

## CRIIRAD

Commission de Recherche  
et d'Information Indépendantes  
sur la Radioactivité

Site : [www.criirad.org](http://www.criirad.org)  
Tel : + 33 (0)4 75 41 82 50  
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48  
E-mail : [contact@criirad.org](mailto:contact@criirad.org)

Valence le 18 avril 2006.

Madame Chantal  
Cuisnier  
Association Sortir du  
Nucléaire Cornouaille  
8 allée J.Y. Leventes  
29 000 Quimper

### Note CRIIRAD N°06-30 / Avril 2006 / Version V2<sup>1</sup>

## Résultats et interprétation des analyses radiologiques d'eau et de plantes en aval de la centrale de Brennilis / SMA (Site des Monts d'Arrée)

### 1 / Prélèvement et traitement des échantillons

#### Objectifs

Monsieur Olivier Marc, de l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille, a demandé au laboratoire de la CRIIRAD d'établir une proposition pour la réalisation de contrôles radiologiques autour de la centrale nucléaire de Brennilis (en cours de démantèlement).

La réalisation d'un bilan radiologique approfondi nécessiterait la réalisation de dizaines de prélèvements et de nombreuses analyses en laboratoire (émetteurs gamma, tritium et carbone 14, autres émetteurs bêta purs, émetteurs alpha purs).

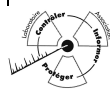
Par courrier en date du 13 février 2006, la CRIIRAD recommandait que les prélèvements portent en priorité sur les eaux de la nappe phréatique et des sédiments et plantes aquatiques en amont et en aval des rejets, avec des analyses par spectrométrie gamma et le dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 dans les 2 plantes aquatiques.

Compte tenu des limites budgétaires, il a été décidé finalement de réaliser un contrôle radiologique très préliminaire portant sur :

- La mesure de l'activité du **tritium des eaux douces de surface** en aval du rejet supposé de Brennilis.
- La mesure de l'activité des radionucléides artificiels et naturels émetteurs gamma dans les **plantes aquatiques**, en aval proche du point de rejet.

Il convient de noter qu'aucun rejet liquide ne semble autorisé pendant la phase de déconstruction. Ces analyses, bien que très limitées, devaient donner un premier éclairage sur le respect ou non de cette prescription.

<sup>1</sup> La version initiale de cette note (18 avril 2006) a été mise à jour le 27 novembre 2006, sous forme de notes de bas de page supplémentaires, et d'une annexe supplémentaire, compte tenu d'analyses complémentaires effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD en juin 2006 et d'une lettre adressée le 23 novembre 2006 par M. Dubuis, Chef d'Aménagement du Site des Monts d'Arrée, à la CRIIRAD et à l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille, suite à une demande du 12 septembre 2006.



## Prélèvement

Suite à un entretien téléphonique en date du 21 mars 2006 avec monsieur Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD, madame Chantal Cuisnier, membre de l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille a effectué des prélèvements, **le 22 mars 2006**, dans un ru entre environ 50 et 100 mètres en contrebas de la station de traitement des effluents de la Centrale des Monts d'Arrée (Brennilis). Ce ru a peu de pente et un faible débit et se jette au niveau d'un pont, 500 mètres plus en aval, dans l'Ellez.

Il s'agit d'un échantillon d'eau (500 ml en flaconnage plastique) et d'environ 800 grammes de mousses collectées entre 0 et 20 centimètres au dessus du niveau d'eau du ru qui était au moment du prélèvement, à un niveau bas, compte tenu des faibles précipitations dans la semaine précédent le prélèvement.

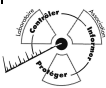
## Traitement

A réception au laboratoire de la CRIIRAD les échantillons ont subi le traitement suivant :

- **Eau** : décantation puis distillation pour dosage du tritium sur 10 ml de distillat en flaconnage plastique mélangé à 10 ml de liquide scintillant. Comptage T260 du 29 au 30 mars 2006.
- **Mousses aquatiques** : tri manuel (écorces, terre, cailloux), rinçage complémentaire, essorage, dessiccation en étuve à 50 °C et conditionnement de 42 grammes secs en géométrie Marinelli pour analyse par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD.



Localisation des prélèvements du 22 mars 2006



## 2 / Dosage du tritium sur les eaux

L'activité du tritium dans l'eau douce prélevée le 22 mars 2006 en contrebas de la station de traitement des eaux de la centrale est inférieure à la limite de détection (**< 2,5 Bq/l**).

Cette analyse permet simplement d'affirmer qu'il n'y a pas eu de rejet<sup>2</sup> tritié au moment du prélèvement.

Il est indispensable, pour un travail plus approfondi, de **procéder au dosage du tritium organiquement lié** dans les plantes aquatiques.

En effet, le tritium organiquement lié est susceptible d'une certaine accumulation dans les végétaux et peut renseigner sur des rejets antérieurs de plusieurs semaines (et bien au-delà) au moment du prélèvement<sup>3</sup>.

Cette recherche n'a pu être effectuée ici pour des raisons budgétaires.

Il ne fait pas de doute que l'environnement terrestre et aquatique d'une centrale nucléaire, et en particulier d'une centrale à eau lourde présente une contamination en tritium.

Ceci est d'ailleurs attesté dans le cas de Brennilis par la campagne de mesure **2002** de l'IRSN.

L'activité du **tritium organiquement lié** est exprimée en becquerels par litre d'eau de combustion. On notera :

- **Mille fois plus de tritium organiquement lié** dans les **sédiments** de l'Ellez (2 520 Bq/l)<sup>4</sup>, en aval immédiat de la centrale, qu'en amont (2 Bq/l),
- présence de tritium dans les **plantes aquatiques** en aval (81 Bq/l, alors qu'il n'est pas détecté en amont : < 1,4 Bq/l)),
- activité du tritium près de 10 fois supérieure dans les **poissons** (brochet) en aval (17,1 Bq/l) par rapport à l'amont (1,82 Bq/l).

On notera par ailleurs que des mesures effectuées en **1980** dans l'Ellez en aval de la centrale montraient une **contamination en tritium organiquement lié** des **truites** (5 402 Bq/l), **vairons** (2331 Bq/l) et **algues** (jusqu'à 68 450 Bq/l).

<sup>2</sup> Par courrier en date du 23 novembre 2006, EDF a précisé à la CRIIRAD : « la zone prospectée correspond à l'ancien chenal de rejet de la STE (Station de Traitement des Effluents). Il est également à noter qu'aucun rejet liquide d'effluents radioactifs n'est effectué par le SMA depuis 1992 ».

Il semble que des rejets soient effectués désormais vers le lac Saint-michel.

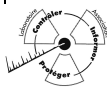
En effet, le sous-préfet de Chateaulin a adressé à l'association Sortir du Nucléaire Cornouaille, par courrier en date du 8 novembre 2006, copies des arrêtés préfectoraux du 9 septembre 2002 et 3 août 2005.

Le premier arrêté autorise le « rabattement » de la nappe phréatique sous le bâtiment du combustible irradié (BCI). Les eaux pompées sont rejetées dans l'Ellez. Les analyses radiologiques de ces eaux portent sur les « émetteurs bêta et gamma (en particulier le cobalt 60) » et « le tritium ».

Le second arrêté remplace les mots « avant rejet dans l'Ellez » par « avant rejet dans le lac Saint-Michel ». Cette situation devra être clarifiée auprès de l'administration. Il sera nécessaire de disposer des résultats des contrôles radiologiques des eaux de nappe prescrits par l'arrêté de 2002.

<sup>3</sup> La CRIIRAD a pu mettre en évidence, en 2005, l'impact de la dispersion de tritium lors des essais nucléaires en Polynésie (années 60-70), à partir du dosage du tritium organiquement lié dans un tronc de cocotier.

<sup>4</sup> Sous réserve de recherches plus approfondies sur la configuration du point de rejet, il est probable que les sédiments du ru qui se jette dans l'Ellez et prend son origine à proximité de la STE aient été bien plus contaminés. La même observation vaut pour la faune et la flore aquatique.



## ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

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

NATURE	Mousse aquatique
Code CRIIRAD	240306A2
Date de prélèvement	22/03/2006
Préleveur	Sortir du Nuc. Cornouaille
Lieu de prélèvement	ruisseau 50 à 100 m contrebas STE centrale de Brennilis
N° d'analyse	C 22197
Date d'analyse	29/03/2006
Temps de comptage (s)	86 480
Géométrie	Marinelli
Masse sèche analysée (g)	42,55
Taux de matières sèches (%)	14,1%

### Radioactivité naturelle

<b>Chaîne de l' Uranium 238</b>			
Thorium 234*	déteçté	<	242
Plomb 214	61	±	18
Bismuth 214	46	±	12
Plomb 210*	1 056	±	153
<b>Chaîne de l'Uranium 235</b>			
<b>Uranium 235</b>		<	25
Protactinium 231		<	65
Thorium 227	176	±	47
Radium 223	202	±	75
Radon 219	149	±	59
Plomb 211	189	±	82
<b>Chaîne du Thorium 232</b>			
Actinium 228	48	±	19
Plomb 212	28	±	9
Thallium 208	11	±	5
Potassium 40	455	±	99
Beryllium 7	252	±	53

### Radioactivité artificielle

Césium 137	504	±	59
Césium 134		<	1,3
Cobalt 58		<	1,6
Cobalt 60	294	±	36,8
Argent 108m	7,6	±	3,5
Manganèse 54		<	1,7
Antimoine 125		<	4,6
Iode 131		<	2,6
Cérium 144		<	7,6
Argent 110m		<	1,6
Américium 241*		<	2,2
Iode 129*		<	3,0
Ruthénium 106		<	13,4

Légende :

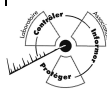
± : Marge d'incertitude  
< : Limite de détection

\* : 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.

**Bruno CHAREYRON**  
Responsable du laboratoire

**Stéphane PATRIGEON**  
Technicien de laboratoire

0



### 3 / Résultats des analyses des plantes aquatiques par spectrométrie gamma

Le résultat détaillé de l'analyse par spectrométrie gamma N°22197 du **29 mars 2006** est reproduit page ci-contre.

#### 3.1 Radionucléides émetteurs gamma artificiels

Deux radionucléides artificiels émetteurs gamma présentent une activité très supérieure aux limites de détection. Il s'agit :

- du **césium 137**, produit de fission, émetteur bêta-gamma de période physique égale à **30 ans**. Son activité est de **504 Bq/kg sec**.
- du **cobalt 60**, produit d'activation émetteur bêta-gamma de période physique égale à **5,27 ans**. Son activité est de **294 Bq/kg sec**.

#### Ces activités témoignent d'une contamination incontestable.

La présence du cobalt 60 atteste de l'impact, passé ou actuel, de la centrale.

La présence du césium 137 est plus difficile à interpréter étant donné ses différentes origines possibles (la centrale, mais aussi le reliquat des essais nucléaires des années 50/60 et des retombées de Tchernobyl de 1986).

Compte tenu des résultats des mesures de césium 137 effectuées par la CRIIRAD en de nombreuses régions de France sur des plantes aquatiques, et de la présence du cobalt 60, on peut affirmer qu'une part importante du césium 137 détecté ici est imputable au fonctionnement, passé ou présent, de la centrale.

Le spectre gamma de l'échantillon suggère en outre la présence **d'argent 108<sup>m</sup>**, radionucléide émetteur gamma de période physique égale à **127 ans**.

Sa présence est hautement probable dans la mesure où l'on détecte ses raies gamma à 433,9 keV (90,5 %), 614,3 keV (89,8 %) et 722,9 keV (90,8 %). Les raies gamma sont de faible intensité sur le spectre. Les activités calculées à partir des 3 raies sont donc entachées d'une forte incertitude, mais donnent des résultats cohérents : 8,2 +/- 3,7 Bq/kg sec, 7,1 +/- 3,2 Bq/kg sec et 4,9 +/- 2,8 Bq/kg sec.

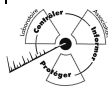
La « Table of Radioactive Isotopes » de Browne et Firestone précise que l'argent 108<sup>m</sup> est produit par activation neutronique de l'argent 107 stable.

Sa présence est en outre attestée dans les combustibles issus de la filière de réacteurs à eau lourde CANDU au Canada, en tant que produit d'activation d'impuretés contenues dans le combustible (activité supérieure au million de becquerels par kilogramme de combustible usé), mais aussi en tant que produit d'activation du Zircaloy 4 et comme produit issu de réactions de fission. Il est donc probable qu'il soit présent dans les effluents de la centrale à eau lourde de Brennilis.

#### Comparaison avec les résultats d'autres laboratoires

L'activité en **césium 137** mesurée par la CRIIRAD, en mars 2006, dans les mousses aquatiques en contrebas de la station de traitement est plus de **30 fois supérieure** aux valeurs mesurées dans des mousses aquatiques de la rivière Ellez, en aval proche de la centrale :

- par l'**IRSN** à l'été 2002 (5,9 Bq/kg sec) et
- par l'**ACRO** en octobre 2001 (5,5 Bq/kg sec) et février 2003 (16,3 Bq/kg sec).



L'activité en **cobalt 60** mesurée par la CRIIRAD, en mars 2006, dans les mousses aquatiques en contrebas de la station de traitement est plus de **5 fois supérieure** aux valeurs mesurées dans des mousses aquatiques de la rivière Ellez, en aval proche de la centrale :

- par l'**IRSN** à l'été 2002 (26,8 Bq/kg sec) et
- par l'**ACRO** en octobre 2001 (18,7 Bq/kg sec) et février 2003 (58 Bq/kg sec).

Il est difficile de comparer strictement ces résultats en l'absence de précisions sur les espèces de mousses échantillonnées et surtout sur les localisations exactes.

Il est en effet important de souligner que les échantillons analysés par l'IRSN et l'ACRO ont été prélevés dans la rivière Ellez et non dans le ru situé directement en pied de station de traitement. Ceci expliquerait l'écart sur les résultats.

### 3.2 Radionucléides émetteurs gamma « naturels »

Les chaînes de désintégration sont reportées en [annexe](#).

#### Chaîne de l'uranium 238

L'activité des radionucléides naturels émetteurs gamma de la chaîne de l'uranium 238 est comprise entre 46 Bq/kg sec (bismuth 214) et **1 056 Bq/kg sec** (plomb 210).

Une analyse à l'équilibre (21 jours minimum après conditionnement de l'échantillon) sera effectuée<sup>5</sup> afin de vérifier l'activité du **radium 226**.

L'activité du **plomb 210** est relativement élevée. Il convient de rappeler que le plomb 210 présente une très forte radiotoxicité par ingestion (coefficient de dose supérieur à celui du plutonium 238, cf. [annexe](#)).

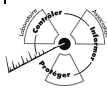
Il est très probable, par ailleurs, que le plomb 210 soit associé à son descendant, le polonium 210. Ce dernier n'est pas détectable par spectrométrie gamma. Il est très fortement radiotoxique par ingestion.

Il n'est pas possible sur la base d'une seule analyse de déterminer si cet excès de plomb 210 est strictement naturel. Il faudrait disposer pour cela de mesures sur des plantes de même nature collectées en amont.

Curieusement ce radionucléide ne fait pas partie de ceux que mesure l'ACRO - cf mesures effectuées par l'**ACRO** en octobre 2001 et février 2003 sur des mousses aquatiques collectées dans l'Ellez en aval de la centrale - alors qu'il s'agit d'un émetteur gamma, certes de basse énergie (46,5 keV), mais très important en radio écologie et radioprotection.

Ce radionucléide n'apparaît pas non plus dans le document présenté par l'**IRSN** le 14 novembre 2003 à l'Observatoire du démantèlement de la centrale de Brennilis (à noter que ce document s'apparente à la reproduction d'un diaporama. Il faudrait disposer du rapport d'étude complet pour pouvoir se prononcer).

<sup>5</sup> Cette analyse effectuée au laboratoire de la CRIIRAD le 7 juin 2006 a permis de déterminer que l'activité du radium 226, dosé à l'équilibre sur ses 2 descendants plomb 214 et bismuth 214, est de 127 Bq/kg sec (voir annexe).





## Chaîne de l'uranium 235

L'activité de certains radionucléides émetteurs gamma de la **chaîne de l'uranium 235** est **anormalement élevée**.

Les têtes de série (uranium 235 et protactinium 231) ne présentent pas une activité supérieure à la limite de détection (< 65 Bq/kg sec).

Par contre les descendants émetteurs gamma, à partir du **thorium 227** (émetteur alpha et gamma de période égale à 18,7 jours) sont tous détectés avec une activité que l'on peut considérer comme équivalente, compte tenu des marges d'incertitude (de **149 Bq/kg sec pour le radon 219 à 202 Bq/kg sec pour le radium 223**).

Le déséquilibre marqué uranium 235 / thorium 227 et, surtout, les niveaux d'activité relevés sur le thorium 227 et ses descendants sont étonnants.

Cette situation mérite des recherches complémentaires.

Il est en particulier nécessaire de déterminer si le père du thorium 227, **l'actinium 227** est présent. Ce radionucléide émetteur bêta de période longue (**21,8 ans**), ne peut être détecté par spectrométrie gamma. Or il s'agit d'un radionucléide **de très forte radiotoxicité** tant par ingestion que par inhalation. Son coefficient de dose par inhalation peut être 5 fois supérieur à celui du plutonium 238 (cf. [annexe](#)).

Pour vérifier la présence de l'actinium 227, l'échantillon sera recompté<sup>6</sup> dans quelques mois. Cette analyse différée sera prise en charge par la CRIIRAD sur ses fonds propres. Si l'activité du thorium 227 diminue de façon sensible, c'est qu'il existe un déséquilibre avec son père l'actinium 227, si l'activité reste constante, c'est que l'actinium 227 est bien présent, à un niveau d'activité équivalent à celui du thorium 227, et que la contamination de l'environnement sera plus durable. En effet la période physique de l'actinium 227 est de 21,8 ans contre 18,7 jours pour le thorium 227.

Les analyses effectuées par **l'ACRO** sur des mousses aquatiques collectées dans l'Ellez en aval de la centrale faisaient apparaître également un excès de **radium 223** en octobre 2001 (209 Bq/kg sec). A noter que ce radionucléide n'était plus détecté à la même station en février 2003 (limite de détection non publiée), mais l'était sur l'échantillon de mars 2003 collecté plus en aval (115 Bq/kg).

Par contre pour l'ACRO, l'activité du thorium 227 est toujours inférieure à la limite de détection (< 18 et < 25 Bq/kg), pour des activités en radium 223 de, respectivement, 115 et 209 Bq/kg sec.

C'est une différence majeure avec les résultats de la CRIIRAD qui mesure ces 2 radionucléides à des niveaux d'activité comparables. Ces différences devront être réexaminées à la lumière du comptage différé évoqué ci-dessus.

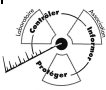
Le document présenté par **l'IRSN** le 14 novembre 2003 à l'Observatoire du démantèlement de la centrale de Brennilis ne fait pas état des résultats concernant la chaîne de l'uranium 235 dans les végétaux aquatiques.

Ce résultat négatif peut traduire un problème de métrologie (radionucléide présent mais non identifié par l'IRSN). Si par contre les résultats de l'IRSN sont fiables, cela signifie que la contamination varie de façon marquée dans le temps.

Dans cette perspective il serait intéressant que les associations demandent à l'IRSN s'il est possible de disposer des échantillons de 2002 afin de procéder à un comptage de vérification.

Dans tous les cas, des investigations complémentaires sont nécessaires pour déterminer si l'excès de thorium 227 et descendants peut être imputé aux opérations réalisées sur la centrale.

<sup>6</sup> Cette analyse effectuée au laboratoire de la CRIIRAD le 7 juin 2006 a permis de confirmer la présence de l'actinium 227 compte tenu de la non décroissance significative de son premier descendant le thorium 227 (le thorium 227, s'il était seul, sans régénération par son père l'actinium 227, aurait dû décroître d'un facteur 13 en 70 jours). (voir annexe).



### Autres radionucléides

L'activité des radionucléides naturels émetteurs gamma de la chaîne du **thorium 232** est comprise entre 11 Bq/kg sec (thallium 208) et 48 Bq/kg sec (actinium 228).

L'activité du **potassium 40** est de 455 Bq/kg sec.

L'activité du **béryllium 7** est de 252 Bq/kg sec. Il s'agit d'un radionucléide naturel cosmogénique classiquement rencontré dans les plantes aquatiques.

En l'absence de stations de référence qui permettraient des comparaisons, ces valeurs n'appellent pas de commentaires particuliers.

## 4 / Recommandations

Ces résultats préliminaires montrent qu'il existe une **contamination résiduelle par des radionucléides artificiels émetteurs gamma dans les plantes aquatiques** prélevées en contrebas de la station de traitement des effluents de la centrale de Brennilis.

Sur la base des documents en notre possession, il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'une contamination induite par les rejets liquides de l'installation, ou par l'aquifère de surface qui pourrait être contaminé par des fuites, voire par les retombées des rejets atmosphériques de l'installation.

La question est alors de savoir s'il s'agit d'une contamination ancienne ou en partie liée au démantèlement.

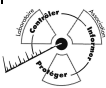
L'excès d'activité de certains radionucléides de la chaîne de l'uranium 235 pose également question.

Il serait utile d'interroger l'exploitant et les services de contrôle sur les rejets récents de l'installation et de procéder à une analyse critique de la documentation officielle existante.

La réalisation d'une mission complémentaire de contrôles et d'échantillonnages sur le terrain est évidemment recommandée pour répondre à certaines des questions posées par ces premiers résultats et remédier aux lacunes des études précédentes.

Le laboratoire de la CRIIRAD vous remercie de la confiance que vous avez bien voulu lui accorder et reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Bruno Chareyron  
Ingénieur en physique nucléaire  
Responsable du laboratoire



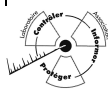


# CHAINE RADIOACTIVE

## Famille de l'Uranium 238

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Uranium 238	$\alpha$	4,5 $10^9$ ans
<b>Thorium 234</b>	$\beta$	<b>24 jours</b>
<b>Protactinium 234</b>	$\beta$	<b>1,2 minutes.</b>
Uranium 234	$\alpha$	2,5 $10^5$ ans
<b>Thorium 230</b>	$\alpha$	<b>7,5 <math>10^4</math> ans</b>
<b>Radium 226</b>	$\alpha$	<b>1,6 <math>10^3</math> ans</b>
Radon 222	$\alpha$	3,8 jours
Polonium 218	$\alpha$	3 minutes
<b>Plomb 214</b>	$\beta$	<b>27 minutes</b>
<b>Bismuth 214</b>	$\beta$	<b>20 minutes</b>
Polonium 214	$\alpha$	1,6 $10^{-4}$ secondes
<b>Plomb 210</b>	$\beta$	<b>22,3 ans</b>
Bismuth 210	$\beta$	5 jours
Polonium 210	$\alpha$	138,5 jours
Plomb 206		Stable

Les radioéléments en gras sont analysés en spectrométrie gamma.

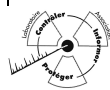


## CHAINE RADIOACTIVE

### Famille de l'Uranium 235

Radioéléments	Mode de désintégration	Période radioactive
<b>Uranium 235</b>	$\alpha$	<b>7 10<sup>8</sup> ans</b>
Thorium 231	$\beta$	25,6 heures
Protactinium 231	$\alpha$	3,3 10 <sup>4</sup> ans.
Actinium 227	$\beta$	21,8 ans
<b>Thorium 227</b>	$\alpha$	<b>18,7 jours</b>
<b>Radium 223</b>	$\alpha$	<b>11,4 jours</b>
<b>Radon 219</b>	$\alpha$	<b>3,9 secondes</b>
Polonium 215	$\alpha$	1,8 10 <sup>-3</sup> secondes
<b>Plomb 211</b>	$\beta$	<b>36 minutes</b>
Bismuth 211	$\alpha$	2,2 minutes
Thallium 207	$\beta$	4,8 minutes
Plomb 207		Stable

Les radioéléments en gras sont analysés en spectrométrie gamma.

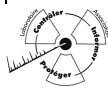


## CHAINE RADIOACTIVE

### Famille du thorium 232

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Thorium 232	$\alpha$	$1,4 \cdot 10^{10}$ ans
Radium 228	$\beta$	5,8 ans
<b>Actinium 228</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>6,1 heures</b>
Thorium 228	$\alpha$	1,9 an
Radium 224	$\alpha$	3,7 jours
Radon 220	$\alpha$	55,6 secondes
Polonium 216	$\alpha$	0,15 secondes
<b>Plomb 212</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>10,6 heures</b>
<b>Bismuth 212</b>	<b><math>\alpha \beta</math></b>	<b>1 heure</b>
<b>Thallium 208</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>3 minutes</b>
Polonium 212	$\alpha$	$3 \cdot 10^{-7}$ secondes
Plomb 208		Stable

Les radioéléments en gras dans les tableaux sont analysés en spectrométrie gamma



## ANNEXE 12 / VIF

**COEFFICIENTS DE DOSE (EFFICACE ENGAGEE) EN MICROSIEVERT ( $\mu$ Sv)  
PAR BECQUEREL INCORPORE POUR UNE PERSONNE ADULTE DU PUBLIC**

(Facteurs issus de la directive 96/29 EURATOM du conseil du 13 mai 1996, tableaux A et B, Annexe 3 )

Radionucléide	Chaîne de l' URANIUM 238 (14 isotopes)		
	Ingestion	Inhalation (min)	Inhalation (max)
Uranium 238	4,5 E-2	0,5	8
Thorium 234	3,4 E-3	2,5 E-3	7,7 E-3
Protactinium 234 m		.	
Uranium 234	4,9 E-2	0,56	9,4
Thorium 230	0,21	14	100
Radium 226	0,28	0,36	9,5
Radon 222			
Polonium 218			
Plomb 214	1,4 E-4	2,8 E-3	1,5 E-2
Bismuth 214	1,1 E-4	7,1 E-3	1,4 E-2
Polonium 214			
Plomb 210	0,69	0,9	5,6
Bismuth 210	1,3 E-3	1,1 E-3	9,3 E-2
Polonium 210	1,2	0,61	4,3

Radionucléide	Chaîne de l' URANIUM 235 (11 isotopes)		
	Ingestion	Inhalation (min)	Inhalation (max)
Uranium 235	4,7 E-2	0,52	8,5
Thorium 231	3,4 E-4	7,8 E-5	3,3 E-4
Protactinium 231	0,71	34	140
Actinium 227	1,1	72	550
Thorium 227	8,8 E-3	0,67	10
Radium 223	0,1	0,12	8,7
Radon 219			
Polonium 215			
Plomb 211	1,8 E-4	3,9 E-3	1,2 E-2
Bismuth 211			
Thallium 207			

Radionucléide	Chaîne du THORIUM 232 (11 isotopes)		
	Ingestion	Inhalation (min)	Inhalation (max)
Thorium 232	0,23	25	110
Radium 228	0,69	0,9	16
Actinium 228	4,3 E-4	1,6 E-2	2,5 E-2
Thorium 228	7,2 E-2	29	40
Radium 224	6,5 E-2	7,5 E-2	3,4
Radon 220			
Polonium 216			
Plomb 212	6 E-3	1,8 E-2	0,19
Bismuth 212	2,6 E-4	9,1 E-3	3,1 E-2
Thallium 208			
Polonium 212			

Radionucléide	Ingestion	Inhalation (min)	Inhalation (max)
Potassium 40	6,2 E-3	2,1 E-3	
Césium 137	1,3 E-2	4,6 E-3	3,9 E-2
Plutonium 238	0,23	16	110

**CRII-RAD**

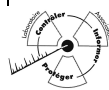
Le Cime

471 av. Victor Hugo

26000 VALENCE FRANCE

☎ 04 75 41 82 50 - Fax 04 75 81 26 48

A12VIF/ICLI/090697



Laboratoire de la CRIIRAD / Résultats des Analyses par Spectrométrie Gamma /  
Note 060621 V1 du 21 Juin 2006

Mousse aquatique en contrebas STE Brennilis prélevée le 22 mars 2006 par Sortir du Nucléaire Cornouaille  
Etude de l'équilibre Ra 226-Plomb-Bismuth 214 et Actinium 227-Thorium 227

	Comptage N°1 Hors Equilibre Ra 226	Comptage N°2 Après 70 jours <sup>(1)</sup>
NATURE	Mousse aquatique	Mousse aquatique
Code CRIIRAD	240306A2	240306A2
Date de prélèvement	22/03/2006	22/03/2006
Préleveur	Sortir du Nuc. Cornouaille	Sortir du Nuc. Cornouaille
Lieu de prélèvement	ruisseau 50 à 100 m contrebas STE centrale de Brennilis	ruisseau 50 à 100 m contrebas STE centrale de Brennilis
N° d'analyse	C 22197	B 22302
Date d'analyse	29/03/2006	07/06/2006
Temps de comptage (s)	86 480	62 428
Géométrie	Marinelli	Marinelli
Masse sèche analysée (g)	42,55	42,55
Taux de matières sèches (%)	14,1%	14,1%

Radioactivité naturelle

Période	Chaîne de l' Uranium 238		
24 jours	Thorium 234*	175 ± 68	147 ± 49
1600 ans	Radium 226 <sup>(2)</sup>	NM	127 ± 29
27 minutes	Plomb 214	61 ± 18	134 ± 25
20 minutes	Bismuth 214	46 ± 12	120 ± 20
22,3 ans	Plomb 210*	1 056 ± 153	956 ± 142
	Chaîne de l'Uranium 235		
700 millions d'an.	Uranium 235	< 25	< 20
33 000 ans	Protactinium 231	< 65	< 68
21,8 ans	Actinium 227	Non mesurable en spectro. gamma	
18,7 jours	Thorium 227	176 ± 47	127 ± 38
11,4 jours	Radium 223	202 ± 75	119 ± 61
3,9 secondes	Radon 219	149 ± 59	189 ± 49
36 minutes	Plomb 211	189 ± 82	185 ± 86
	Chaîne du Thorium 232		
	Actinium 228	48 ± 19	50 ± 16
	Plomb 212	28 ± 9	25 ± 6
	Thallium 208	11 ± 5	11 ± 4
	Potassium 40	455 ± 99	452 ± 115
	Béryllium 7 <sup>(3)</sup>	252 ± 53	270 ± 88

Ecart 2/1	Commentaire
0,8	RAS
2,2	Mise à l'équilibre
2,6	Mise à l'équilibre
0,9	RAS
0,7	RAS
0,6	RAS
1,3	RAS
1,0	RAS
1,0	RAS
0,9	RAS
1,0	RAS
1,1	RAS

Radioactivité artificielle

30 ans	Césium 137	504 ± 59	464 ± 55
	Césium 134	< 1,3	
	Cobalt 58	< 1,6	
5,27 ans	Cobalt 60	294 ± 37	247 ± 32
127 ans	Argent 108m <sup>(4)</sup>	7,6 ± 3,5	7,0 ± 3,0
	Manganèse 54	< 1,7	
	Antimoine 125	< 4,6	
	Iode 131	< 2,6	
	Cérium 144	< 7,6	
	Argent 110m	< 1,6	
	Américium 241*	< 2,2	
	Iode 129*	< 3,0	
	Ruthénium 106	< 13,4	

0,9	RAS
0,8	RAS
0,9	RAS

Conclusion : aux marges d'incertitudes près, les résultats obtenus sur les 2 comptages sont cohérents. Confirmation contamination en césium 137, cobalt 60 et argent108m.

+/- indique la marge d'incertitude

< indique que l'activité est inférieure à la limite 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.

Remarques concernant la métrologie :

- (1) Il n'a pas été possible de recompter l'échantillon sur le même détecteur que lors du premier comptage (détecteur C), suite à une panne d'ordinateur. A défaut, le comptage a été effectué sur le détecteur B. Cela ne doit pas introduire de différences significative sur les résultats obtenus.
- (2) L'activité du radium 226 est calculée à partir de la valeur moyenne des activités du plomb 214 et du bismuth 214 à l'équilibre, soit au moins 21 jours après conditionnement de l'échantillon. Lors du premier comptage l'équilibre n'était pas atteint (comptage le lendemain du conditionnement). L'activité du plomb 214 est déterminée pour cet échantillon sur sa raie à 295 keV.
- (3) L'activité du béryllium 7 obtenue lors du second comptage a été ramenée à la date du premier comptage en tenant compte de la décroissance du radionucléide (T = 53 jours), soit un facteur multiplicatif de 2,5 pour un délai écoulé de 70 jours.
- (4) L'activité de l'argent 108m est calculée sur ses raies à 433,9 keV et 722,9 keV.

Rappel : le laboratoire de la CRIIRAD est agréé pour la mesure des radionucléides émetteurs gamma d'énergie supérieure à 100 keV et inférieure à 100 keV dans les matrices biologiques, cf "Arrêté du 24 février 2006 fixant la liste des laboratoires agréés par le ministre chargé de l'environnement et par le ministre chargé de la santé pour les mesures de la radioactivité de l'environnement."

**Conclusion : Présence confirmée de l'actinium 227 compte tenu de la non décroissance significative de son premier descendant le thorium 227 (Le thorium 227, s'il était seul sans régénération par son père l'actinium 227, aurait dû décroître d'un facteur 13 en 70 jours).**

Bruno CHAREYRON  
Responsable du laboratoire

Stéphane PATRIGEON  
Technicien de laboratoire

