

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

## Note d'étape du 17 septembre 2002 V1

# Dossier Vaujours / Synthèse et recommandations de la CRIIRAD au 17 septembre 2002 / Document de travail pour préparer la réunion du 18 septembre 2002

Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande des associations locales de protection de l'environnement, avec le soutien financier de la DSIN, du CEA et des collectivités locales

Date de publication: 17 septembre 2002

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire, Responsable de la mission de terrain : Christian COURBON, technicien spécialisé, Responsable des mesures par spectrométrie gamma : Stéphane PATRIGEON ;

technicien mesure.

Conditionnement des échantillons : Jocelyne RIBOUÊT, préparatrice.

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence

**2** 04 75 41 82 50

**1** 04 75 81 26 48

Document CRIIRAD	VAUJOURS Note du 17 septembre 2002

## **SOMMAIRE**

1. REMARQUES PRÉLIMINAIRES	3
2. ETAT RADIOLOGIQUE DES SOLS SUPERFICIELS À L'INTÉRIEUR DU FORT CENTRAI (HORS BÂTIMENTS)	<u>L</u> 3
2.1. RAPPEL DU CONSTAT EFFECTUÉ PAR L'OPRI EN 1998 2.2. IMPORTANCE DE LA CONTAMINATION RÉSIDUELLE EN URANIUM DES SOLS DU FORT CENTRAL 2.3. STRATÉGIES DE DÉCONTAMINATION DES SOLS DU FORT CENTRAL 2.4. RAPPELS SUR LA RADIOTOXICITÉ DE L'URANIUM 2.5. CRITÈRES RADIOLOGIQUES POUR LA DÉCONTAMINATION 2.6. DÉBATS CONCERNANT LE PROTOCOLE DE DÉCONTAMINATION 2.7. VÉRIFICATION DE LA QUALITÉ DE LA DÉCONTAMINATION 2.8. LA PRÉSENCE D'AMÉRICIUM 241 2.9. ETAT RADIOLOGIQUE DES SOLS, PUITS ET CAVITÉS EN PROFONDEUR 2.10. POINTS CHAUDS DÉTECTÉS DANS LES CASEMATES	4 4 5 5 6 6 7 8 8
3. 2 / ETAT RADIOLOGIQUE DES SOLS (HORS FORT CENTRAL)	10
3.1. DÉTECTION DE FRAGMENTS DE PARATONNERRES TRÈS IRRADIANTS 3.2. NÉCESSITÉ DE RÉALISER UN DÉPISTAGE PLUS APPROFONDI 3.3. CAMPAGNE AUTONUC DU CEA	10 10 11
4. 2 / EVALUATION DES TRANSFERTS ATMOSPHÉRIQUES DE L'URANIUM	13
4.1. ETUDE DES MOUSSES TERRESTRES PRÉLEVÉES PAR LA CRIIRAD 4.2. Réalisation d'une évaluation théorique des émissions d'uranium à l'atmosphère	13 13
5. ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE	15
<ul><li>5.1. DOSAGE DU TRITIUM</li><li>5.2. DOSAGE DE L'URANIUM DANS LES EAUX SOUTERRAINES</li><li>5.3. ESTIMATION DES FLUX PASSÉS ET FUTURS D'URANIUM VIA LES EAUX SOUTERRAINES</li></ul>	15 15 16
6. RECHERCHE DE POLLUANTS CHIMIQUES NON RADIOACTIFS	18
7. REMARQUES CONCERNANT L'ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE	22
7.1. STRATÉGIE RETENUE 7.2. EXPOSITION EXTERNE 7.3. EXPOSITION INTERNE	22 22 22

### **PREAMBULE**

Ce document constitue à la fois une synthèse des principales données fournies par les participants au groupe technique, un rappel de la contribution des associations et de la CRIIRAD à ces travaux, une liste de recommandations pour la clôture des travaux.

### 1. REMARQUES PRELIMINAIRES

Il conviendra de préciser dans le rapport final des experts quels sont les objectifs de l'étude de la contamination résiduelle des sols superficiels du site CEA.

- Ce diagnostic a-t-il été utilisé pour préparer un assainissement total des sols, c'est-à-dire le retour à un niveau de radioactivité strictement naturelle ?
- Une contamination résiduelle persiste-t-elle après les récents travaux de décontamination compte tenu de la difficulté de détection de l'uranium ?

Dans ce dernier cas, les niveaux résiduels de contamination devront être clairement affichés, ainsi que les risques radiologiques associés (dose). Si le site est destiné à être accessible au public, il conviendra de garantir que l'exposition annuelle ajoutée reste très faible (inférieure à 10 microSieverts). Si cette exposition est supérieure, le site devra être d'accès et d'usage limité. Dans tous les cas, une information claire sur la pollution résiduelle devra être rendue publique et des servitudes particulières devront être mises en œuvre.

En ce qui concerne la qualité du diagnostic de la pollution résiduelle actuelle, il convient de distinguer les sols superficiels (à l'extérieur et à l'intérieur du fort central), l'intérieur des casemates et les couches profondes du sol.

## 2. ETAT RADIOLOGIQUE DES SOLS SUPERFICIELS A L'INTERIEUR DU FORT CENTRAL (HORS BATIMENTS)

Les campagnes de prospection radiamétriques et les échantillonnages de sol réalisés par SUBATECH et la CRIIRAD ont démontré la présence d'une contamination résiduelle par de l'uranium issu des tirs dans certains sols du fort central (cf rapports CRIIRAD du 15 novembre 2001 et 14 décembre 2001). Les exigences des associations et de la CRIIRAD en terme de décontamination ont été globalement prises en compte puisque à ce jour les zones identifiées ont été décontaminées. Il est utile de rappeler néanmoins les différentes phases de l'étude et les réserves qui persistent.

### 2.1. Rappel du constat effectué par l'OPRI en 1998

L'OPRI (Office de Protection Contre les Rayonnements Ionisants) avait effectué, le 2 juillet 1998, le «contrôle radiologique final » du centre de Vaujours. Le courrier de l'OPRI en date du 9 juillet 1998 précisait :

« Ce contrôle a porté sur les points suivants :

- bâtiments suspectés de contamination,
- puisards d'évacuation des eaux de pluies et de lavage,
- emplacement des installations assainies.

Les mesures radiamétriques effectuées dans les différents endroits précités n'ont pas montré de niveau de rayonnement différent du rayonnement naturel relevé hors du site et respectent les niveaux de référence définis par la note DGS 98-085 du 20 janvier 1998. Le site CEA-DAM installé au Fort de Vaujours peut être considéré comme assaini ... ».

Dans son « mémoire en réponse » en date du 1 juillet 2000, le CEA s'appuyait sur le constat de l'OPRI pour écrire : « Il n'y a donc pas lieu d'inscrire le site au recensement national des sites et sols pollués ».

### 2.2. Importance de la contamination résiduelle en uranium des sols du fort central

L'expertise conduite en 2001 et 2002 a montré une contamination résiduelle par l'uranium. Cette contamination importante était conséquente à la fois par :

- L'étendue spatiale de la contamination résiduelle (pour le secteur CA 14, la contamination concerne de l'ordre de 1000 mètres carrés selon le CEA).
- L'extension en profondeur (on mesurait une contamination en uranium des strates moins 20 à moins 30 centimètres en PS1 et dans les secteurs RX 3 et CA 14). De plus, les mesures radiamétriques en fond de fouille suggéraient que la contamination était plus profonde encore. En effet, alors que le flux de rayonnement gamma mesuré par SUBATECH à moins 30 cm était compris entre 163 et 233 c/s pour les références, il était supérieur à 250 c/s aux points N° 1 ter (secteur RX 1), N°9 (secteur PH) et N°3-5- 22 et 40 (secteur CA 14). Au niveau du secteur RX 3, SUBATECH mesurait entre 240 et 250 c/s à moins 30 cm au droit des points N°12, 13 et 15 ce qui posait également question.
- Le niveau de radioactivité mesuré sur de nombreux¹ échantillons dépassait 10 000 Bq/kg en uranium 238 (soit plus de 40 000 Bq/kg si l'on ajoute les 4 premiers descendants de l'uranium 238). La directive Euratom 96 / 29 considère qu'une pratique mettant en œuvre des substances dont l'activité massique en uranium 238 (à l'équilibre avec ses 2 premiers descendants le thorium 234 et le protactinium 234<sup>m</sup>) est supérieure à 10 000 Bq/kg, ne peut être exemptée, l'impact radiologique de cette pratique ne pouvant être considéré comme négligeable. Pour l'uranium 234, ce seuil est également de 10 000 Bq/kg. Dans le cas où les 2 isotopes sont présents et d'égale activité (ce qui est le cas a priori à Vaujours), les règles d'additivé définies par la directive ramènent le seuil à 5 000 Bq/kg pour l'activité de l'uranium 238 seul.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> On relève, à partir des mesures SUBATECH et CEA: un cas en PS1, 1 en RX 3, 7 en CA 14.

Ces seuils sont définis pour des pratiques, et concernent par exemple les règles de gestion des déchets issus de ces pratiques. Il est évident que les critères à appliquer à des sols et des matières présentes dans l'environnement doivent être beaucoup plus bas, que s'agissant de la gestion de déchets amenés à être confinés dans des sites ad hoc. Plusieurs² échantillons dépassaient même 25 000 Bq/kg en uranium 238 (donc 120 000 Bq/kg au total). L'échantillon 5A en CA 14 présentait une contamination proche de 150 000 Bq/kg (mesure CRIIRAD, SUBATECH et CEA), soit une activité totale supérieure à 500 000 Bq/kg.

Le site en l'état ne pouvait donc être considéré comme satisfaisant aux critères de la DGS, et encore moins être considéré comme assaini.

## 2.3. Stratégies de décontamination des sols du fort central

Le CEA a confirmé lors de la réunion du 19 novembre 2001, qu'il allait entreprendre une décontamination de tous les points chauds qui avaient été détectés à l'intérieur du fort central dans le cadre des campagnes de pré-détection effectuées par SUBATECH et la CRIIRAD (en particulier secteurs CA 3, RX 3, CA 14).

Lors de cette réunion, le représentant de la CRIIRAD a insisté sur la nécessité de clarifier les objectifs de la décontamination et par conséquent les moyens analytiques et la stratégie à mettre en œuvre.

- Il pouvait s'agir en effet de parvenir à un assainissement complet avec, dans ce cas, la nécessité de garantir que les sols en place auraient, après décontamination, une activité en uranium qui n'excèderait pas le niveau naturel des sols de la région (de l'ordre de 40 Bq/kg pour l'uranium 238).
- Il pouvait s'agir d'un travail moins poussé, à l'issue duquel une contamination résiduelle en uranium subsisterait. Dans ce cas, en fonction de la future utilisation du site, il conviendrait de déterminer les doses que seraient susceptibles de recevoir les populations ou les travailleurs.

## 2.4. Rappels sur la radiotoxicité de l'uranium

Il faut rappeler que l'uranium 238 a une période physique de 4,5 milliards d'années. Les sols pollués resteraient donc contaminés au même niveau qu'en 2001 pendant un temps très long.

L'uranium est un toxique chimique. L'uranium 238 et les isotopes 234 et 235 qui lui sont associés, présentent par ailleurs, de par leurs émissions radioactives (particules alpha), une très forte radiotoxicité par inhalation.

Nous avons reporté en annexe 1, les coefficients de dose par inhalation de l'uranium 238 en équilibre avec ses 3 premiers descendants, en fonction de l'âge de la personne exposée. Pour les formes physico-chimiques les plus pénalisantes, l'inhalation d'un seul becquerel d'uranium 238 en équilibre avec ses 3 premiers descendants expose à une dose supérieure au seuil du risque négligeable (10 microSieverts au sens de la directive Euratom 96 / 29). L'inhalation de 60 becquerels expose, quel que soit l'âge, à une dose inacceptable (supérieure à 1 000 microSieverts par an).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Il s'agit de 3A, 5 A et 5 B, 22 A, 37 A et 40 A pour le secteur CA 14 et 13 A pour le secteur RX 3 (mesures SUBATECH et CEA).

Or l'exposition totale d'une personne (public ou travailleur) doit être calculée en prenant en compte toutes les voies d'exposition (exposition externe, inhalation de poussières radioactives, ingestion de matière et de denrées alimentaires contaminées). L'exposition totale dépendra donc du degré de contamination résiduelle des sols par l'uranium et des différents scenarii d'utilisation du site dans le futur.

### 2.5. Critères radiologiques pour la décontamination

L'arrêté préfectoral du 14 avril 2000 ne garantit pas que les doses subies par les futurs utilisateurs du site resteront acceptables.

Ce texte fait état en effet d'un « seuil de décontamination de 5 000 Bq d'uranium par kilogramme de terre et un débit de dose maximal de l  $\mu$ Gy/h à l'extérieur des bâtiments. Ces travaux doivent également garantir le respect du seuil de décontamination de l 000 Bq d'uranium par kilogramme de matière et un débit de dose de 0,2  $\mu$ Gy par heure à l'intérieur des bâtiments ».

Si le critère de 1 µGy/h était appliqué, un travailleur dont l'activité se déroule majoritairement sur le site en extérieur, serait susceptible de recevoir une exposition annuelle (sur 2000 heures) de 2 milliSieverts, soit 2 fois supérieure à la limite maximale annuelle admissible pour le public (et ceci du seul fait de l'exposition externe, sans compter les doses liées à l'ingestion et à l'inhalation de particules d'uranium).

L'utilisation de telles limites conduirait à restreindre l'utilisation du site à des travailleurs DATR (Directement Affectés aux Travaux sous Rayonnements), qui bénéficient d'une formation à la radioprotection et d'un suivi médical spécifique.

La direction de la CRIIRAD avait rencontré, dans les mois précédant l'étude, un responsable de la Direction Générale de la Santé (Monsieur Godet du Bureau de la Radioprotection au Ministère de la Santé), pour évoquer le problème de ces critères de décontamination. Ce responsable avait indiqué qu'à sa connaissance, il n'existait pas, au Ministère, de dossier scientifique permettant de justifier le choix de tels critères et qu'un dossier méthodologique était en cours de préparation à l'IPSN.

Ces critères anciens doivent donc être considérés comme périmés.

La procédure la plus satisfaisante serait évidemment de procéder à l'assainissement total des sols du site, de manière à garantir que l'exposition restera inférieure au seuil du risque négligeable (10 microSieverts par an). Si tel n'est pas le cas, il faut fixer en préalable le niveau de risque résiduel qui subsistera lors de la future réutilisation du site, dans le cas où une contamination résiduelle serait admise. Ce niveau de risque, qui doit être exprimé en niveau de dose, permettra de déterminer un seuil de contamination résiduelle en uranium acceptable.

La DRIRE a précisé lors de la réunion du 14 février 2002 qu'elle utilisait désormais comme référence le guide méthodologique de l'IPSN avec le principe qu'on ne peut banaliser un site que si l'exposition est inférieure à 10 microSieverts<sup>3</sup>.

### 2.6. Débats concernant le protocole de décontamination

Lors de la réunion du 19 novembre 2001, le CEA a présenté les principales lignes de son projet. Le critère de décontamination invoqué par le CEA étant de 5 000 Bq/kg en uranium, le représentant de la CRIIRAD a rappelé que ce critère n'avait pas de valeur scientifique ni réglementaire et qu'il convenait préalablement à toute décontamination de déterminer le niveau de pollution résiduelle « acceptable ».

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Le CEA a fait répéter ce chiffre. La DRIRE l'a confirmé.

La CRIIRAD a rappelé à cette occasion que la procédure de décontamination devait être adaptée pour tenir compte de la difficulté de détection d'une contamination par de l'uranium.

En effet, le critère évoqué par le CEA (décontamination jusqu'à retrouver un flux gamma à la surface du sol inférieur à 3 fois le bruit de fond) ne permet pas de garantir que l'activité résiduelle en uranium de la couche superficielle des sols est inférieure à 5 000 Bq/kg (et encore moins si cette contamination est enfouie à quelques centimètres sous la surface ou si l'on adopte un critère de décontamination plus restrictif).

Lors de la réunion du 14 février 2002, le CEA et le professeur Guillaumont ont cependant confirmé que le critère arbitraire utilisé comme un critère opérationnel pour la pré-détection des anomalies radiamétriques résiduelles (niveau de rayonnement gamma au contact du sol 3 fois supérieur au bruit de fond naturel) serait maintenu comme critère d'assainissement.

La CRIIRAD a rappelé à nouveau que ce critère, basé sur l'excès de rayonnement gamma en surface du sol, ne permettait pas de garantir la détection de, terres sous-jacentes, contaminées à 5 000 Bq/kg en uranium et que puisque des travaux d'assainissement étaient entrepris, le principe d'optimisation de la protection imposait de ramener la situation au bruit de fond.

La CRIIRAD a rappelé de plus que le critère de 5 000 Bq/kg en uranium évoqué par la DGS ne présentait pas des garanties sanitaires satisfaisantes.

Le professeur Guillaumont a précisé qu'il avait écrit à la DGS le 11 janvier 2002. En l'attente d'une réponse, il a maintenu le critère d'assainissement à 5 000 Bq/kg et a précisé qu'à l'issue de la décontamination, le CEA réaliserait des prélèvements d'échantillons en fond de fouille afin de vérifier a posteriori qu'une éventuelle activité résiduelle en uranium serait inférieure à 5 000 Bq/kg. Le CEA a indiqué qu'il ne voyait pas l'intérêt d'aller plus loin compte tenu des coûts (1,5 MF pour les 200 m²) et du fait qu'il n'y aurait à l'avenir aucune activité autorisée dans le fort.

### 2.7. Vérification de la qualité de la décontamination

La qualité de la décontamination a été vérifiée par SUBATECH lors de la campagne de mesure du 13 au 15 mai 2002 (cf rapport SUBATECH du 24 mai 2002).

Le technicien CRIIRAD a pu constater également, lors de la mission du 14 mai 2002, l'absence d'anomalie radiamétrique significative sur le secteur CA 14, à l'issue des travaux de décontamination entrepris par le CEA. En effet, les contrôles radiamétriques réalisés par le technicien CRIIRAD au DG5 porté à quelques centimètres au dessus du sol sur le fond de fouille et environ un tiers des monticules de terre adjacents n'ont révélé aucune anomalie significative (60 à 100 c/s pour un bruit de fond de 60 à 70 c/s).

Néanmoins, la CRIIRAD a demandé que des échantillons de terre soient prélevés en fond de fouille. Les analyses des 4 sols prélevés à la demande de la CRIIRAD par SUBATECH sur la zone CA 14 ont confirmé ce diagnostic<sup>4</sup>. En effet, les activités en uranium 238 mesurées par SUBATECH (30 à 64 Bq/kg) sont comparables aux valeurs naturelles pour ce site. De plus, l'uranium 238 est à l'équilibre avec le radium 226 (aux marges d'incertitude près). Les mesures réalisées par la CRIIRAD sur une aliquote de ces 4 terres donnent des résultats comparables (cf tableau en annexe 2).

Cependant la CRIIRAD a eu l'occasion de rappeler lors de la réunion du 7 juin 2002 que l'absence de contamination en uranium au-delà de quelques centimètres sous la surface ne pouvait être garantie par les contrôles radiamétriques de surface. Le CEA a précisé que cette éventualité serait gérée grâce aux servitudes.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> CF rapport d'analyse SUBATECH N°02-113-C en date du 6 juin 2002.

## 2.8. La présence d'américium 241

Les mesures réalisées par les laboratoires CRIIRAD, SUBATECH et CEA ont révélé la présence d'américium 241, au pied d'un paratonnerre, sur le toit de la casemate CA 5.

L'américium 241 est un radionucléide artificiel, émetteur alpha / gamma. Il peut être utilisé dans certains modèles de paratonnerres. Mais sur le toit de la casemate CA5, les mesures du SPR / CEA n'ont montré que la présence de fragments de paratonnerres<sup>5</sup> au radium 226.

La CRIIRAD a donc rappelé, lors de la réunion du 19 novembre 2001, sa demande que le CEA fasse une recherche exhaustive, dans ses archives, afin de déterminer si des paratonnerres à l'américium ont effectivement été utilisés à Vaujours et plus particulièrement sur la casemate CA 5.

Cette question est d'autant plus importante que la CRIIRAD a détecté de l'américium 241 également dans les mousses terrestres qu'elle a prélevées, le 29 juin 2001, sur le toit du bâtiment OS1. Si l'américium 241 détecté à Vaujours ne provient pas de paratonnerres, il y a lieu de rechercher son origine réelle et dans tous les cas, de vérifier s'il est accompagné des isotopes émetteurs alpha et bêta du plutonium, auquel il serait probablement associé s'il provenait de déchets nucléaires proprement dits.

Conformément aux recommandations de la CRIIRAD, le CEA a procédé au dosage des isotopes émetteurs alpha du plutonium dans un échantillon de terre (sol 423 A). L'activité du plutonium 238 est inférieure à la limite de détection (< 0,043 Bq/kg), celle des plutoniums 239 et 240 est de 0,43 +/- 0,12 Bq/kg. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles attendues du fait des retombées des essais nucléaires des années 50 / 60.

Durant la réunion du 14 février 2002, le représentant de la CRIIRAD a demandé au CEA les résultats du dosage du plutonium 241 dans le sol contaminé par de l'américium 241. Le CEA a indiqué que la valeur était inférieure à 20 Bq/kg et que s'il s'agissait de plutonium 241 d'origine militaire (retombées des années 60) on devrait avoir aujourd'hui 6 fois moins d'américium 241. **Pour le CEA, a priori, cet américium ne provient pas d'essais militaires.** 

Le représentant de la CRIIRAD a rappelé que le CEA a utilisé des sources scellées à l'américium et des détecteurs d'incendies. Il a fait observer que dans les 2 principaux sols où de l'américium 241 avait été détecté il y avait une forte contamination par du radium 226 issu de paratonnerres. Le CEA a confirmé qu'il n'y a pas eu utilisation de paratonnerres à l'américium durant la période CEA. Il n'a pu donner d'autre information<sup>6</sup> sur les inventaires de paratonnerres et les conditions d'évacuation que ce qui est indiqué dans le dossier d'abandon (Tome 2, section XIV, p18).

## 2.9. Etat radiologique des sols, puits et cavités en profondeur

Les moyens mis en œuvre dans le cadre de cette expertise ne permettent pas de statuer sur l'éventualité et l'intensité d'une contamination en profondeur (au delà de quelques centimètres).

La CRIIRAD recommande que le CEA fournisse une analyse détaillée de ses archives afin de localiser les puits, cavités, circuits d'évacuation des effluents radioactifs, ouvrages enfouis qui pourraient avoir été contaminés.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Le CEA a indiqué en outre, dans son rapport du 26 octobre 2001 « radioactivité des sols du centre de Vaujours », avoir détecté des traces d'américium 241 (0,69 Bq/kg) dans la strate de surface du sol PS 17 (N°18 A) prélevé par SUBATECH en dehors du fort central, après enlèvement par le SPR / CEA d'un morceau de céramique provenant de la calotte d'un paratonnerre au radium 226.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> La CRIIRAD a vérifié sur le dossier T1, I7 et T2 VIII qu'il n'y a aucune précision complémentaire.

### 2.10. Points chauds détectés dans les casemates

Concernant l'intérieur des casemates où ont eu lieu des tirs à l'uranium, il faut noter que l'exploration préliminaire conduite par la CRIIRAD dans les casemates LG3, RX 1, TC 1, RX 3, et PH durant la phase 1 n'avait pas pour objet de détecter tous les points chauds résiduels. Il ne s'agissait pas en effet de réaliser une « cartographie radiamétrique » mais « quelques mesures exploratoires » (cf note CRIIRAD du 11 mai 2001).

Les documents du CEA confirment d'ailleurs que certains ouvrages contaminés ont été noyés dans du béton, compte tenu de l'impossibilité de les décontaminer.

La qualité de la décontamination a été vérifiée par SUBATECH lors de la campagne de mesure du 13 au 15 mai 2002 (cf rapport SUBATECH du 24 mai 2002).

ref

9

## 3.2 / ETAT RADIOLOGIQUE DES SOLS (HORS FORT CENTRAL)

## 3.1. Détection de fragments de paratonnerres très irradiants

Les contrôles effectués par SUBATECH<sup>7</sup> à l'extérieur du fort central fin avril / début mai 2001, ont permis de détecter un certain nombre de points contaminés. Il s'agissait de **restes de paratonnerres**.

La CRIIRAD a demandé, le 11 mai 2001 (demande renouvelée le 19 novembre 2001) que le CEA fournisse un inventaire des paratonnerres et une analyse détaillée des conditions de leur démontage afin de permettre éventuellement de comprendre l'origine de ces fragments en ces lieux (qui, semble-t-il, ne comportaient pas, à l'origine, de paratonnerres). Ces informations pouvaient permettre de comprendre s'il s'agissait de la chute de déchets lors du transport des paratonnerres après leur démantèlement. Dans ce cas, la présence d'autres résidus sur le trajet des camions ne pourrait être exclue, y compris à l'extérieur du fort. Le CEA n'a pas été en mesure de fournir d'informations complémentaires sur cette question.

Les 2 points chauds ont été assainis par le CEA. SUBATECH a vérifié la qualité de cet assainissement sur un des 2 points concernés.

### 3.2. Nécessité de réaliser un dépistage plus approfondi

La CRIIRAD considérait cependant que la campagne de prédétection radiamétrique n'avait pas été effectuée avec un maillage suffisant pour garantir l'absence de contamination en surface (sur les premiers centimètres).

Cette question prend tous son sens lorsque l'on sait que, selon un ancien ingénieur du CEA ayant participé aux tirs à l'uranium, « En plein air, les explosions dispersaient des morceaux d'uranium, même en dehors des limites du fort de Vaujours ». Cet ingénieur précise en outre que « les fragments d'uranium qui retombaient à l'extérieur du fort central pouvaient de par leur masse s'enfoncer dans le sol » et que « des arbres qui ont poussé ultérieurement peuvent receler une contamination à proximité des racines ».

Il faut garder à l'esprit en effet qu'un point chaud de 3 000 Bq d'uranium, même posé en surface du sol, n'est pas détectable à moins que le prospecteur ne passe à quelques dizaines de centimètres<sup>9</sup>.

Par ailleurs, un morceau de 100 grammes<sup>10</sup> d'uranium enfoui à 30 centimètres sous la terre, ne serait pas détectable depuis la surface du sol.

10

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Les quelques tracés radiamétriques réalisés parallèlement par les techniciens de la CRIIRAD à titre exploratoire, à l'extérieur du fort central, ne changent évidemment pas ce constat d'insuffisance de la campagne de prédétection radiamétrique.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Monsieur Lucien Beaudoin, entretien téléphonique avec monsieur Chareyron, responsable du laboratoire de la CRIIRAD, le 12 décembre 2001.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Le technicien CRIIRAD a découvert par hasard, à 3 mètres du point chaud PC 1, le point chaud PC 9 : 300 grammes de terre (masse sèche) sur le goudron de la piste, contenant d'après les mesures CRIIRAD, CEA et SUBATECH entre 8 000 et 11 000 Bq/kg en uranium 238.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Sur un obus flèche constitué de 300 grammes d'uranium appauvri (soit près de 4 millions de becquerels d'uranium 238), la CRIIRAD a mesuré au laboratoire, à 30 cm dans l'air, un flux gamma SPP2 de 120 c/s soit seulement 3 fois le bruit de fond. Il ne fait pas de doute qu'une masse 3 fois plus faible de 100 grammes d'uranium pur, enfouie de surcroît sous 30 centimètres de terre ne serait pas détectable depuis la surface.

La campagne de prédétection radiamétrique n'ayant été complétée par aucune analyse des sols en profondeur, il est par ailleurs impossible de se prononcer sur leur éventuel degré de contamination radiologique. On pouvait simplement considérer que les sources de contamination superficielle les plus irradiantes, présentes sur le trajet des techniciens lors des campagnes de détection radiamétrique, avaient été enlevées.

### 3.3. Campagne AUTONUC du CEA

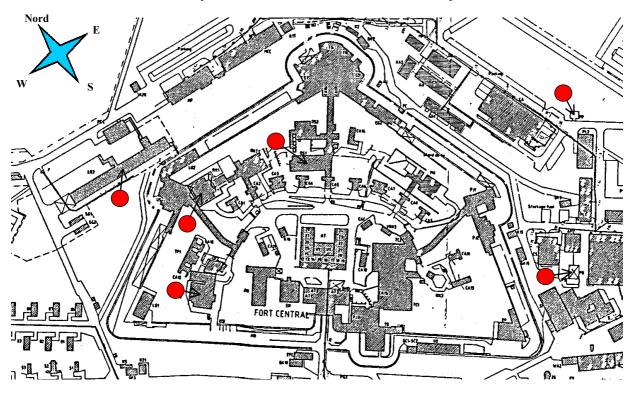
Les demandes de contrôles complémentaires formulées par les associations et la CRIIRAD ont finalement été prises en compte puisque le CEA a procédé en avril 2002 à une inspection fine de chaque côté des voiries et de certaines surfaces planes au moyen du dispositif AUTONUC.

Un rapport d'interprétation provisoire a été remis par le CEA lors de la réunion du groupe technique en date du 7 juin 2002. Cette prospection n'a pas mis en évidence d'autres fragments de paratonnerres.

#### La CRIIRAD considère qu'il convient de garder à l'esprit cependant 3 réserves :

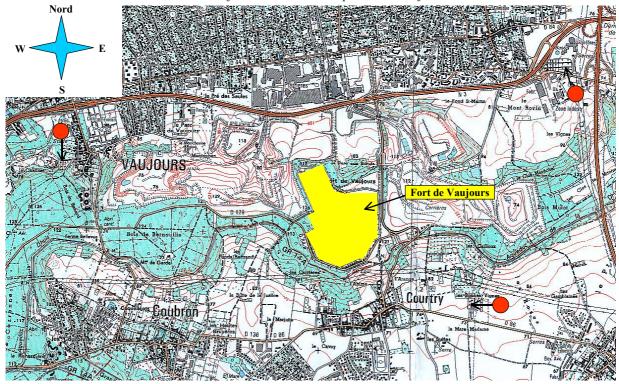
- Le système AUTONUC permet d'effectuer un contrôle de la radioactivité présente dans la couche superficielle des sols. Des sources enfouies sous quelques centimètres de terre (uranium) ou quelques dizaines de centimètres (radium) ne seraient pas détectées,
- La quasi-totalité des routes et des aires ont été inspectées, à l'exception de « 200 mètres environ de voies de circulation situées à l'est de la Redoute Nord .../...3 zones d'une surface totale d'environ un demi hectare, situées à l'est du Centre; ces zones sont à l'emplacement d'anciennes installations sportives (courts de tennis,...). »
- Selon le CEA, la limite de détection de la prospection effectuée est de l'ordre de 50 millions de becquerels pour une source ponctuelle d'uranium 238 métal (en surface) et 0,2 à 3,1 million de becquerels pour une source ponctuelle de radium 226.

Carte B1 : Localisation des points de prélèvement de bioindicateurs atmosphériques par le laboratoire de la CRII RAD Fort de Vaujours / Fort central et abords immédiats / 26-29 juin 2001



Zone de prélèvement de bioindicateurs atmosphériques

Carte B2 : Localisation des points de prélèvement de bioindicateurs atmosphériques par le laboratoire de la CRII RAD Fort de Vaujours / Environnement proche / 26-29 juin 20



Zone de prélèvement de bioindicateurs atmosphériques

## 4. 2 / EVALUATION DES TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES DE L'URANIUM

## 4.1. Etude des mousses terrestres prélevées par la CRIIRAD

Un échantillonnage de mousses terrestres a été effectué par le technicien CRIIRAD les 28 et 29 juin 2001. Neuf mousses terrestres de même espèce<sup>11</sup> ont été prélevées (3 au niveau du fort central, 3 dans l'environnement proche du fort central sur terrain CEA et 3 dans les cimetières des localités de Vaujours, Villeparisis et Courtry). Les sites d'échantillonnage sont reportés sur les cartes B1 et B2 page précédente.

Les analyses par spectrométrie gamma réalisées sur ces mousses par la CRIIRAD ont révélé la présence d'un niveau anormalement élevé d'**uranium** sur l'échantillon prélevé au niveau de la **casemate RX 1** (cf tableau en annexe 3 : 235 +/- 58 Bq/kg sec en thorium 234 premier descendant de l'uranium 238). Les mesures réalisées par SUBATECH et le CEA ont confirmé<sup>12</sup> ce point. Les mesures du CEA ont révélé également une accumulation d'uranium au niveau du **TP 3** (fort central).

Les analyses réalisées par les 3 laboratoires ont confirmé la présence systématique d'autres radionucléides naturels (plomb 210, béryllium 7) et artificiels (césium 137) dans les 9 mousses étudiées. Ces résultats sont classiques et n'appellent pas de commentaire particulier.

Par contre des traces **d'américium 241** ont été mises en évidence par les 3 laboratoires au niveau de OS 1 (fort central). Ces résultats sont a priori à mettre en relation avec l'utilisation probable de paratonnerres à l'américium ou l'utilisation certaine de détecteurs d'incendie à l'américium ou sources diverses.

Le dépistage effectué sur les mousses, qui donne une photographie de l'accumulation d'uranium sur une dizaine d'années via des retombées aériennes montre des anomalies au niveau du fort central, et l'absence de marquage significatif dans l'environnement. Cette étude n'est cependant pas suffisante pour renseigner sur une éventuelle contamination de l'air lors des tirs anciens des années 50 à 80.

## 4.2. Réalisation d'une évaluation théorique des émissions d'uranium à l'atmosphère

La documentation disponible dans le dossier soumis à enquête publique étant insuffisante pour se prononcer sur le degré de dispersion de particules d'uranium à l'extérieur du site de Vaujours, la CRIIRAD a rappelé, en particulier lors de la réunion du 19 novembre 2001, les principaux éléments à rechercher.

La CRIIRAD était en effet fin novembre 2001 toujours en attente des documents qu'elle avait demandés<sup>13</sup> au CEA lors de la réunion du 25 septembre 2001 à savoir :

• les résultats des contrôles de radioactivité effectués par le CEA dans l'air : dosage de l'uranium (à l'air libre comme en casemate). Le CEA s'était engagé à rechercher les données concernant Vaujours mais n'avait pas semblé disposé à fournir les résultats pour d'autres sites pertinents. L'intérêt de disposer de

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Grimmia pulvinata.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Les mesures du CEA réalisées avec une très bonne sensibilité de détection donnent sur les mousses de RX 1 et du TP 3 (fort central) des activités massiques en uranium respectivement 11,5 et 3 fois supérieures à la moyenne obtenue dans les 3 cimetières étudiés.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Demandes adressées par Mail au CEA le 26 octobre 2001 et 7 novembre 2001.

mesures sur d'autres sites est de permettre une analyse de la cohérence des données, et dans le cas où un site B aurait d'avantage marqué son environnement que le site de Vaujours (niveaux supposés non mesurables à Vaujours), d'utiliser les données de B pour recalculer avec un recalage adéquat l'ordre de grandeur du marquage atmosphérique dans l'environnement de Vaujours.

• le bilan des tirs à l'uranium effectués à Vaujours (historique des tirs, dates, quantités d'uranium mises en jeu, types de tirs, remarques sur la granulométrie des aérosols produits, évaluation de la probabilité pour que des fragments d'uranium se retrouvent à l'extérieur des limites du fort central et du site CEA de Vaujours).

Ces éléments sont déterminants pour procéder à une évaluation réaliste des quantités d'uranium susceptibles d'avoir été répandues à l'extérieur du site et par conséquent des doses éventuelles subies par les riverains, par inhalation. Il convient de rappeler que les uranium 238, 234 et 235 sont des toxiques chimiques et en outre des radionucléides de forte radiotoxicité par inhalation. Après plusieurs relances, le CEA a finalement fourni un document de synthèse sur cette question <sup>14</sup>.

La note CEA de mai 2002 ne donne pas de résultats suffisamment détaillés en l'état pour pouvoir permettre une évaluation des quantités de poussières d'uranium éventuellement dispersées à l'extérieur du site CEA. La CRIIRAD recommande donc que le CEA précise les résultats des contrôles radiologiques effectués après les tirs et fournisse une évaluation enveloppe des activités volumiques attendues à l'extérieur du site.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Document intitulé « *Site de Vaujours / expérimentations et bilan uranium / CEA DAM / Mai 2002* », transmis au professeur Guillaumont par le CEA le 30 mai 2002 et adressé à la CRIIRAD en copie le 1 juin 2002.

### 5. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

### 5.1. Dosage du tritium

Le tritium est un des éléments radioactifs produit en grande quantité lors des réactions nucléaires. De par sa forte mobilité, le tritium constitue par ailleurs un traceur de premier plan d'une pollution liée à des essais. Même si le CEA a indiqué n'avoir jamais procédé, à Vaujours, à des « tirs nucléaires », la CRIIRAD a recommandé que des mesures de l'activité en tritium soient réalisées. Le dosage du tritium dans les eaux peut constituer de toute façon un élément intéressant pour la caractérisation de l'hydrogéologie. De plus, la mesure du tritium permettrait (en cas de confirmation de l'absence de marquage) de donner fin à des rumeurs qui circulent au sein de la population.

Ceci est d'autant plus justifié à Vaujours, que le laboratoire de la CRIIRAD a mesuré<sup>15</sup> en 1999 dans un puits situé dans l'environnement lointain du site (puits Cagnet), un niveau de tritium anormalement élevé de 34 Bq/l. Cette valeur reste inférieure aux recommandations européennes de 100 Bq/l pour les eaux destinées à la consommation, mais suggère un apport anthropique non explicable a priori par le reliquat de contamination lié aux essais nucléaires atmosphériques des années 50 / 60.

La CRIIRAD a recommandé<sup>16</sup>, lors de la réunion du 19 novembre 2001 que des contrôles de l'activité en tritium des eaux souterraines soient effectués. L'expert en charge de l'étude hydrogéologique étant absent, la décision a été reportée à la réunion du groupe restreint « *hydrogéologie* » du 18 décembre 2001.

La demande de la CRIIRAD et des associations que soient réalisées des mesures de l'activité en tritium dans les eaux souterraines a finalement été retenue par le groupe technique. Le CEA a réalisé des campagnes de mesure sur les échantillons d'eau prélevés en novembre 2001 puis avril-mai 2002. Les résultats sont reproduits dans le tableau en annexe 4.

Ces mesures n'ont pas révélé d'anomalie significative en tritium (valeurs comprises entre 2 et 5 Bq/l sauf au niveau d'un piézomètre PZ B1 au droit du site de Vaujours : 7,7 Bq/l et un puits K de Courtry : 10 Bq/l). Ces mesures n'ont pas confirmé<sup>17</sup> l'anomalie détectée au puits Cagnet, en 1999, par le laboratoire de la CRIIRAD (34 Bq/l), puisque le CEA a mesuré 3,4 +/-1,3 Bq/l.

## 5.2. Dosage de l'uranium dans les eaux souterraines

### Représentativité des stations d'échantillonnage

Lors de la réunion du groupe technique du 14 février 2002, le représentant de la CRIIRAD a interrogé les experts sur la question des sens d'écoulement de la nappe du Brie [puisque le rapport BURGEAP évoque le Sud (direction principale) mais aussi l'Ouest et en cours de réunion avait été évoqué l'Est]. Il a demandé si les experts avaient recherché un exutoire en chacune de ces 3 directions, et pourquoi les 3 puits extérieurs retenus pour étudier la nappe des colluvions étaient aussi resserrés à COURTRY. Pour monsieur Dever la direction Sud est de loin la plus importante et le caractère groupé des puits ne nuit pas à la représentativité.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Mesures réalisées par la CRIIRAD dans le cadre du suivi radiologique bi-annuel du CET de Villeparisis, qui est proche du centre de Vaujours. Le puits en question est situé dans l'environnement lointain du CET.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Elle avait d'ailleurs prévu, dans son projet présenté aux associations en mars 2001, de procéder à quelques mesures de tritium, dans le cadre de l'expertise Vaujours.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Les teneurs en tritium mesurées par le laboratoire de la CRIIRAD sur des échantillons prélevés en décembre 2001 dans le cadre d'une autre étude sont comparables aux valeurs CEA de novembre 2001 : PZ 3 (< 2 Bq/l) et puits Cagnet (2,4 +/- 0,4 Bq/l).

#### La question de la signature isotopique

Lors de la réunion du groupe technique du 14 février 2002, le CEA a distribué en séance les résultats des mesures isotopiques d'uranium effectuées dans les eaux. Seuls 2 points P2 et PZB1 étaient selon le CEA marqués par de l'uranium anthropique (1 à 2 µg/l sur les 6 en B1).

Le représentant de la CRIIRAD a demandé comment le CEA avait établi le rapport isotopique caractéristique de l'uranium anthropique utilisé pour les essais à Vaujours. La question est de savoir en effet si ce chiffre est représentatif de l'historique des tirs et des masses d'uranium mises en œuvre. Un représentant du CEA a répondu que cette estimation a été réalisée à partir de la moyenne des mesures effectuées sur 15 des échantillons les plus actifs récupérés dans les 350 m³ de terre qui comprennent des tirs à l'air libre et des tirs en casemates (sortie par les évents). Dans la mesure où une bonne partie de cet uranium anthropique présentait un rapport isotopique naturel, il n'est pas légitime de considérer que l'obtention d'un rapport isotopique naturel dans les eaux souterraines est la preuve d'une origine naturelle de l'uranium.

Cette question sur la signature isotopique de l'uranium anthropique est importante. Le professeur Guillaumont a d'ailleurs demandé<sup>18</sup> au CEA « ...les valeurs des rapports U5 / U8 pour les uraniums qui ont été tirés sur le site ../..A cet égard il eut été intéressant que la nature des uraniums utilisés dans les expériences figure dans le rapport historique ../...un additif à ce rapport est nécessaire, pour sa complétude, et compte tenu des mesures qui ont été décidées et faites ». Le rapport CEA du 5 juillet 2002 a apporté quelques précisions.

Il a été évoqué par ailleurs lors de la réunion du 14 février 2002 que BURGEAP rechercherait pour la seconde campagne de mesure hydrogéologique une butte voisine du site de Vaujours et de même structure géologique pour y réaliser un dosage de l'uranium dans les eaux souterraines et avoir une « *référence* ».

## 5.3. Estimation des flux passés et futurs d'uranium via les eaux souterraines

Lors de la réunion du groupe technique du 14 février 2002, le représentant de la CRIIRAD a rappelé que la mesure de l'uranium dans l'eau aujourd'hui n'était pas suffisante pour statuer d'une part sur les impacts du passé et d'autre part sur ceux du futur (outre le problème de signature isotopique évoqué ci-dessus).

Il a insisté sur l'importance de modéliser les transferts et de borner les estimations par la recherche de systèmes à mémoire (matière organique, plantes et sédiments de fond de puisard ou de sources proches du site, argiles de la nappe de Brie).

#### Mesures sur les argiles

Dans le cadre de cette demande, monsieur Dever (expert hydrogéologue) a retenu le principe du dosage de l'uranium et la mesure du rapport isotopique par profil fin, au toit des argiles vertes, dans le carottage à l'Eocène. Le représentant de la CRIIRAD a mis en doute la représentativité d'un seul point de contrôle et a demandé, avec le soutien des associations, que les dosages spécifiques de l'uranium soient effectués également dans la partie basse des carottages B1, B2 et B3. Cette demande était d'autant plus légitime que les dosages d'uranium réalisés par SUBATECH dans les carottes montraient un excès d'uranium dans la strate juste au dessus des argiles vertes. Cette demande a finalement été adoptée en réunion, par M Dever<sup>19</sup>.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> E-Mail en date du 6 juin 2002 adressé à monsieur Chiappini / CEA

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> M Pili du CEA a précisé lors de cette réunion que les solides seraient dissous avant analyse et non lixiviés car les ions Uranium sont piégés dans les feuillets de l'argile et ne seraient pas extraits par une simple lixiviation. Le représentant de la CRIIRAD a demandé s'il était possible d'appliquer une dissolution sélective qui séparerait l'uranium endogène strictement naturel de l'uranium apporté, afin d'amplifier le signal. Le Professeur Guillaumont a estimé que cela n'était pas utile étant donné que la mesure du rapport isotopique par le CEA peut permettre de discriminer 5 % d'uranium anthropique dans l'uranium endogène.

Lors de la réunion du 14 février 2002, le représentant de la CRIIRAD a demandé que BURGEAP ne se contente pas d'écrire dans son rapport d'étude « *U cohérent lithologie* » mais donne des références.

Le CEA a distribué en séance une courbe Ra 226 / Th 234 qui montre que R=1 . Ce constat indique que dans les échantillons étudiés, il s'agit a priori d'uranium naturel.

#### Mesure dans d'autres systèmes accumulateurs

Lors de la réunion du 14 février 2002, le représentant de la CRIIRAD a demandé que la recherche de milieux susceptibles d'accumulations soit effectuée également à l'extérieur du site CEA afin d'étudier la migration éventuelle de l'uranium hors de la nappe de Brie.

En effet, puisque, selon les hydrogéologues, les eaux atteignant le gypse par les puits d'infiltration ont dû atteindre la zone des colluvions au sud, le représentant de la CRIIRAD a demandé que des sédiments ou des systèmes concentrateurs y soient recherchés pour analyse. Monsieur Dever (hydrogéologue) a considéré que ces écoulements à faible débit ne pouvaient donner lieu à transfert de particules.

Le représentant de la CRIIRAD a précisé que même si l'on suppose que le transfert n'est que sous forme soluble; à la sortie, dans un puits extérieur ou une source, il peut y avoir précipitation ou un autre mécanisme de piégeage. Monsieur Dever a exclu toute précipitation minérale compte tenu des paramètres de Ph et Eh. Le professeur Guillaumont a considéré comme possibles des phénomènes d'adsorption ou fixation par la matière organique. Les experts ont donc finalement accepté que, lors de la prochaine campagne hydrogéologique, une recherche de limons, algues, ou mousses soit faite en descendant dans un puits.

Monsieur Aubayle (associations) a proposé le puits D. Le représentant de la CRIIRAD a demandé que cette recherche soit effectuée aussi sur une source (par exemple : la source des malades).

L'étude hydrogéologique ne semble pas avoir tenu compte de cette demande (attente rapport final BURGEAP).

En parallèle, les associations ont prélevé des sédiments à la source des malades d'une part et dans un puits de Courtry (puits M Becker). Les analyses de dépistage par spectrométrie gamma effectuées à la CRIIRAD (cf annexe 5), n'ont pas mis en évidence d'anomalies radiologiques sur ces échantillons<sup>20</sup>.

La CRIIRAD recommande cependant que des dosages isotopiques plus fins soient effectués sur ces échantillons ainsi que de nouveaux échantillonnages par carottage afin de déceler un éventuel marquage en uranium ancien.

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Activité du thorium 234 de l'ordre de 24 +/- 17 et 63 +/- 42 Bq/kg sec respectivement dans le puits de Courtry et la source des malades. Le thorium 234 est en équilibre apparent, compte tenu des marges d'incertitude, avec le radium 226 (respectivement 22 +/- 5 et 35 +/- 10 Bq/kg sec).

## 6. RECHERCHE DE POLLUANTS CHIMIQUES NON RADIOACTIFS

La CRIIRAD avait prévu dans son projet initial présenté aux associations en mars 2001, de procéder à quelques mesures de dépistages physico-chimiques sur solides, dans le cadre de l'expertise Vaujours.

Lors de la réunion du 19 novembre 2001, la CRIIRAD a demandé que des mesures de dépistages physicochimiques soient réalisées dans un certain nombre d'échantillons de sols, bioindicateurs atmosphériques et éléments représentatifs du transfert au milieu aquatique (eau, végétaux, sédiments).

Ces mesures devraient permettre de rechercher les principaux métaux lourds, anions et cations et molécules organiques. La CRIIRAD a demandé que le groupe technique vérifie que cette liste élargie, comporte bien les éléments issus d'une liste spécifique des polluants susceptibles de souiller les sols de Vaujours et qui devrait être élaborée sur la base des archives du CEA. Les documents dont la CRIIRAD avait connaissance permettaient de recommander d'ores et déjà des contrôles sur 2 métaux :

- Le **béryllium**. En effet, SALVAREM, lors de la décontamination de 1997 / 1998 a mentionné l'évacuation de fût de déchets contenant du béryllium. Le CEA a précisé que du béryllium était utilisé dans certains hublots. Mais il n'est pas impossible que des « tirs froids » pratiqués à Vaujours aient pu porter sur d'autres éléments des têtes nucléaires, comme le béryllium. Dans ce cas, la dispersion de cet élément sur les sols est à vérifier. Ceci est d'autant plus important que le béryllium et ses composés (surtout l'oxyde de béryllium) sont très toxiques par inhalation (risques de fibroses pulmonaires),
- Le **plomb** puisque des tirs au plomb ont été effectués<sup>21</sup> en 1975 au fort central.

Lors de la réunion du 19 novembre 2001, le professeur Guillaumont a indiqué que la question des éléments chimiques non radioactifs n'était pas explicitement incluse dans la mission qui lui a été confiée. La CRIIRAD a insisté sur l'intérêt que quelques dépistages préliminaires soient effectués. Il ne serait pas acceptable de remettre les terrains dans le domaine public sans avoir au préalable déterminé l'éventualité d'une pollution chimique des sols.

La CRIIRAD a rappelé lors de la réunion du 14 février 2002 que la note de la DGS à l'OPRI en date du 20 janvier 1998 précisait bien : « Il est par ailleurs nécessaire de s'assurer auprès des services concernés au CEA, de l'absence de pollution chimique d'autre nature sur le site ».

#### Position du groupe technique

Cette question a finalement été longuement débattue lors de la réunion du groupe technique du 7 juin 2002. La DRIRE a proposé que des contrôles chimiques soient réalisés dans les sols puis soumis à l'avis d'un expert. La CRIIRAD a fait part de ses réserves quant à la méthode, l'expert devant être sollicité à son avis en amont de manière à proposer lui-même un plan d'échantillonnage (nature des échantillons, localisation, technique de prélèvement) et d'analyse (nature des éléments et molécules à rechercher, et pas seulement les métaux).

Lors de la réunion du groupe technique en date du 3 septembre 2002, le CEA a précisé qu'il lançait un programme de dosage de 9 métaux toxiques (arsenic, béryllium, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc) dans 8 échantillons de sols du fort central.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Extrait du PV du Comité d'Hygiène et de Sécurité tenu au CEV le 6 octobre 1975 in « L'Observatoire des armes nucléaires françaises / cahier N°4 / septembre 2000. »

#### Dépistage métaux dans les mousses

En parallèle au travaux du Groupe Technique, la CRIIRAD a demandé au LDA 26 de réaliser un dépistage des principaux métaux dans les 9 échantillons de mousses terrestres qu'elle a collectés en juin 2001.

Les résultats sont reproduits en annexe 6.

Ces résultats doivent être interprétés avec prudence dans la mesure où il s'agit d'un dépistage semiquantitatif. Ils ne peuvent être utilisés que pour des comparaisons relatives.

Finalement, le CEA a accepté de réaliser un dosage quantitatif de 63 éléments dans ces mousses. Ces résultats ont été remis lors d'une réunion du comité technique, le 18 septembre 2002. Ils n'ont pas été analysés en réunion.

Le texte ci-dessous a été modifié par la CRIIRAD, après comparaison entre les indications données par le dépistage semi-quantitatif et les résultats quantitatifs<sup>22</sup> fournis par le CEA.

S'agissant du site CEA, on peut remarquer :

- Un excès relatif de **sodium** dans l'échantillon FP cuve gaz prélevé à proximité du fort central. (valeur 4 fois supérieure à la moyenne des 3 stations « *environnement proche* »). Le CEA n'ayant pas recherché cet élément, il n'est pas possible de confirmer les résultats du dépistage semi-quantitatif réalisé par le LDA 26.
- Un excès relatif d'étain au niveau des mousses prélevées sur le toit TP 3 dans le fort central (valeur 7 fois supérieure à la moyenne des 3 stations « *environnement proche* »). L'excès d'étain est confirmé par les mesures quantitatives réalisées par le CEA, avec un facteur 7 également.
- Un excès de **zirconium** au niveau des mousses prélevées sur le toit TP 3 dans le fort central (valeur 5 fois supérieure à la moyenne des 3 stations « *environnement proche* »). L'excès de zirconium est confirmé par les mesures quantitatives réalisées par le CEA avec un facteur 5 également.

Le béryllium est détecté par le LDA 26 dans presque tous les échantillons à des teneurs très faibles (< 0,1 à 0,6 mg/kg) considérées par le LDA 26 comme probablement non significatives. Les mesures quantitatives réalisées par le CEA donnent une concentration comprise entre 0,25 et 0,67  $\mu$ g/g (moyenne de 0,39  $\mu$ g/g, écart-type de 34 %). On notera que la concentration la plus importante correspond à la station TP3.

Le plomb est détecté par le LDA 26 dans tous les échantillons (moyenne de 257 mg/kg, écartype de 54 %), mais on n'observe pas de gradient significatif en s'approchant du fort central (la valeur maximale est mesurée à Villeparisis). Ces résultats sont cohérents avec ceux du CEA (moyenne 154  $\mu$ g/kg, écart-type 53 %).

Il ne s'agit pas pour la CRIIRAD d'analyser ici l'ensemble de ces résultats (un tel travail sort du champ de la présente étude). Il est néanmoins souhaitable que ces résultats soient utilisés afin d'orienter de futures recherches dans le domaine de l'étude d'une pollution chimique résiduelle. A cette fin, nous avons regroupé ci-dessous les éléments chimiques analysés, par station où ils présentent les valeurs les plus élevées parmi les 9 stations contrôlées. Les éléments soulignés sont ceux pour lesquels la valeur maximale est de l'ordre de 3 fois supérieure à la moyenne et au delà. On notera que :

1. la station TP3 présente les concentrations les plus élevées pour les éléments suivants : aluminium (mesure CEA et LDA 26), béryllium (mesure CEA), <u>bismuth</u> (mesure CEA et LDA 26), calcium (mesure CEA et LDA 26), cérium (avec OS1, mesure CEA), césium (mesure CEA), <u>étain</u> (mesure CEA et LDA 26), erbium (mesure CEA), europium (mesure CEA), gadolinium (mesure CEA), germanium (mesure CEA), <u>hafnium</u> (mesure CEA), lanthane (mesure CEA), lutétium (mesure CEA), manganèse

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> A partir du dépistage réalisé par le LDA 26, on notait un excès de bore dans l'échantillon FP cuve gaz prélevé à proximité du fort central. A noter que l'excès de bore n'a pas été confirmé par les mesures quantitatives présentées par le CEA lors de la réunion du 18 septembre 2002. En effet, la concentration en bore mesurée à la station FP par le CEA est du même ordre de grandeur que celle du LDA 26, par contre le CEA détecte le bore dans tous les autres échantillons à des niveaux comparables.

(mesure CEA et LDA 26), néodyme (avec OS1, mesure CEA), niobium (avec PB toit fibro, mesure CEA et LDA 26), palladium (mesure CEA), rubidium (mesure CEA), samarium (mesure CEA), scandium (mesure CEA), tellure (mesure CEA), terbium (mesure CEA), thorium (mesure CEA), titane (mesure CEA et LDA 26), ytterbium (mesure CEA), yttrium (mesure CEA et LDA 26), zirconium (mesure CEA et LDA 26).

- 2. la station PB (toit en fibrociment) présente les concentrations les plus élevées pour les éléments suivants : chrome (mesure CEA et LDA 26), cobalt (avec Villeparisis, mesure CEA), magnésium (mesure CEA et LDA 26), nickel (mesure CEA et LDA 26), vanadium (mesure CEA et LDA 26).
- 3. la station RX1 présente les concentrations les plus élevées pour les éléments: phosphore (non mesuré par le CEA) et uranium (mesure CEA).
- 4. La station OS1 présente les concentrations les plus élevées pour les éléments : soufre (non mesuré par le CEA), arsenic (avec Villeparisis, mesure CEA), argent (mesure CEA), cérium (avec TP3, mesure CEA), tungstène (mesure CEA et LDA 26).
- 5. La station LG 3 cheminée présente les concentrations les plus élevées pour les éléments: iridium (mesure CEA), <u>ruthénium</u> (mesure CEA), <u>sélénium</u> (mesure CEA).

Globalement on peut remarquer que les mousses du **cimetière de Villeparisis** présentent les teneurs les plus élevées parmi les 9 stations contrôlées, pour les éléments : antimoine (mesure CEA), arsenic (mesure CEA), baryum (mesure CEA et LDA 26), cadmium, (mesure CEA et LDA 26), cobalt (avec PB, mesure CEA), cuivre (mesure CEA et LDA 26), fer (mesure CEA et LDA 26), molybdène (mesure CEA et LDA 26), plomb (mesure CEA et LDA 26), thallium (mesure CEA) et zinc (mesure CEA et LDA 26). Ce constat ne peut cependant être lié a priori aux activités du CEA dans la mesure où l'on n'observe pas pour ces métaux de gradient en s'approchant du site.

#### Remarques concernant les mesures chimiques réalisées par GEOCLEAN dans les fosses de brûlage

Les prélèvements de terre réalisés le 29 juin 2001 par SUBATECH sur les 30 premiers centimètres des fosses de brûlage, ne concernent que les remblais rajoutés sur les fosses. Les matières résiduelles en fond de fosses n'ont pas été échantillonnées et caractérisées du point de vue radiologique et chimique.

L'aspect chimique doit absolument être étudié compte tenu des activités pratiquées<sup>23</sup> « Les déchets et solvants souillés d'explosifs sont détruits, conformément aux dispositions prévues par la consigne [..] du 17 septembre 1973, sur une aire sise à proximité du bâtiment 64. Ce document détaille les opérations d'élimination du solvant et de brûlage des déchets [....]. Les solvants non souillés ou très peu souillés d'explosifs sont évaporés sur une 2ème aire réservée à cet usage ».

Lors de la réunion du groupe technique du 19 novembre 2001, le CEA a rappelé que dans le cadre de la préparation du « *dossier d'abandon* », il avait confié à la société GEOCLEAN l'étude de la pollution résiduelle en fond de fosses par des substances organiques et métaux, mais qu'a priori, les contrôles n'avaient pas porté sur la radioactivité.

La CRIIRAD a demandé que le CEA fournisse le dossier complet, ainsi qu'une analyse détaillée de la nature de la contamination chimique et éventuellement radiologique des déchets détruits dans ces fosses de brûlage, précise la fréquence des curages et le devenir des résidus. Sur la base de ces informations, une campagne spécifique d'échantillonnage et de mesure devrait être mise en œuvre.

#### Le CEA n'a pas transmis de documentation complémentaire sur ce point.

 $<sup>^{23}</sup>$  Extrait du PV du Comité d'Hygiène et de Sécurité tenu au CEV le 28 septembre 1979 in « L'Observatoire des armes nucléaires françaises / cahier N°4 / septembre 2000. »

Lors de la réunion du groupe technique en date du 7 juin 2002, la CRIIRAD a précisé qu'elle considérait l'étude GEOCLEAN <sup>24</sup>comme insuffisante. Il convient de noter tout d'abord que n'ont été pris en compte dans cette étude que les zones de stockage d'hydrocarbures (8 zones) et la zone d'épandage et de brûlage. Il est nécessaire d'obtenir au préalable un descriptif de toutes les installations du site afin de déterminer quels risques de pollution chimique des sols sont associés à chaque installation.

S'agissant de la zone d'épandage et de brûlage on peut émettre des réserves sur les contrôles effectués. Par exemple, en contrebas de la zone d'épandage le sondage SE 5 révèle à la profondeur 1,6 / 2,4 mètres « la présence d'argile verte avec des dépôts blancs et noirs / forte odeur ». Par contre la strate sous-jacente à la profondeur 2,4 / 2,8 mètres est décrite ainsi : « argile verte avec traces blanches / faible odeur ». C'est la strate 2,4 / 2,8 mètre qui sera soumise à analyse, alors que l'examen visuel suggérait qu'elle était moins contaminée.

Les analyses effectuées par GEOCLEAN révèlent, selon les sondages, la présence de cis 1,2 dichloroéthylène, chloroforme, 1,2-dichloroéthane, 1,1,1-trichloroéthane, trichloréthylène, tétrachlorure de carbone.

Dans les échantillons d'argile SE 3 (profondeur 2,7 mètres) et SE 10 (1,5 / 2,2 mètres) issus de la zone d'épandage est détecté de l'acétate d'éthyl.

Dans le cas de l'échantillon de sable SE4 issu de la zone de brûlage, SE 2 issu de la zone d'épandage et S8 (bassin) ont été détectés du toluène et du chlorobenzène.

Dans l'échantillon issu du regard N°50, le laboratoire note en outre : « présence d'un pic (assez important) qui sort en début de spectre lors de la recherche des OHV. Pourrait être du 11 dichloroéthylène. ».

Dans le sol SE 2 (zone d'épandage) a été détecté en outre du phénol et méthyl phénol/ et dans le sol SE 8 (bassin), du dichlorométhane. Dans ces 2 échantillons, le laboratoire d'analyse note : « composés non identifiés en bibliothèque... ».

Compte tenu des premiers résultats d'analyse chimique effectués sur les mousses terrestres et les sols et étant donné l'insuffisance de l'étude Géoclean, la CRIIRAD considère que la question de la pollution chimique résiduelle du site de Vaujours devra faire l'objet d'expertises complémentaires.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Voir GEOCLEAN / Rapport d'audit du site CEA/ 15 décembre 1997.

### 7. REMARQUES CONCERNANT L'ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE

### 7.1. Stratégie retenue

La CRIIRAD a exprimé ses doutes, lors des réunions des 25 septembre (groupe technique) et 2 octobre 2001 (réunion plénière), sur la stratégie retenue pour la conduite de l'étude épidémiologique. Il s'agit en effet de déterminer si les travailleurs du site de Vaujours ont été affectés, sur le plan sanitaire, par les tirs à l'uranium. Si tel n'est pas le cas, le groupe considère que cela démontrera, a fortiori, que la population, ne peut avoir été affectée. Le principe de cette transposition est très discutable (effet du travailleur en bonne santé, précautions prises par les personnels qualifiés, méconnaissance des effets des faibles doses, etc...).

Il est à craindre par ailleurs que les données disponibles concernant les travailleurs ne permettent pas d'évaluer de façon fiable l'exposition des travailleurs à l'uranium.

### 7.2. Exposition externe

Les données de dosimétrie externe ne permettront pas de déterminer si les personnels ont été exposés à l'uranium, ni à quel degré (à moins que des personnels aient stationné longuement à proximité de déchets à l'uranium ou porté contre le corps des fragments d'uranium).

En effet, les rayonnements alpha et bêta émis par l'uranium et ses descendants ne sont pas détectés par les dosimètres classiques, et le rayonnement X / gamma imputable à l'uranium a probablement été insuffisant pour que la dose cumulée dépasse le seuil de sensibilité des films.

En effet, à 30 centimètres d'un morceau de 300 grammes d'uranium appauvri pur, le débit de dose gamma à la profondeur de 10 mm (dose à la peau), était de  $0.32~\mu Sv/h$  (mesure CRIIRAD / CENG). Un mois de travail complet à 30 cm de cet objet, soit 160 heures (40 heures X 4 semaines), correspond à une dose efficace cumulée de 50 microSieverts, nettement inférieure au seuil de sensibilité des dosifilms actuels (200 microSieverts par mois).

Par contre, l'inhalation de seulement 60 Becquerels d'uranium 238 en équilibre avec ses premiers descendants peut délivrer à un adulte une dose supérieure à 1 000  $\mu$ Sv (dans le cas de la forme physicochimique la plus pénalisante).

## 7.3. Exposition interne

Les données de toxicologie urinaire sont insuffisantes également, pour apprécier les quantités d'uranium réellement ingérées et inhalées par les travailleurs.

En effet, on peut lire dans le PV du Comité d'Hygiène et de sécurité tenu au CEV le 6 octobre 1975 : « Le chef du SMT indique que depuis plus de quinze ans que les recherches d'uranium dans les urines sont effectuées, les résultats n'ont jamais atteint une vingtaine de micro grammes par litre (µg/l) et ce d'une façon erratique, la majorité des prélèvements étant négatifs ».

On peut lire plus loin : «[...] l'uranium s'éliminant rapidement (70 % dans les 24 premières heures) par les urines ou les fécès. Dans le cas d'une contamination chronique importante par inhalation de composés insolubles, la toxicité radiologique devient prépondérante et l'organe critique est le poumon. Les normes professionnelles ont été établies sur ces bases en limitant la quantité inhalée à 2,5 mg en une journée, et la quantité ingérée à 150 mg sur une période de deux jours (décret du 15 mars 1967) ».

Ces documents confirment que les dosages urinaires ne peuvent être fiables que s'ils sont réalisés peu de temps après la contamination, et dans le cas d'une exposition chronique, de façon très régulière.

Lors de la réunion du 2 octobre 2001, le médecin en charge de la conduite de l'étude épidémiologique a répondu à la CRIIRAD que les dosages n'étaient effectués qu'une ou 2 fois par an. Par ailleurs, ni le 25

septembre, ni le 2 octobre, n'ont été données de réponses précises quant à la corrélation entre la quantité d'uranium dans les urines et la quantité initiale inhalée ou ingérée.

L'analyse de l'exposition à l'uranium doit par ailleurs être élargie à celle des autres toxiques chimiques manipulés à Vaujours, car des effets de synergie sont possibles.

La CRIIRAD a recommandé que le groupe procède à l'analyse détaillée des comptes-rendus de réunions du CHST afin de disposer de données qualitatives précieuses sur les polluants présents (radioactifs et chimiques), le degré de dispersion lors des tirs, etc.. Ces données pourront permettre d'affiner à la fois l'expertise de la situation radiologique et chimique du site actuel et l'estimation de l'impact à l'extérieur. Il ne semble pas que le groupe épidémiologie aie pu réaliser son étude avec ces objectifs.

Lors de la réunion du 7 juin, le groupe santé a distribué en séance son rapport final (version provisoire). L'analyse critique détaillée de ce document sort du champ de la mission confiée à la CRIIRAD par les associations.

### ANNEXE 1 : Radiotoxicité de l'uranium par inhalation

Dose efficace par inhalation en fonction de l'âge et du type d'absorption pulmonaire (coeff issus de la directive Euratom 96 / 29)

#### 1 / Uranium 238

	Age	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Classe F	Coeff (Sv/Bq)	1,3E-06	8,2E-07	7,3E-07	7,4E-07	5,0E-07
	Coeff (µSv/Bq)	1,30	0,82	0,73	0,74	0,50
Classe M	Coeff (Sv/Bq)	9,4E-06	5,9E-06	4,0E-06	3,4E-06	2,9E-06
	Coeff (µSv/Bq)	9,40	5,90	4,00	3,40	2,90
Classe S	Coeff (Sv/Bq)	2,5E-05	1,6E-05	1,0E-05	8,7E-06	8,0E-06
•	Coeff (µSv/Bq)	25,00	16,00	10,00	8,70	8,00

#### 2 / Thorium 234

	Age	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Classe F	Coeff (Sv/Bq)	2,5E-08	1,1E-08	6,1E-09	3,5E-09	2,5E-09
	Coeff (µSv/Bq)	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
Classe M	Coeff (Sv/Bq)	2,9E-08	1,5E-08	1,0E-08	7,9E-09	6,6E-09
	Coeff (µSv/Bq)	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Classe S	Coeff (Sv/Bq)	3,1E-08	1,7E-08	1,1E-08	9,1E-09	7,7E-09
	Coeff (µSv/Bq)	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01

Note : le second descendant de l'uranium 238, le protactinium 234<sup>m</sup> n'est pas pris en compte par la directive EURATOM 96/29

#### 3 / Uranium 234

	Age	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Classe F	Coeff (Sv/Bq)	1,4E-06	9,0E-07	8,0E-07	8,2E-07	5,6E-07
	Coeff (µSv/Bq)	1,40	0,90	0,80	0,82	0,56
Classe M	Coeff (Sv/Bq)	1,1E-05	7,0E-06	4,8E-06	4,2E-06	3,5E-06
	Coeff (µSv/Bq)	11,00	7,00	4,80	4,20	3,50
Classe S	Coeff (Sv/Bq)	2,9E-05	1,9E-05	1,2E-05	1,0E-05	9,4E-06
•	Coeff (µSv/Bq)	29,00	19,00	12,00	10,00	9,40

Total pour 1 Becquerel d'uranium 238 à l'équilibre avec le thorium 234 et l'uranium 234

	200400000000000000000000000000000000000			• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
	Age	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Classe F	Coeff (µSv/Bq)	2,73	1,73	1,54	1,56	1,06
Classe M	Coeff (µSv/Bq)	20,43	12,92	8,81	7,61	6,41
Classe S	Coeff (µSv/Bq)	54,03	35,02	22,01	18,71	17,41

#### Masse inhalée correspondant à une dose efficace de 10 microSieverts (activité en uranium 238 de

5000 Bq/kg)

	Age	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	adulte
Classe F	Masse inhalée (g)	0,73	1,16	1,30	1,28	1,88
Classe M	Masse inhalée (g)	0,10	0,15	0,23	0,26	0,31
Classe S	Masse inhalée (g)	0,04	0,06	0,09	0,11	0,11

#### Annexe 2

### Solides prélevés par SUBATECH après décontamination

## RESULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMETRIE GAMMA EFFECTUEES PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Activités exprimées en Becquerels par Kilogramme (Bq/kg)

=				
NATURE	Carottage 0-20	Carottage 0-20	Carottage 0-20	Sol 0-15
Code échantillon	18.06.02.A1	18.06.02.A2	18.06.02.A3	18.06.02.A4
Date de prélèvement	15/05/02	15/05/02	15/05/02	15/05/02
Lieu de prélèvement	Zone CA14 secteur C	Zone CA14 secteur F	Zone CA14 secteur H	Zone RX1 secteur PS5
N° d'analyse	C 20262	C 20263	C 20261	C 20266
Date d'analyse	23/08/02	26/08/02	22/08/02	28/08/02
Temps de comptage (s)	231 170	85 910	81 490	83 707
Géométrie	Petri	Petri	Petri	Petri
Masse analysée (g)	70,64	74,91	74,92	84,18
Taux de matières sèches (%)	NM	NM	NM	NM

Radioactivité naturelle												
Chaîne de l' Uranium 238												
Thorium 234*	107	$\pm$	25	51	$\pm$	21	41	$\pm$	20	30	$\pm$	18
Radium 226**	59	$\pm$	8	49	$\pm$	8	47	$\pm$	8	56	$\pm$	9
Plomb 214	57	$\pm$	8	49	$\pm$	8	47	$\pm$	8	55	$\pm$	8
Bismuth 214	60	$\pm$	9	49	$\pm$	9	46	±	8	53	±	9
Plomb 210*	43	$\pm$	14	41	$\pm$	17	36	$\pm$	15	45	$\pm$	16
Chaîne de l'Uranium 235												
Uranium 235		<	20		<	7		<	8		<	11
Chaîne du Thorium 232												
Actinium 228	24	$\pm$	8	29	$\pm$	10	29	$\pm$	9	18	$\pm$	7
Plomb 212	23	±	4	24	$\pm$	4	36	$\pm$	6	21	$\pm$	4
Thallium 208	8	$\pm$	2	12	$\pm$	3	12	$\pm$	3	9	$\pm$	2
Potassium 40	270	$\pm$	52	333	$\pm$	65	380	±	71	373	$\pm$	67
Beryllium 7		<	4		<	5		<	5		<	5

Radioactivité artificielle											
Césium 137	4,1	±	1,1	<	2,1	1,1	±	0,8	5,3	±	1,5
Césium 134		<	0,5	<	0.7		<	0.7	İ	<	0,6

### <u>Légende</u>:

гef

 $<sup>\</sup>pm$ : marge d'incertitude

<sup>&</sup>lt; : seuil de détection

<sup>\*</sup>: S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

<sup>\*\* :</sup> Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 à l'équilibre.

### Annexe 3 : mesures par spectrométrie gamma dans les mousses terrestres

## RESULTATS DE L'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA DES MOUSSES TERRESTRES\*\* DE VAUJOURS EFFECTUEE PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Code échantillon CRIIRAD	14.08.01.A9	14.08.01.A14	14.08.01.A12	14.08.01.A13	14.08.01.A7	14.08.01.A11	14.08.01.A8	14.08.01.A10
Code échantillon SUBATECH	330	326	333	334	329	332	327	331
Date de prélèvement	29/06/01	29/06/01	29/06/01	28/06/01	28/06/01	28/06/01	28/06/01	28/06/01
Lieu de prélèvement	TP3 toit	RX 1	OS1 toit	LG 3 cheminée	FP cuve gaz	PB toit fibro	Cimetière Vaujours	Cimetière Villeparisis
N° d'analyse	В 19463	В 19469	В 19467	C 19468	C 19466	C 19470	C 19464	В 19471
Date d'analyse	28/08/01	31/08/01	30/08/01	30/08/01	29/08/01	31/08/01	28/08/01	3/09/01
Temps de comptage (s)	85 340	231 232	82 190	82 240	85 900	231 483	85 400	85 077
Géométrie	Petri	Petri	Petri	Petri	Petri	Petri	Petri	Petri
Masse analysée (g)	20,52	21,48	22,37	21,90	14,01	20,06	21,32	19,22

Radioactivité naturelle																								
Chaîne de l' Uranium 238																								
Thorium 234*		<	124	235	$\pm$	58		<	100		<	120		<	83		<	62		<	57		<	102
Plomb 214		<	21		<	18		<	18		<	23		<	33		<	16		<	23		<	25
Bismuth 214		<	20		<	20		<	19		<	17		<	19		<	14		<	14		<	24
Plomb 210*	1953	±	260	1378	±	180	1554	±	211	1253	±	184	924	±	173	1017	±	145	1258	±	184	823	±	139
Chaîne de l'Uranium 235 Uranium 235		<	46		<	16		<	61		<	30		<	72		<	20		<	28		<	27
Chaîne du Thorium 232																								
Actinium 228		<	29		<	17		<	26		<	30		<	42		<	17		<	45		<	27
Plomb 212		<	27		<	13		<	23		<	15		<	21		<	13		<	23		<	16
Thallium 208		<	10		<	4		<	10		<	12		<	9		<	8		<	13		<	9
Potassium 40		<	350		<	240		<	340		<	215		<	330		<	181		<	250		<	230
Beryllium 7	811	±	117	735	±	95	738	±	108	571	±	94	535	±	102	232	±	42	396	±	71	334	±	62

Radioactivité artificielle																								
Césium 137	7,5	±	3,7	62,7	±	9,0	88,8	±	13,7	63,6	±	11,2	30,7	±	8,3	77,6	±	11,1	79,5	±	12,7	36,4	±	7,4
Césium 134		<	1,7		<	1,0		<	1,7		<	2,1		<	3,1		<	1,4		<	2,1		<	1,8
Cobalt 58		<	2,0		<	1,2		<	1,9		<	2,6		<	4,0		<	1,8		<	2,5		<	2,2
Cobalt 60		<	1,4		<	1,0		<	1,3		<	2,2		<	3,2		<	1,3		<	2,2		<	1,6
Manganèse 54		<	1,9		<	1,1		<	1,7		<	2,5		<	3,8		<	1,5		<	2,4		<	2,1
Antimoine 125		<	5,0		<	3,0		<	4,9		<	6,2		<	9,4		<	4,0		<	6,2		<	5,5
Iode 131		<	6,3		<	4,8		<	7,0		<	9,0		<	12,4		<	6,2		<	7,5		<	11,0
Cérium 144		<	10,7		<	6,1		<	9,8		<	11,8		<	17,9		<	7,8		<	12,1		<	11,4
Argent 110m		<	1,8		<	1,1		<	1,8		<	2,3		<	3,5		<	1,4		<	2,3		<	1,9
Américium 241*		<	2,8		<	1,6	19,4	±	5,5		<	2,7		<	4,0		<	1,8		<	2,7		<	2,9
Iode 129*		<	2,4		<	1,4		<	2,4		<	2,9		<	4,4		<	1,9		<	2,9		<	2,5
Ruthénium 106		<	16,9		<	10,2		<	15,7		<	20,8		<	32,1		<	13,8		<	22,0		<	18,4

- ± : marge d'incertitude < : seuil de détection
- \* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

  \*\*: Grimmia pulvinata.

Annexe 4 : mesures de tritium réalisées par le CEA dans les eaux souterraines

	Teneur en tritium CEA (Bq/I)						
- 1	nov-01	Avril-Mai 2002	Evolution 2002 / 2001				
Eaux de ruissellemer	nt						
Puits P2	2,2	2,2	1,0				
Puits P9	2,3	1,9	0,8				
Nappe du Brie							
PZ B1	7,7	2,2	0,3				
PZ B2	2,3	3,5	1,5				
PZ B3	2,0	2,6	1,3				
PZ B4	4,8	3,2	0,7				
PZ B5	2,6	2,1	0,8				
PZ B6	3,3	2,1	0,6				
PZ B7	2,4	1,5	0,6				
Source des Malades	2,5	2,2	0,9				
Source J	3,7	4,9	1,3				
Nappe des Colluvion							
Puits L	2,1	3,9	1,9				
Puits D	2,0	3,9	2,0				
Puits K	10,0	5,5	0,6				
Nappe Eocène supérieur							
PZ 3 France Déchet	< 2,7	1,2	OK				
Puits Cagnet	3,4	2,7	0,8				

## Annexe 5 : mesures par spectrométrie gamma dans des sédiments Sédiments prélevés par les associations locales

## RESULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMETRIE GAMMA EFFECTUEES PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Activités exprimées en Becquerels par Kilogramme sec (Bq/kg sec)

NATURE	Sédiment	Terre
Code échantillon	12.03.02.C1	22.04.02.A1
Date de prélèvement	10/03/02	avr-02
	Source des	Fond puits Monsieur
Lieu de prélèvement	malades/Vaujours	BECKER
N° d'analyse	C 20039	C 20145
Date d'analyse	15/03/02	17/05/02
Temps de comptage (s)	27370	345330
Géométrie	Petri	Petri
Masse analysée (g)	47,54	62,38
Taux de matières sèches (%)	40,40%	67,60%

Radioactivité naturelle						
Chaîne de l' Uranium 238						
Thorium 234*	63	$\pm$	42	24	$\pm$	17
Radium 226**	35	±	10	22	±	5
Plomb 214	30	±	10	24	±	4
Bismuth 214	40	$\pm$	11	20	$\pm$	5
Plomb 210*	72	±	34	64	±	17
Chaîne de l'Uranium 235						
Uranium 235		<	18		<	4
Chaîne du Thorium 232						
Actinium 228	35	$\pm$	16	20	$\pm$	7
Plomb 212	29	$\pm$	8	6	$\pm$	2
Bismuth 212		<	4		<	3
Thallium 208	9	±	4	7	±	2
Potassium 40	483	$\pm$	126	278	±	54
Beryllium 7	20	±	18		<	3

Radioactivité artificielle						
Césium 137	7,3	±	3,5	11,3	±	2,0
Césium 134		<	1,6		<	0,4

#### Légende :

± : marge d'incertitude

< : seuil de détection

<sup>\* :</sup> S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

<sup>\*\*:</sup> Le Radium 226 est estimé à partir de ses descendants Plomb 214 et Bismuth 214 (délai de mise à l'équilibre non respecté).

## DEPISTAGES CHIMIQUES - BILAN QUALITATIF DES METAUX MOUSSES TERRESTRES DE VAUJOURS MESURES EFFECTUEES POUR LA CRIIRAD PAR LE LDA 26

		Fort Central	
Code échantillon CRIIRAD	14.08.01.A9	14.08.01.A14	14.08.01.A12
Code échantillon SUBATECH	330	326	333
Date de prélèvement	29/06/01	29/06/01	29/06/01
Lieu de prélèvement	TP3 toit	RX 1	OS1 toit
N° d'analyse	485 913	485 895	485 916

C:BRUNO) Etudes BC EN COURS (2002) Vaujours 2001 \(\) Analyses des mousses \(\) Chimie LDA2 \(\) Résultats LDA après correction erreur par le LDA/[Résultats mousses CRIIRAD suite mail castillo 020916.xls] Mousses Environnement proche

g/kg	mg/kg		
Ag	1,9	2	0
Al	8,2	4,8	6,6
As	0	0	0
В	0	0	0
Ва	73,6	52	115
Ве	0,5	0,2	0,3
Bi	22,1	0	0
Ca	31,9	21,4	21,6
Cd	2,7	2,5	3
Ce	0	0	0
Co	3	2	3,3
Cr	16,7	12	15,2
Cu	88	64,6	87,2
Fe	7,3	4,5	6,7
Ga	0	11	0
Gd	0	0	3,9
In	0	0	1,7
К	3,06	3,2	2,44
La	8,6	5	11,3
Li	9,1	6,5	10,2
Mg	3,4	1,6	2,4
Mn	322	174	303
Mo	2,6	2	2,6
Na	696	425	519
Nb	4,2	2,5	3
Nd	0	0	0
Ni	23,6	13,8	24,8
Р	843	1530	1310
Pb	292	147	287
Pd	0	6,6	0
S	2230	2460	2940
Sb	0	0	0
Se	0	0	0
Sm	0	0	0
Sn	42,1	15	5,8
Sr	122	102	103
Та	0	0	8,2
Th	0	7	0
Ti	338	151	313
V	28,6	19,5	23,8
W	9	10	37,9
Y	10,6	4,5	9,6
Zn	356	195	311
Zr	25,1	5,5	8,8

<sup>\*</sup> CA14 fort central

Elément détecté dans tous les échantillons

Forte variabilité spatiale valeurs proches du seuil de detection

Note: Les éléments suivants n'ont été détectés dans aucun échantillon: Au, Ge, Hf, Pr, Pt, Re, Ru, Te, TI, U.

## DEPISTAGES CHIMIQUES - BILAN QUALITATIF DES METAUX MOUSSES TERRESTRES DE VAUJOURS MESURES EFFECTUEES POUR LA CRIIRAD PAR LE LDA 26

	Proximité Fort Central						
Code échantillon CRIIRAD	14.08.01.A13	14.08.01.A7	14.08.01.A11				
Code échantillon SUBATECH	334	329	332				
Date de prélèvement	28/06/01	28/06/01	28/06/01				
Lieu de prélèvement	LG 3 cheminée*	FP cuve gaz	PB toit fibro				
N° d'analyse	485 917	485 912	485 915				

C\BRUNO\Etudes BC EN COURS (2002)\Vaujours 2001\Analyses des mousses\Chimie LDA26\Résultats LDA après correction erreur par le LDA\[Résultats mousses\CRIIRAD suite mail castillo 020916.xls]\Mousses Environnement proche

g/kg			
Ag	0	0	0
Al	7	2	4,3
As	8,7	0	0
В	0	17,1	0
Ва	79,4	57,8	67,6
Ве	0,6	<0,1	0,4
Bi	0	0	0
Ca	26,7	15,4	23,5
Cd	2,2	2,6	2,8
Се	0	0	0
Co	1,8	0	3,1
Cr	11	5,5	23,8
Cu	40,3	38,3	69
Fe	4,4	2,2	5,6
Ga	0	0	0
Gd	3,4	0	3
In	1,7	1,2	0
K	2,7	3	1,8
La	5	2	4,4
Li	14,6	3	3,3
Mg	1,9	1	5,4
Mn	215	110	161
Мо	2,2	2,1	2,7
Na	825	3400	935
Nb	3,7	1	4
Nd	0	11	0
Ni	14,1	5,5	43,6
Р	1140	1150	624
Pb	165	126	284
Pd	0	0	0
S	2470	1880	2250
Sb	0	0	12,5
Se	0	0	0
Sm	0	0	5,6
Sn	7,4	0	10,2
Sr	132	99,2	80
Та	0	0	11
Th	0	9	0
Ti	226	63	197
V	26,1	12,3	40
W	6,3	0	0
Y	6,1	2,7	4,5
Zn	219	212	292
Zr	10	2	9,2

<sup>\*</sup> CA14 fort central

Elément détecté dans tous les échantillons

Forte variabilité spatiale

valeurs proches du seuil de detection

Note: Les éléments suivants n'ont été détectés dans aucun échantillon: Au, Ge, Hf, Pr, Pt, Re, Ru, Te, Tl,

ref

31

## DEPISTAGES CHIMIQUES - BILAN QUALITATIF DES METAUX MOUSSES TERRESTRES DE VAUJOURS MESURES EFFECTUEES POUR LA CRIIRAD PAR LE LDA 26

	Environnement proche					
Code échantillon CRIIRAD	14.08.01.A8	14.08.01.A10	14.08.01A6			
Code échantillon SUBATECH	327	331	328			
Date de prélèvement	28/06/01	28/06/01	28/06/01			
Lieu de prélèvement	Cimetière Vaujours	Cimetière Villeparisis	Cimetière Courtry			
N° d'analyse	485 910	485 914	485 911			

C:BRUNO Etudes BC EN COURS (2002)/Vaujours 2001/Analyses des mousses/Chimie LDA26/Résultats LDA après correction erreur par le LDAI/Résultats mousses/CRIIRAD suite mail castillo 020916.xls]/Mousses Environnement proche

g/kg			
Ag	0	1,8	0
Al	4,4	5,3	4,3
As	0	7	6,5
В	0	0	0
Ва	70	139	62,9
Ве	0,2	0,3	0,2
Bi	0	0	0
Ca	20,8	29	19,9
Cd	2,4	3,8	1,8
Се	0	15,5	0
Co	2	4	1,5
Cr	12	22,2	10,8
Cu	61,6	165	54,2
Fe	3,7	9,2	4,2
Ga	0	0	0
Gd	2,3	2,7	3
In	0	0	1,6
K	1,8	1,7	2,05
La	3,7	7,2	3,3
Li	13,9	11,6	11,1
Mg	1,5	3,1	1,5
Mn	137	257	140
Мо	2	3,3	2
Na	963	344	1140
Nb	2,6	3	3
Nd	0	8,8	0
Ni	11,5	17,4	10,4
Р	777	811	862
Pb	203	588	222
Pd	0	0	0
S	1950	2000	1960
Sb	0	0	11,5
Se	0	10,3	0
Sm	0	4,2	4,5
Sn	4,4	7,5	5,1
Sr	88,8	109	115
Та	0	0	0
Th	6	8	0
Ti	114	202	108
V	17	22,3	21,3
W	6	9,5	5,6
Y	4	6,2	3,7
Zn	306	625	267
Zr	5	5,3	4,7

<sup>\*</sup> CA14 fort central

Elément détecté dans tous les échantillons

Forte variabilité spatiale

valeurs proches du seuil de detection

Note : Les éléments suivants n'ont été détectés dans aucun

ref

32

Document CRIIRAD	_	