est prise en compte pour des énergies supérieures à 59 keV selon la méthode semi-empirique basée sur l'assimilation du détecteur à un point. Néanmoins, pour des énergies inférieures à 100 keV, l'autoatténuation dépend de la composition de l'échantillon et les résultats sont donc à considérer avec prudence (<sup>241</sup>Am et <sup>234</sup>Th), particulièrement pour des énergies inférieures à 59 keV du fait de l'absence de correction (<sup>210</sup>Pb).

Pour les échantillons conditionnés en boîte cylindrique de 61 cm<sup>3</sup>, l'approche métrologique est différente. Les efficacités sont obtenus à partir de roches standard reconnues (RGU1, RGTH1, AIEA135, AIEA365, SOIL6) et de KCl Merk. Aucune correction d'autoabsorption est faite.

La bibliothèque de données nucléaires utilisée pour la spectrométrie gamma est celle communiquée par le Bureau National de Métrologie : NUCLEIDE-LARA (version de juillet 2000).

### 4.2 Expression des résultats

Parmi l'ensemble des radionucléides qu'il est possible de mesurer par spectrométrie gamma, seuls les plus caractéristiques sont présentés dans les tableaux de résultats ; dans tous les cas, il est fait état de tous les radionucléides artificiels émetteurs gamma ayant été décelés au moins une fois.

Seules les activités supérieures à la limite de détection de la chaîne d'analyse sont exprimées ; on se réfère alors à la note technique LNHB/04-13 du 28 avril 2004 pour l'expression des résultats significatifs. Dans le cas contraire et pour les radionucléides mentionnés, la limite de détection -Ld- (ou plus petite activité décelable) précédée du signe " < " est rapportée. Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer une activité massique (ou une limite de détection) de manière satisfaisante, les données chiffrées sont remplacées par « - ». La mention « nr » indique que le radionucléide n'a pas été recherché.

L'activité de chaque radionucléide présent dans l'échantillon est exprimée en becquerel (Bq) par kilogramme de matière sèche (kg sec) ou par litre (L) s'il s'agit de liquide. Le résultat est suivi de son incertitude absolue calculée pour un intervalle de confiance de 95%. Dans le cas de l'ACRO, cette incertitude englobe tous les paramètres influents comme le taux de comptage, les incertitudes sur le remplissage, l'efficacité ou les taux d'émission. Toute activité exprimée, la limite de détection également, est rapportée au jour de prélèvement.

#### 4.2.1.1 Détermination du <sup>226</sup>Ra et de l'<sup>235</sup>U par spectrométrie gamma

Le radium 226 (<sup>226</sup>Ra) appartient à la famille de l'uranium 238 (<sup>238</sup>U) et donne naissance, par filiation, à un grand nombre de descendants (huit radioactifs en plus du plomb 206 stable), notamment au radon-222, un gaz souvent à l'origine d'un déséquilibre dans la filiation.

Si le <sup>226</sup>Ra est présent dans une matrice non poreuse (roche dure par exemple), le système est généralement à l'équilibre et l'activité du <sup>226</sup>Ra correspond à celle du plomb-214 ou du bismuth-214, deux radionucléides aisément quantifiables à la différence du <sup>226</sup>Ra.

Toutefois, dans le cas des matières naturelles comme les sols, les produits de filiation sont rarement à l'équilibre avec le <sup>226</sup>Ra, voire pas du tout pour l'eau et les végétaux terrestres. L'émanation du radon explique cet état de fait. Toute correction est impossible, le facteur de déséquilibre ne peut être déterminé précisément. La nature, l'état et la granulométrie de l'échantillon, mais également le laps de temps entre son conditionnement et sa mesure sont autant de facteurs influents.

Quant au calcul de l'activité massique du <sup>226</sup>Ra à partir de son unique raie de taux d'émission faible (3,29%) et située à 186 keV, il n'a jamais été effectué en raison de l'impossibilité, dans les conditions opératoires, de déterminer précisément la contribution de l'<sup>235</sup>U, lequel interfère à cette même énergie.

C'est pourquoi différentes expressions sont employées :

- **Expression 214Pb = 226Ra min :**  
Elle indique l'activité massique dite minimale du 226Ra. En d'autres termes, il ne peut y avoir dans l'échantillon une activité massique en radium-226 inférieure à la valeur indiquée, aux incertitudes près. Elle est déduite de l'activité massique du plomb-214. Plus « l'âge du conditionnement » est faible (inférieur à 20 jours) plus le caractère minorant est accentué.
- **Expression 226Ra max :**  
Déterminée à partir de la raie à 186 keV, c'est une grandeur subjective qui indique l'activité massique qui pourrait être imputée au radium-226 si l'échantillon ne contenait pas d'uranium. Elle est peu subjective dans le cas des mousses aquatiques en raison de leur forte affinité avec le radium par rapport à l'uranium.

Cette grandeur est déterminée selon le calcul suivant :

$$^{226}\text{Ra}_{\text{max}} = F_{(MDE)} \frac{N(E)}{t \cdot E_{\text{ff}(E)} \cdot E_{m\ 226\text{Ra}}}$$

Considérant un rapport des activités 238U / 235U normal [entre 21 et 22], il est possible pour les sols dont les ascendants du radon-222 sont en équilibre de déterminer de façon théorique l'activité massique du :

Radium-226                    => 226Ra = 0,556 x 226Ramax  
Uranium-235                   => 235U = 0,025 x 226Ramax

N(E) = nombre de coups (aire nette) à l'énergie E, en l'occurrence à 186 keV.  
t = durée (en seconde) de l'acquisition  
E<sub>ff(E)</sub> = efficacité du détecteur à l'énergie E  
E<sub>m226Ra</sub> = taux d'émission du <sup>226</sup>Ra à l'énergie E  
F<sub>(MDE)</sub> = facteur de correction de l'autoabsorption pour la matrice M, de densité D à l'énergie E

- **Expression 235U max :**  
Elle indique l'activité massique dite maximale du 235U. En d'autres termes, il ne peut y avoir dans l'échantillon une activité massique en uranium-235 supérieure à la valeur indiquée, aux incertitudes près. Elle est déduite de la raie à 186 keV après avoir retranché une contribution pour le radium-226 équivalente à l'activité massique du 214Pb. Plus « l'âge du conditionnement » est faible (inférieur à 20 jours) plus le caractère majorant est accentué.

## 5 Filiation des uranium 235 & 238

Elément	Famille de l'235U	Famille de l'238U
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      Po-210 138 j
Bismuth	Bi-211 2,1 min	Bi-214 19,9 min      Bi-210 5,0 j
Plomb	Pb-211 36,1 min      Pb-207 stable	Pb-214 26,8 min      Pb-210 22,3 a      Pb-206 stable
Thallium	Tl-207 4,8 min	



Dosimétrie gamma - campagne du 8 mai 2007

Détail des résultats & localisation

Matériel, expression et méthodes

# 1 **Sommaire**

<b>1</b>	<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RESULTATS DES MESURES IN SITU</b>	<b>3</b>
2.1	Cartographie des débits de dose H*(10)	3
2.2	Récapitulation des données	4
<b>3</b>	<b>MATERIEL, EXPRESSION &amp; METHODES</b>	<b>5</b>
3.1	Matériel & expression	5
3.2	Méthode de mesure	5

## 2 Résultats des mesures in situ

### 2.1 Cartographie des débits de dose $H^*(10)$

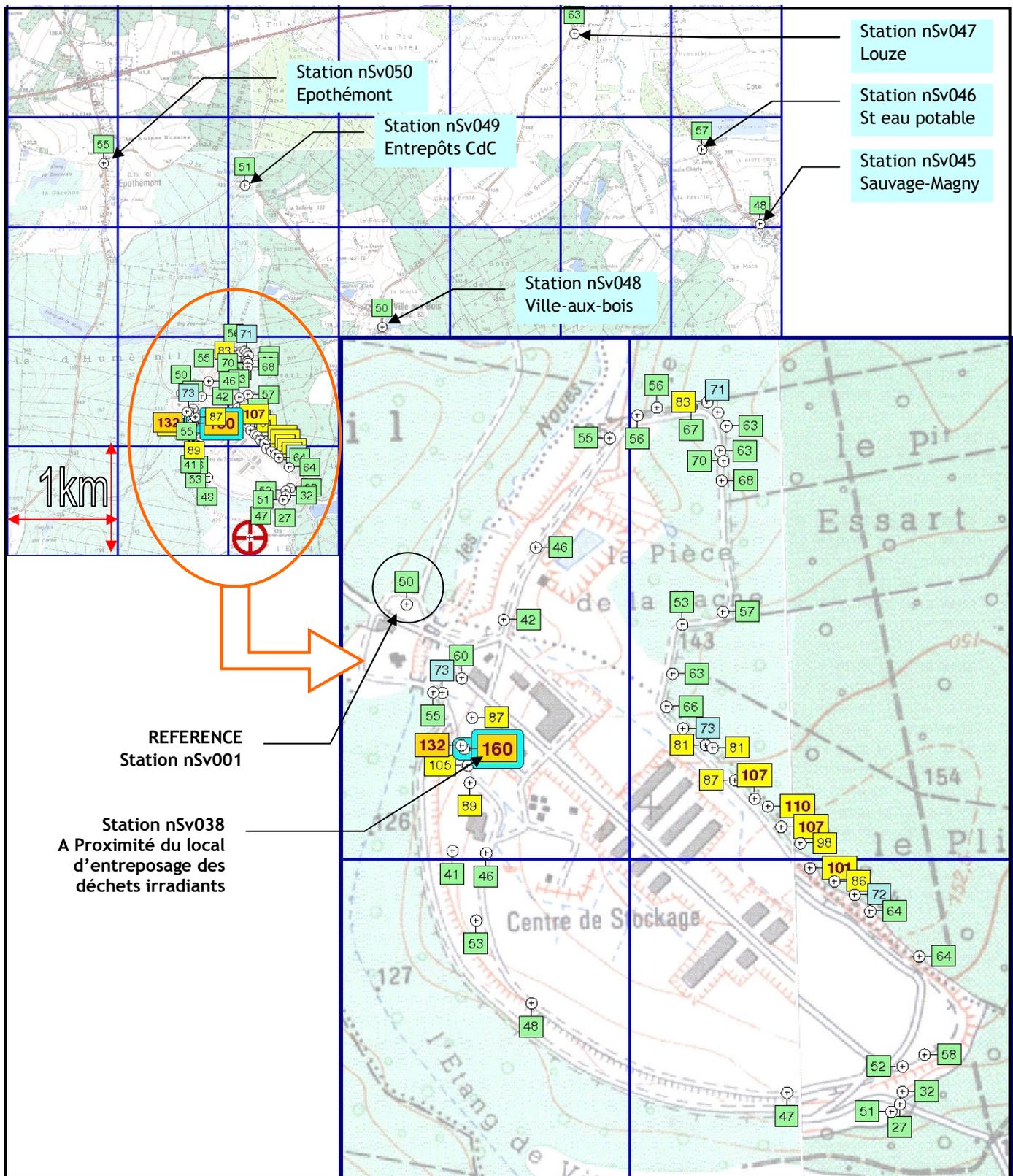


Figure I : cartographie des débits de dose  $H^*(10)$  (exprimé en nSv/h), liés au rayonnement gamma ambiant, mesurés le 8 mai 2007 dans les environs de l'INB n°149 à l'aide d'un débitmètre FH40G-L10 équipé d'une sonde NBR FHZ 672 E-10 (de marque APVL)

## 2.2 Récapitulation des données

Tableau I : résultats H\*(10) de la campagne du 8 mai 2007 et leurs coordonnées selon le système géodésique UTMWGS84 ainsi que leur écart par rapport à la valeur de référence (exprimé en absolu et en nombre d'écart type - voir ch.3).

Station	LOCALISATION - CODIFICATION			H*(10)	Ecart	nb	
	alt.	localisation (GPS)		nSv/h	nSv/h	$\sigma$	
<b>nSv001</b>	<b>129</b>	<b>31 U</b>	<b>0623374</b>	<b>UTM 5362135</b>	<b>50</b>	<b>référence</b>	
nSv002	125	31 U	0623762	UTM 5362450	55	5	< 3
nSv003	128	31 U	0623815	UTM 5362494	56	6	< 3
nSv004	131	31 U	0623852	UTM 5362508	56	6	< 3
nSv005	135	31 U	0623917	UTM 5362510	67	17	< 3
<b>nSv006</b>	<b>137</b>	<b>31 U</b>	<b>0623948</b>	<b>UTM 5362518</b>	<b>83</b>	33	> 4
nSv007	138	31 U	0623968	UTM 5362499	71	21	[ 3 à 4 ]
nSv008	138	31 U	0623984	UTM 5362472	63	13	< 3
nSv009	137	31 U	0623972	UTM 5362424	63	13	< 3
nSv010	137	31 U	0623978	UTM 5362405	70	20	< 3
nSv011	135	31 U	0623974	UTM 5362367	68	18	< 3
nSv012	143	31 U	0623975	UTM 5362116	57	7	< 3
nSv013	144	31 U	0623897	UTM 5362092	53	3	< 3
nSv014	144	31 U	0623878	UTM 5361998	63	13	< 3
nSv015	145	31 U	0623866	UTM 5361935	66	16	< 3
nSv016	147	31 U	0623897	UTM 5361893	73	23	[ 3 à 4 ]
<b>nSv017</b>	<b>148</b>	<b>31 U</b>	<b>0623940</b>	<b>UTM 5361861</b>	<b>81</b>	31	> 4
<b>nSv018</b>	<b>148</b>	<b>31 U</b>	<b>0623953</b>	<b>UTM 5361855</b>	<b>81</b>	31	> 4
<b>nSv019</b>	<b>151</b>	<b>31 U</b>	<b>0623995</b>	<b>UTM 5361793</b>	<b>87</b>	37	> 4
<b>nSv020</b>	<b>152</b>	<b>31 U</b>	<b>0624032</b>	<b>UTM 5361757</b>	<b>107</b>	57	> 4
<b>nSv021</b>	<b>152</b>	<b>31 U</b>	<b>0624057</b>	<b>UTM 5361742</b>	<b>110</b>	60	> 4
<b>nSv022</b>	<b>153</b>	<b>31 U</b>	<b>0624082</b>	<b>UTM 5361703</b>	<b>107</b>	57	> 4
<b>nSv023</b>	<b>153</b>	<b>31 U</b>	<b>0624118</b>	<b>UTM 5361671</b>	<b>98</b>	48	> 4
<b>nSv024</b>	<b>154</b>	<b>31 U</b>	<b>0624136</b>	<b>UTM 5361624</b>	<b>101</b>	51	> 4
<b>nSv025</b>	<b>154</b>	<b>31 U</b>	<b>0624182</b>	<b>UTM 5361598</b>	<b>86</b>	36	> 4
nSv026	154	31 U	0624221	UTM 5361572	72	22	[ 3 à 4 ]
nSv027	153	31 U	0624250	UTM 5361540	64	14	< 3
nSv028	151	31 U	0624342	UTM 5361453	64	14	< 3
nSv029	142	31 U	0624351	UTM 5361264	58	8	< 3
nSv030	142	31 U	0624309	UTM 5361242	52	2	< 3
nSv031	141	31 U	0624089	UTM 5361193	47	-3	< 3
nSv032	137	31 U	0623605	UTM 5361369	48	-2	< 3
nSv033	141	31 U	0623501	UTM 5361528	53	3	< 3
nSv034	142	31 U	0623521	UTM 5361657	46	-4	< 3
nSv035	138	31 U	0623457	UTM 5361662	41	-9	< 3
<b>nSv036</b>	<b>137</b>	<b>31 U</b>	<b>0623491</b>	<b>UTM 5361792</b>	<b>89</b>	39	> 4
<b>nSv037</b>	<b>134</b>	<b>31 U</b>	<b>0623487</b>	<b>UTM 5361825</b>	<b>105</b>	55	> 4
<b>nSv038</b>	<b>132</b>	<b>31 U</b>	<b>0623480</b>	<b>UTM 5361857</b>	<b>160</b>	110	> 4
<b>nSv039</b>	<b>132</b>	<b>31 U</b>	<b>0623475</b>	<b>UTM 5361864</b>	<b>132</b>	82	> 4
<b>nSv040</b>	<b>131</b>	<b>31 U</b>	<b>0623496</b>	<b>UTM 5361917</b>	<b>87</b>	37	> 4
nSv041	129	31 U	0623477	UTM 5361993	60	10	< 3
nSv042	129	31 U	0623558	UTM 5362104	42	-8	< 3
nSv043	129	31 U	0623620	UTM 5362242	46	-4	< 3
nSv045	133	31 U	0628612	UTM 5363635	48	-2	< 3
nSv046	130	31 U	0628093	UTM 5364319	57	7	< 3
nSv047	138	31 U	0626950	UTM 5365382	63	13	< 3
nSv048	138	31 U	0625193	UTM 5362724	50	0	< 3
nSv049	130	31 U	0623966	UTM 5364022	51	1	< 3
nSv050	145	31 U	0622688	UTM 5364236	55	5	< 3
nSv051a	128	31 U	0623440	UTM 5361965	73	23	[ 3 à 4 ]
nSv051b	128	31 U	0623423	UTM 5361966	55	5	< 3
nSv052a	139	31 U	0624304	UTM 5361170	27	-23	[ 3 à 4 ]
nSv052b	140	31 U	0624309	UTM 5361193	32	-18	< 3
nSv052c	138	31 U	0624287	UTM 5361156	51	1	< 3

## 3 Matériel, expression & méthodes

### 3.1 Matériel & expression

La mesure du débit de dose s'effectue avec un radiamètre FH40G-L10 associé à une sonde de détection NBR FHZ 672 E-10. Dans cette configuration la sonde est homologuée par l'organisme Allemand Physikalisch Technische Bundesanstalt, soit par l'autorité technique la plus importante pour la métrologie et la sécurité physique en Allemagne. Soulignons qu'il n'existe pas une telle homologation en France.

Toujours dans la configuration évoquée, le détecteur comprend un compteur à scintillation organique avec un photomultiplicateur intégré. L'unité est logée dans un boîtier en aluminium, anti-éclaboussure et imperméable à la pluie. Un scintillateur d'iodure de sodium est incorporé à l'avant du scintillateur plastique afin d'améliorer la sensibilité de la réponse pour l'irradiation photon de faible énergie.

#### L'ensemble permet de déterminer l'équivalent de dose ambiant, noté H\*(10)



D'après les données constructeur :

- La gamme de mesure s'étend de 1 à 100 000 nSv/h
- La gamme d'énergie s'étend de 48 à 6000 keV en équivalent photon
- La dépendance en énergie photon dans la direction principale de la sonde est de :
  - ± 20% sur la gamme d'énergie
  - ± 10% entre 200 et 1460 keV (spectre irradiant)
- l'irradiation cosmique est sous-estimée mais aucune donnée n'est disponible sur le sujet.

Cette configuration est particulièrement adaptée pour la mesure du débit de dose ambiant dans l'environnement, soit inférieur à 100 nSv/h (cas généralement constaté) ce que ne permet pas (en général) un appareil portable à main comme le radiamètre FH40G-L10 seul.

### 3.2 Méthode de mesure

En fonctionnement normal avec la technologie NBR active, l'ensemble permet de détecter toutes anomalies d'irradiation au cours d'un déplacement. Aussi, deux approches sont couplées :

- Un déplacement lent le long d'un parcours défini, en l'occurrence le long de la clôture de l'INB n°149, pour rechercher les éventuelles anomalies ;
- Des mesures statiques régulièrement espacées et lorsqu'une anomalie est détectée.

Pour la mesure, l'ensemble est tenu à l'horizontal à 1m du sol en direction de la source d'irradiation suspectée. Le résultat d'une acquisition statique correspond à la moyenne des mesures instantanées sur un laps de temps de 100s.

Il est procédé à une mesure (doublon) dite de référence à la station nSv001 (à distance des installations) dans les mêmes conditions et orientation, à la fois au début et à la fin des opérations :

- Le doublon du début est : 51,8 et 51,8 nSv/h
- Le doublon de fin est : 48,0 et 47,8 nSv/h

La valeur de référence retenue (VRm) est fixée à 50nSv/h (résultat arrondi à l'unité - moyenne des 4 valeurs)

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

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 (VRm) est :

1.  $< 3 \sigma$  → fluctuation naturelle du bruit de fond - aucune anomalie
2. compris en 3 et 4  $\sigma$  → anomalie suspectée
3.  $> 4 \sigma$  → anomalie avérée - explication à rechercher (composition du sol différente, présence d'une source radioactive, etc.)

Mémoire sur « l'élimination » du plutonium-241  
des déchets radioactifs stockés au CSA

# **1 Sommaire**

<b>1</b>	<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ELEMENTS DE COMPREHENSION</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>LE CAS DU PLUTONIUM-241</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>DONNEES SUPPLEMENTAIRES</b>	<b>5</b>

## 2 Éléments de compréhension

La décroissance radioactive conduit à l'élimination des radioéléments. Dans le cas du  $^{137}\text{Cs}$  de période physique  $T_{1/2} \cong 30$  ans, l'activité aura décru d'un facteur 1000 après 3 siècles. Pour le tritium ( $T_{1/2} \cong 12$  ans), le même résultat sera atteint après 120 ans seulement. La période physique des radioéléments est un facteur déterminant.

Il est alors utile de se souvenir que l'activité d'une substance radioactive décroît exponentiellement en fonction du temps selon « une cadence » équivalente à la période physique du radioélément concerné. Plus cette dernière est grande, moins l'activité décroît rapidement mais dans tous les cas :

- après chaque période, l'activité est divisée par deux ;
- après une durée équivalente à 7 périodes, il reste moins de 1% de l'activité initiale ;
- après une durée équivalente à 10 périodes, il reste moins de un millième de l'activité initiale ;

Le nombre de radioéléments qui reste à l'issue d'un laps de temps étant un pourcentage de celui initialement présent, la quantité de départ ne peut être négligée : un millième de beaucoup représente toujours plus qu'un millième de peu.

Dans le cas des émetteurs bêta-gamma la décroissance radioactive permet d'obtenir, dans la plupart des cas, « un bon niveau d'élimination » dans le temps imparti par les règles fondamentales de sûreté (300 ans). Leur période, généralement très inférieure à 30 ans, explique cet état de fait. Pour autant, la quantité restante à l'issue des 3 siècles de « sommeil » des déchets n'est pas nulle dans le cas d'un site comme le CSA. Outre le quid de la quantité initialement stockée et exposée précédemment, c'est principalement l'existence de radioéléments (émetteurs bêta-gamma), indissociables des autres, ayant une plus longue (voire très grande) période physique comme le  $^{63}\text{Ni}$  ( $T_{1/2} = 100$  ans) ou le  $^{14}\text{C}$  (5700 ans) qui en est à l'origine.

En raison de leur longue période physique, les émetteurs alpha constituent également une limite à l'élimination par décroissance radioactive et, au final, à la libération du site (banalisation). C'est pourquoi, la réglementation traite spécifiquement de leurs cas.

Un autre critère qui peut retarder l'élimination (par décroissance radioactive) est la filiation. Un radioélément peut résulter de la désintégration d'un autre radioélément, appelé élément-père ; lui-même produit alors, après son apparition, un nouveau nucléide stable ou non (radioactif). On dit que ces éléments sont en filiation.

Dans le cas d'une filiation où l'élément-père a une période physique très petite par rapport à celle de l'élément-fils, à qui il donne naissance par désintégration, ce dernier pourra subsister alors même que le premier aura disparu. Toutefois l'activité du fils sera toujours plus petite que celle du père et l'écart sera d'autant plus grand qu'il existe une grande disparité entre les périodes physiques des radioéléments concernés. L'activité correspondant à un nombre de noyaux qui se désintègre par unité de temps, la dimension du temps joue donc un rôle prépondérant ; une même quantité d'eau (nombre de noyaux) n'induera pas le même débit (activité) dans une conduite selon qu'elle est déversée rapidement ou lentement.

Pour déterminer l'activité de chaque élément d'une filiation à  $n$  corps à l'issue d'un laps de temps donné ( $t$ ), il faut recourir à la formule de Bateman (1920) suivante :

$$A_n = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n N_{1,0} \times \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} + \dots + \frac{e^{-\lambda_n t}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} \right]$$

$A_n$	= activité du nième élément de la filiation
$N_{1,0}$	= activité de l'élément-père
$\lambda_n$	= constante radioactive du nième élément de la filiation
$t$	= laps de temps écoulé

### 3 Le cas du plutonium-241

A la croisée des problématiques existe le plutonium-241. Emetteur bêta de courte période physique ( $T_{1/2} = 14,4$  ans), le  $^{241}\text{Pu}$  est à l'origine d'une longue filiation comptant plus d'un fils de très grande période physique, tous émetteurs alpha. La **figure 2** renseigne sur cette filiation.

Fin 2006, on comptabilise pour le site de l'Aube 1 098 000 GBq (soit 1,1 E+15 Bq) de  $^{241}\text{Pu}$  reçu et stockés depuis l'ouverture en 1992. Ce chiffre doit s'appréhender comme étant la somme des activités déclarées à réception sur le site et non comme l'activité encore présente à fin 2006 si on tient compte de la décroissance radioactive pour ce radioélément.

La reconstitution des arrivages (en GBq) est indiquée sur la **figure 1** de cette annexe.

Appliquant la formule de Bateman, on estime qu'il reste en 2007 un peu plus de 70% du plutonium-241 réceptionné sur le centre depuis son ouverture (cf. tableau 1). Les 30% restants ont donné naissance à de l'américium-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), un émetteur alpha, qui du fait de sa période physique ( $T_{1/2}$ ) égale à 420 ans « retarde » le processus « d'élimination » ; environ 10 000 GBq sont ainsi produit en 2007 en rapport avec les 30% de plutonium désintégré.

Considérant arbitrairement le seul stock de plutonium-241 à fin 2006, celui-ci va par désintégration augmenter le stock des émetteurs alpha de longue période durant les premières décennies ; l'activité alpha atteindra ainsi son paroxysme en 2075 avec un équivalent de 32 000 GBq d'américium-241. En perspective de l'activité de  $^{241}\text{Pu}$  initiale -A1(0)- celle de l' $^{241}\text{Am}$  générée par filiation représente seulement 3%.

Cet américium sera encore très présent à l'issue de la phase de sommeil du centre, soit au moment de la libération du site. On estime son activité en 2300 à environ 23 000 GBq. Sa lente élimination par décroissance induira un « pic » en néptunium-237, un autre émetteur alpha de très grande période physique, de l'ordre de 7 GBq (à 7000 ans après JC).

Par extrapolation du rythme de stockage actuel en  $^{241}\text{Pu}$  (environ  $10^{15}$  Bq par tranche de 20% de volume de déchets), il est possible d'avancer, à l'issue des 3 siècles de sommeil, que la seule activité alpha générée par la désintégration de ce plutonium représentera encore environ 15% de la limite actuelle pour cette catégorie (750 TBq).

Pour appréhender une telle valeur, il est simple de déterminer l'activité massique des sols qu'elle induirait si cet américium-241 était uniformément réparti sur la surface occupée par le stockage, puis de faire une comparaison avec ce qui existe aujourd'hui dans la nature : 1 à 2 Bq/kg pour l' $^{241}\text{Am}$  dans les sols (conséquence des essais nucléaires atmosphériques).

- Considérant une superficie effective de stockage de 50 ha sur une épaisseur de terre végétale de 1m ayant une densité de 2, on estime à environ 1 milliard de kilogramme la masse de sol à prendre en compte ;
- Considérant l'hypothèse d'une extrapolation comme évoquée précédemment, on estime alors l'activité en américium-241 à +300 ans comme étant de l'ordre de 125 TBq ( $125 \cdot 10^{12}$  Bq) ;

Des résultats précédents, on déduit une activité massique des sols équivalente à 125 000 Bq/kg, soit 100 000 fois plus que dans les sols français.

**Le seul cas du plutonium-241 invite à considérer que le CSA ne pourra être libéré après 3 siècles comme beaucoup l'imagine : sans aucune condition.**

## 4 Données supplémentaires

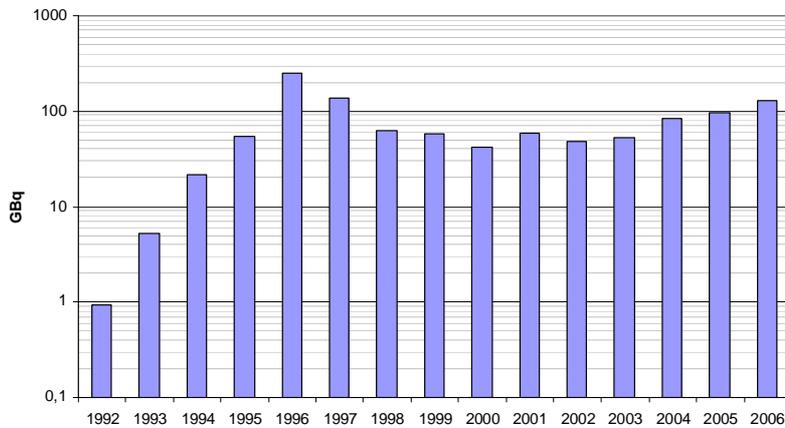


Figure 1 : activité (en GBq) en plutonium-241 reçu chaque année sur le site de l'Aube (CSA) depuis son ouverture en 1992 ; source ANDRA

Tableau 1 : estimation des activités des 6 premiers radioéléments de la filiation du plutonium-241 en fonction du temps et pour le stock en  $^{241}\text{Pu}$  comptabilisé entre 1992 et 2006 sur le CSA.

Elément n°	période (an)	$\lambda_n$	En 2007		En 2050		En 2075		
			activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	
241Pu	1 (bêta)	1,44E+01	4,813E-02	7,9E+14	72,26%	1,0E+14	9,12%	3,0E+13	2,74%
241Am	2 (alpha)	4,33E+02	1,602E-03	1,0E+13	0,92%	3,1E+13	2,86%	3,2E+13	2,96%
237Np	3 (alpha)	2,14E+06	3,238E-07	1,6E+07	0,00%	3,6E+08	0,00%	6,2E+08	0,00%
233Pa	4 (bêta)	7,39E-02	9,372E+00	1,6E+07	0,00%	3,6E+08	0,00%	6,2E+08	0,00%
233U	5 (alpha)	1,59E+05	4,358E-06	2,4E+02	0,00%	3,1E+04	0,00%	8,4E+04	0,00%
229Th	6 (alpha)	7,34E+03	9,441E-05	6,1E-02	0,00%	4,1E+01	0,00%	1,7E+02	0,00%

Elément n°	période (an)	$\lambda_n$	En 2100		En 2300		En 2500		
			activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	activité $A_n(t)$	En % de $A1(0)$	
241Pu	1 (bêta)	1,44E+01	4,813E-02	9,0E+12	0,82%	6,0E+08	0,00%	3,9E+04	0,00%
241Am	2 (alpha)	4,33E+02	1,602E-03	3,2E+13	2,90%	2,3E+13	2,13%	1,7E+13	1,55%
237Np	3 (alpha)	2,14E+06	3,238E-07	8,8E+08	0,00%	2,7E+09	0,00%	4,0E+09	0,00%
233Pa	4 (bêta)	7,39E-02	9,372E+00	8,8E+08	0,00%	2,7E+09	0,00%	4,0E+09	0,00%
233U	5 (alpha)	1,59E+05	4,358E-06	1,7E+05	0,00%	1,7E+06	0,00%	4,7E+06	0,00%
229Th	6 (alpha)	7,34E+03	9,441E-05	4,6E+02	0,00%	1,6E+04	0,00%	7,4E+04	0,00%

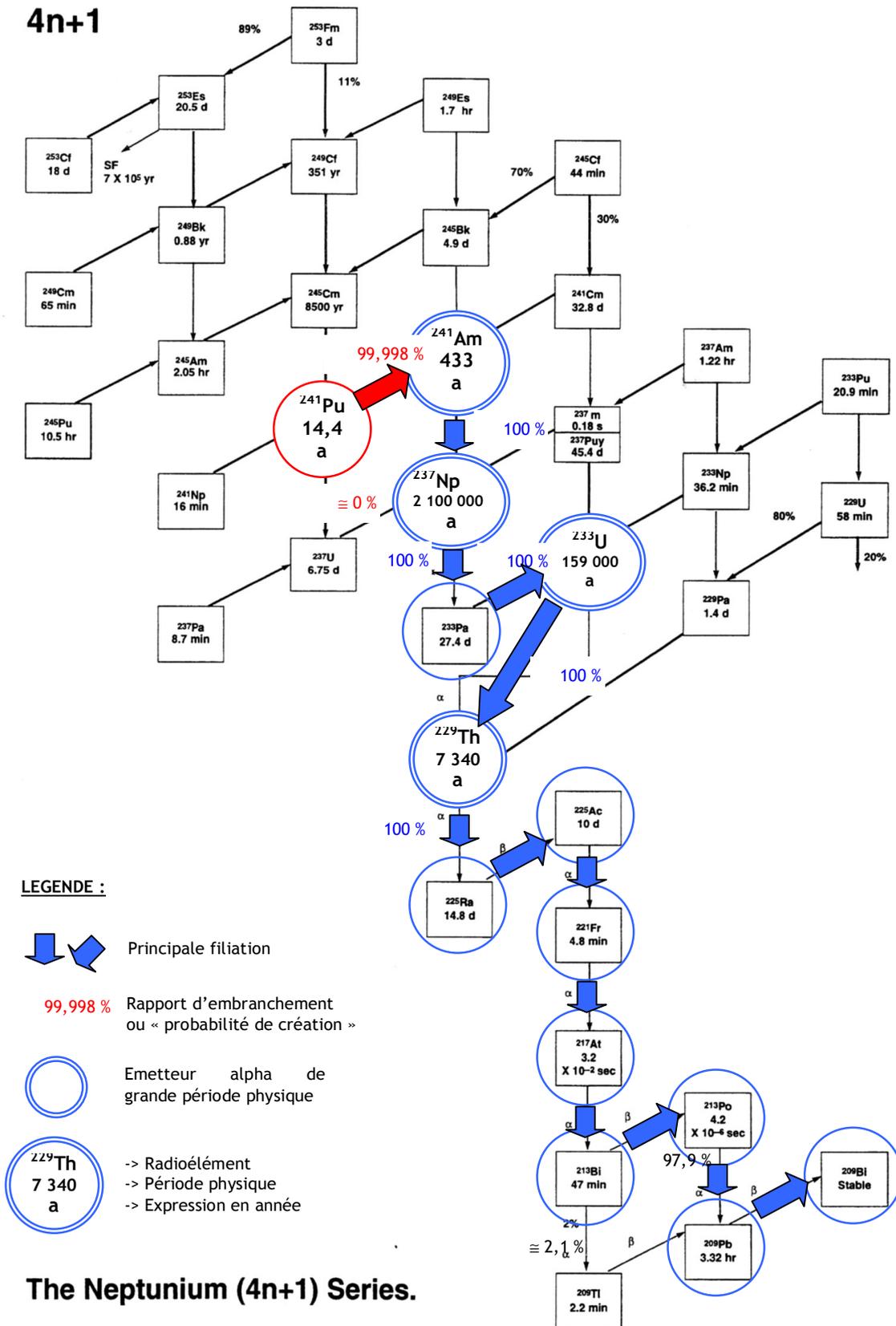


Figure 2 : filiation du  $^{241}\text{Pu}$  en regard de celles des isotopes du neptunium.