



CRIIRAD

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

Site : www.criirad.org
Tel : + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48
E-mail : laboratoire@criirad.org

Note CRIIRAD N°14-26 / 22 avril 2014

Analyses radiologiques de solides prélevés sur des sites de prospection d'uranium à Poli au Cameroun et à Teubang au Tchad¹

1 / Contexte

L'exploration d'uranium est conduite dans la partie Nord du Cameroun par la société canadienne Mega Uranium. Elle se déploie depuis 2006 sur les sites de Poli, de Lolodorf et de Teubang. Cette société possède au Cameroun des concessions sur une surface de 4 654 km². Les résultats des prospections ont montré un potentiel important en ce qui concerne l'uranium et d'autres matières comme l'argent, le zirconium, le molybdène et le lithium.

La phase d'exploration a été interrompue en mars 2013, par manque de moyens financiers, couplé à une chute des cours de l'uranium en conséquence de la catastrophe de Fukushima.

Mega Uranium a remis à plus tard ses projets d'exploration uranifère. Pendant cette trêve, monsieur Bayang s'est rendu sur les sites pour la 3^{ème} fois afin d'effectuer des mesures radiométriques et des prélèvements.

A Poli, afin de disposer d'informations sur les conditions dans lesquelles les travailleurs vivaient, il a choisi d'examiner certains des déchets entreposés sur les fondations d'un mur d'habitation des employés dans le camp résidentiel de Mega Uranium, sachant que les ouvriers y restaient 8 à 12 heures par jour.

A Teubang, il a souhaité avoir une idée de la composition des déchets provenant du creusage des « plateformes » de forage. Il faut souligner que la plupart de ces « plateformes » ont été implantées dans des champs de cultures vivrières. Les eaux de ruissellement ont entraîné des déchets qui se sont répandus dans les champs ou dans les cours d'eau. Ces eaux servent très souvent à des usages domestiques.

Les mesures sur le terrain ont été effectuées avec un compteur Geiger Radex. Cet appareil permet de mesurer le débit de dose gamma ambiant à 1 mètre du sol (exprimé en microSieverts par heure : $\mu\text{Sv/h}$) et d'effectuer une estimation des taux de radiation bêta-gamma au contact des matériaux.

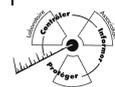
Monsieur David Bayang a demandé au laboratoire de la CRIIRAD d'effectuer des analyses en laboratoire sur 3 échantillons.

- Des déchets d'activité de prospection d'uranium à Poli (Cameroun)
- Des roches naturelles et des déchets issus d'activité de forage à Teubang (Tchad).

Les mesures du taux de radiation *in situ* et la description des échantillons figurent au paragraphe 2 ci-après, rédigé à partir des informations et documents fournis par M. Bayang.

Les résultats des mesures radiométriques et des analyses par spectrométrie gamma effectuées au laboratoire de la CRIIRAD (France) sont reportés au paragraphe 3 et les principales recommandations aux paragraphes 4 et 5.

¹ Les échantillons ont été prélevés sur les sites par monsieur David Bayang (Coordinateur adjoint du Service National Justice et Paix de la Conférence Episcopale du Cameroun). 1



2 / Mesures radiométriques *in situ* et prélèvement des échantillons

2-1 / POLI 1

Il s'agit de roches radioactives issues des activités de traitement des carottages dans le cadre des prospections dans la zone de Poli. Elles ont été collectées dans le camp mis en place pour les ouvriers en charge de ces traitements. De 2006 à 2013, la base de prospecteurs de Poli employait plus de 200 personnes.

Monsieur Bayang a effectué plusieurs missions sur place depuis 2006.

Sur la photographie ci-dessous prise en 2008 on voit des ouvriers qui procèdent au sciage des carottages.

Les solides radioactifs ont été prélevés **le 12 mai 2013** au pied du mur extérieur du bâtiment visible sur cette photographie.

Le choix de cet échantillon était lié à un taux de radiation bêta-gamma élevé mesuré au contact des matériaux (plus de 9,99 $\mu\text{Sv/h}$ mesuré avec un RADEX pour un bruit de fond naturel estimé à 0,3 $\mu\text{Sv/h}$)

Photo : zone de sciage des carottages à POLI. L'échantillon a été prélevé au pied du mur du bâtiment (date : 2008)



Actuellement ce camp n'est plus occupé que par un gardien, les activités de prospection étant à l'arrêt.

2-2 / TEUBANG 1

Il s'agit d'un échantillon de roche naturelle détachée en **janvier 2014** avec un marteau sur un monticule naturel présentant un fort niveau de radiation.

Au contact des roches en place comme à 1 mètre de hauteur, le niveau de radiation conduisait à une saturation du RADEX (plus de 9,99 $\mu\text{Sv/h}$).

A 2,5 mètres de hauteur, le débit de dose gamma était encore de 2,28 $\mu\text{Sv/h}$ (RADEX).

Photos P1 : Echantillon Teubang 1 (novembre 2013).



2-3 / TEUBANG 2.

Il s'agit de matière minérale échantillonnée en **janvier 2014** au pied d'un tube de sondage métallique référencé **TG 001**.

Photo P2 : forage TG 001 au pied duquel a été prélevé l'échantillon TEUBANG 2 (photo de janvier 2014)



Localement, ces zones de sondage sont appelées « plateformes ». Il existe dans le secteur une centaine de points de forage « disséminés dans les villages et dans les champs des cultures vivrières ». Ces forages ont été effectués dans les années 2010-2011.

Les niveaux de radiation dans le secteur sont le plus souvent supérieurs à 1 $\mu\text{Sv/h}$ au contact du sol.

Des contrôles radiométriques préliminaires effectués par monsieur Bayang en juillet 2013 au contact du sol au droit de 5 de ces têtes de forage avaient indiqué une radioactivité particulièrement élevée au voisinage du sondage TG 001 (valeur RADEX de 2,0 $\mu\text{Sv/h}$).

Selon monsieur Bayang, les villageois récupèrent le métal qui peut être arraché aux tubages ou au couvercle des tubages pour fabriquer des houes.

Lors des forages, les matières minérales et la boue sont remontées en surface. Ces matériaux sont repérables par une couleur différente de celle du terrain naturel d'origine (voir en bas à droite de la photographie P3 ci-dessous). Lorsque le sondage atteint les zones présentant les minéralisations uranifères, les matériaux remontés peuvent présenter une radioactivité supérieure au niveau naturel de base.

**Photo P3 : nombreux points de forage dans le secteur de TEUBANG
(photo de janvier 2014)**



3 / Résultats des analyses au laboratoire de la CRIIRAD

Traitement des échantillons et mesures radiométriques

Les échantillons ont été remis par monsieur Bayang au laboratoire de la CRIIRAD, le 14 mars 2014. Ils ont été pris en charge par monsieur Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD et Mme Jocelyne Ribouet, technicienne de laboratoire. Les échantillons ont subi le traitement suivant :

- Mesures radiométriques : mesure du flux de rayonnement gamma au contact (scintillomètre SPP2 et DG5), mesure du débit de dose gamma $H^*(10)$ au contact (compteur proportionnel compensé en énergie LB123D de marque Berthold), mesures du débit de dose à la peau ($H_p 0.07$) au moyen d'un dosimètre électronique EPD, mesures du taux de radiation bêta-gamma avec un RADEX RD 1503, de même type que celui utilisé par monsieur Bayang. Les résultats sont reproduits dans le tableau T1 page suivante, dans les sections A (mesures au contact), B (mesures à 20 centimètres) et C (mesures à 50 centimètres).
- Entre les différentes phases de traitement, les échantillons ont été entreposés dans un caisson plombé dans un local *ad hoc* (ventilation, porte fermant à clef).
- Les conditions de traitement ont été adaptées afin de garantir la protection des intervenants du laboratoire de la CRIIRAD (travail sous hotte ventilée, port d'un masque, blouse, gants, réalisation de frottis de contrôle, récupération des déchets souillés, etc.).

T1 / Résultats des mesures radiométriques au laboratoire de la CRIIRAD

Grandeur mesurée (unité)	Appareil utilisé	Bruit de fond naturel au laboratoire CRIIRAD	Description échantillon et code CRIIRAD		
			Poli 1 (village de Domboulko) / déchets au pied d'une case proche de la zone de sciage des carottages	Teubang 1 (minerai naturel)	Teubang 2 / déchets au pied de la plateforme de forage TG001
			140314A3	140314A1	140314A2
A / Mesures radiométriques au contact de l'échantillon					
Flux de photons gamma mesuré avec un scintillomètre (c/s)	SPP2	35	3 000	1 400	135
Flux de photons gamma mesuré avec un scintillomètre (c/s)	DG5	52	3 000	650	240
Débit de dose gamma (H*10) (µSv/h)	LB123D	0,076	6,17	2,62	0,29
Débit de dose bêta-gamma (µSv/h)*	RADEX RD 1503	0,1	saturé > 9,99	saturé > 9,99	0,79
Débit de dose à la peau H 0.07 (µSv/h)	EPD Mk 2.3	0,07	75,4	81	4,6
Taux de comptage alpha-bêta-gamma mesuré avec un contaminomètre (c/s) / valeur max.	MCB2	0,8	1 574	724	26
B / Mesures radiométriques à 20 cm de l'échantillon					
Débit de dose gamma (H*10) (µSv/h)	LB123D	0,076	0,43	0,18	0,10
Débit de dose bêta-gamma (µSv/h)*	RADEX RD 1503	0,1	1,36	0,59	0,14
C / Mesures radiométriques à 50 cm de l'échantillon					
Débit de dose gamma (H*10) (µSv/h)	LB123D	0,076	0,14	0,11	0,1
Débit de dose bêta-gamma (µSv/h)*	RADEX RD 1503	0,1	0,37	0,19	0,1

* Attention : dans le cas d'une mesure au contact ou à proximité de l'échantillon, compte tenu de la composante bêta, la valeur obtenue avec le RADEX n'est plus un débit de dose en profondeur H*(10) et ne peut être utilisée pour un calcul d'exposition au corps entier.

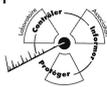
Les résultats reportés dans le tableau T1 ci-dessus montrent que les débits de dose gamma au contact des échantillons peuvent être significatifs, avec des valeurs de plusieurs microSieverts par heure.

Les doses subies par les personnes qui se trouvent à proximité de ces matériaux sont d'autant plus élevées que les personnes sont proches des matières radioactives et l'exposition cumulée est d'autant plus élevée que le temps de présence est long.

Par exemple, au contact des déchets de sciage prélevés à Poli dans le camp des entreprises de prospection on mesure plus de 6 µSv/h soit une valeur plus de 80 fois supérieure au niveau naturel du laboratoire. A 20 centimètres, le débit de dose gamma est encore plus de 5 fois supérieur à la normale, et il faut s'éloigner de plus de 50 centimètres pour retomber à un niveau comparable au bruit de fond. Le fait que ces déchets restent en place au pied des habitations indique un non respect du principe d'optimisation de la protection (principe ALARA), en effet, les radiations ionisantes émises par ces matériaux entraînent une exposition externe des travailleurs qui résident dans ce camp. Cette exposition induit un risque non négligeable même pour des temps de présence limités. Ces déchets peuvent entraîner en outre une contamination interne par ingestion et par inhalation de radon et de poussières.

Analyses par spectrométrie gamma

Une fraction des échantillons (< 100 grammes) a été broyée et conditionnée en géométrie de type boîte de Pétri pour analyse par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD, à l'exception de l'échantillon Poli 1 dont une partie de la minéralisation uranifère a été conditionnée en Petite Boîte de Pétri dans une géométrie étalonnée en « source ponctuelle » (0,4 grammes).



Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) pour les analyses de **sols** : émetteurs gamma d'énergie supérieure à 100 keV, uranium et descendants, thorium et descendants, radium 226 et descendants, radium 228 et descendants.

Les chaînes de désintégration de l'uranium 238 et 235 sont reportées en [Annexe 1](#).

Les résultats des analyses par spectrométrie gamma sont reproduits dans le tableau T2 ci-dessous.

T2 / résultats des analyses par spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD

Description échantillon et code CRIIRAD			
	Poli 1 (village de Domboulko) / déchets au pied d'une case proche de la zone de sciage des carottages	Teubang 1 (minerai naturel)	Teubang 2 / déchets au pied de la plate-forme de forage TG001
	140314A3	140314A1	140314A2
Masse analysée (grammes)	0,40	95,50	82,86
Numéro de comptage	C 27705	C 27702	C 27699
Date comptage	04/04/2014	03/04/2014	02/04/2014
Uranium 238 (Bq/kg)	2 000 000	140 000	4000
Uranium 235 (Bq/kg)	92 000	6 400	184
Thorium 232 (Bq/kg)	< 800	< 120	110

Dans le tableau ci-dessus, l'uranium 238 est évalué à partir de l'activité des émetteurs gamma suivants : thorium 234, protactinium 234^m, thorium 230, radium 226, plomb 214, bismuth 214, plomb 210.

Dans le tableau ci-dessus, l'uranium 235 est évalué à partir de l'activité des émetteurs gamma suivants : uranium 235, protactinium 231, thorium 227, radium 223, radon 219, plomb 211.

Niveaux élevés d'uranium 238, uranium 235 et leurs descendants

Dans l'écorce terrestre, l'activité massique moyenne de l'uranium 238 est de 40 Bq/kg sec. Dans les roches granitiques elle est couramment de l'ordre de 200 Bq/kg.

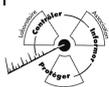
Dans les 3 échantillons analysés l'activité massique de l'uranium 238 et de chacun de ses descendants est nettement plus élevée puisqu'elle va de **4 000 Bq/kg** (déchets de forage à Teubang) à **2 millions de Bq/kg** (minéralisation sur des déchets de sciage des carottages à Poli).

L'analyse en laboratoire montre que les radionucléides des chaînes de désintégration de l'uranium 238 et de l'uranium 235 sont à l'équilibre (aux marges d'incertitude près).

L'activité totale des matériaux est donc plus de 14 fois supérieure à celle de l'uranium 238. Comme indiqué en annexe 1, la chaîne de désintégration de l'uranium 238 comporte en effet 14 produits radioactifs : de l'uranium en passant par le radium 226 et aboutissant au plomb 206 stable.

Aux risques liés à l'irradiation externe, il faut ajouter les risques de contamination interne par inhalation et ingestion de substances radioactives.

La présence de ces matériaux dans la biosphère peut conduire à une augmentation de la concentration en gaz radioactif (radon 222) et en poussières radioactives dans l'air ambiant et à une augmentation des risques de pollution des eaux de surface et / ou souterraines et de la chaîne alimentaire par entraînement de particules radioactives.



Parmi les descendants radioactifs de l'uranium présents dans les matériaux échantillonnés à Poli et Teubang, certains sont très radiotoxiques, comme le thorium 230 qui est aussi radiotoxique que le plutonium 239 par inhalation (à quantités de becquerels incorporés égales, sachant que les activités spécifiques sont très différentes), ou encore le polonium 210 qui est plus radiotoxique que le plutonium 239 par ingestion.

Or les activités massiques de ces substances sont respectivement de **4 000 Bq/kg** pour les déchets de forage à Teubang et de **2 millions de Bq/kg** pour la minéralisation sur des déchets de sciage des carottages à Poli.

4 / Recommandations pour limiter les risques liés à la radioactivité naturelle (hors impact de l'exploration)

4-1 La radioactivité naturelle n'est pas inoffensive

Même lorsqu'elle est naturelle, la radioactivité n'est pas inoffensive. Il est établi par exemple depuis quelques années au niveau international, qu'il existe une corrélation significative entre le taux de décès par cancer du poumon et la dose liée à l'inhalation du radon, ce gaz radioactif associé à l'uranium. Les autorités retiennent une relation entre le risque et la dose linéaire, sans seuil, et les études épidémiologiques montrent que le risque apparaît pour des expositions prolongées même à de très faibles doses (100 – 200 Bq/m³) correspondant à quelques milliSieverts par an.

C'est pourquoi, afin de limiter les risques sanitaires liés à la radioactivité naturelle, certains Etats ont mis en oeuvre une réglementation *ad hoc* et ont engagé des actions concrètes (surveillance de l'accumulation du radon dans l'habitat, réglementation sur la radioactivité naturelle des matériaux de construction).

En ce qui concerne la limitation de l'exposition des populations des zones uranifères à la radioactivité strictement naturelle, il nous semble pertinent de formuler un certain nombre de recommandations.

4-2 Identification des indices uranifères et information des populations

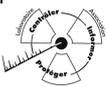
Il est utile qu'une information soit donnée aux populations sur l'existence des indices **uranifères** c'est-à-dire des secteurs où les zones minéralisées affleurent à la surface comme dans le cas de l'échantillon Teubang 1. Il faut en effet éviter que les habitants ne restent inutilement à proximité de ces zones irradiantes, voire utilisent ces matériaux pour des usages domestiques (construction par exemple). Compte tenu des débits de dose mesurés sur le terrain (débit de dose de 2,28 µSv/h à 2,5 mètres de distance sur le site Teubang 1), une présence cumulée de quelques heures sur l'année à proximité de cette minéralisation représenterait en effet une exposition externe supérieure à 10 microSieverts, valeur que la directive Euratom de mai 96 retenait² comme seuil entre « exposition négligeable et non négligeable ».

Afin de faciliter le repérage des zones à risques, Il est souhaitable que les compagnies qui effectuent des relevés radiométriques mettent à disposition des populations et des autorités locales leurs cartographies afin de vérifier s'il existe d'autres lieux où les minerais radioactifs affleurent à la surface.

Il faut également encourager le travail de **cartographie radiométrique** indépendante tel que celui initié par le Service National Justice et Paix.

La connaissance de ces données permettra aux autorités de prendre les mesures de protection adaptées, si d'autres indices uranifères sont détectés en surface.

² Dans la directive Euratom 96/29, cette valeur de 10 µSv par an s'applique à l'analyse de l'impact des pratiques ou activités nucléaires et pas à la gestion des risques liés à la radioactivité naturelle. Nous mentionnons cette valeur ici à titre de comparaison.



4-3 Vérification des taux de radon dans l'habitat

Outre l'exposition externe aux rayonnements gamma, une autre voie d'exposition des populations à la radioactivité naturelle est **l'inhalation d'un gaz radioactif, le radon**, qui émane des sols et matériaux de construction contenant de l'uranium, et est susceptible de s'accumuler dans des habitats confinés.

De ce point de vue, Il serait utile que des mesures de radon soient effectuées à Poli et Teubang. Ces mesures devraient porter en priorité sur les villages proches des zones uranifères.

4-4 Suivi de la qualité des eaux et des denrées alimentaires

En ce qui concerne les **eaux consommées et les denrées alimentaires**, il serait utile de vérifier les niveaux de radioactivité compte tenu des risques de concentrations élevées en uranium et ses descendants (thorium 230, radium 226, radon 222, plomb 210, polonium 210, etc.).

Des conseils devraient être donnés afin d'éviter les activités de culture ou d'élevage sur des terrains présentant un niveau de radioactivité élevé, compte tenu des risques de transfert de radionucléides aux cultures et au bétail (transfert racinaire, dépôt de radionucléides sur les feuillages, etc.).

5 / Recommandations pour limiter les risques liés aux activités de prospection

5-1 Nécessité de prendre conscience de l'impact des activités de prospection

Sur le secteur de Teubang, il convient de s'interroger sur l'impact de la centaine de trous de forage réalisés.

La réalisation de sondages-forages en profondeur est en effet susceptible de modifier la circulation des eaux souterraines et de mettre en contact des eaux peu radioactives avec des roches chargées en uranium et autres métaux lourds radioactifs.

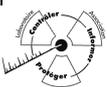
L'uranium est associé à 13 autres substances radioactives (12 métaux lourds radioactifs et un gaz radioactif) dont certaines sont parmi les plus radiotoxiques par ingestion (plomb 210, polonium 210).

Par ailleurs, les sondages sont susceptibles de faire remonter en surface des **eaux contaminées**³ sur le plan radiologique et chimique ainsi que des **matières radioactives solides** (boues, carottes) comme l'a montré l'analyse de l'échantillon Teubang 2.

La réalisation de ces opérations devrait donc faire l'objet **d'études préalables** permettant de décrire les caractéristiques hydrographiques, hydrogéologiques et géochimiques du secteur et d'anticiper les conséquences des forages.

Les matériaux radioactifs remontés à la surface devraient en outre être stockés sur des sites *ad hoc* et non pas laissés en surface compte tenu des risques d'exposition externe des populations riveraines et de contamination des cultures et du bétail.

³ Dans le cas d'activités de forage à Faléa, au Mali, des eaux se sont écoulées bien après la fin des travaux. La population indique que le bétail a bu cette eau et que 3 **bêtes** sont **décédées**. Cette affaire montre en tout cas que certains forages atteignent bien les nappes d'eau puisque sous l'effet de la pression hydrostatique, elles s'écoulent naturellement à la surface. Or, ces eaux peuvent être très chargées en métaux lourds radioactifs et autres substances chimiques.





5-2 Nécessité d'améliorer le cadre réglementaire et les contrôles par les services de l'Etat

Il est donc important de vérifier le niveau d'information des autorités compétentes sur ces problématiques et de faire évoluer le cadre réglementaire et les moyens de contrôle par les services de l'Etat.

Il serait souhaitable que les conventions entre l'entreprise détentrice du permis d'exploration d'uranium et l'Etat soient rendues publiques afin que puisse être vérifiée l'existence de prescriptions en matière de protection de l'environnement, comme par exemple :

- La réalisation d'une **étude hydrologique et hydrogéologique** (point zéro) et d'une étude sur l'impact des opérations de forage-sondage.
- La description des techniques de forages mises en œuvre et des **précautions envisagées** pour limiter les risques de pollution des eaux souterraines et de surface, sécuriser les trous de sondage, gérer les effluents liquides et les déchets solides générés par les opérations.
- Le détail de la composition exacte des substances utilisées par les compagnies de forage comme adjuvants à l'eau injectée ainsi que la réalisation - sur des échantillons représentatifs des différents types de forages - de **mesures radiologiques et chimiques complètes**.

5-3 Nécessité de réaliser des contrôles réguliers sur le terrain

Il est nécessaire que les autorités compétentes puissent réaliser des contrôles lors de la réalisation des forages de prospection et veiller à ce que les sociétés minières effectuent un nombre suffisant de contrôles :

- Contrôles visuels afin de vérifier comment sont gérées les eaux issues du forage et comment est étanchéifié le tubage à l'issue de la réalisation du sondage.
- Contrôles, au moyen d'un radiamètre, du taux de radiation sur les boues de forage (et si possible sur les carottes extraites).
- Contrôles de la concentration en radon dans l'air ambiant à quelques mètres de la foreuse lors de la réalisation des trous.
- Echantillonnage de l'eau issue du forage pour analyses des paramètres chimiques (anions et cations, métaux lourds, hydrocarbures, etc..) et radiologiques (indices d'activité alpha et bêta globale, radon 222 dissous, uranium, radium 226, plomb 210 et polonium 210).

Il est important également de soutenir les processus de formation **des ONG et des citoyens** afin qu'ils puissent participer activement à ces activités de surveillance.

5-4 Amélioration de l'information et de la radioprotection des personnels

Il est nécessaire de **déterminer les doses de radiation** reçues par les personnels qui effectuent à **Poli ou Teubang** les forages, la manutention, le tri, le lavage et le sciage des carottages radioactifs.

Il faut déterminer si ces personnels ont reçu une **formation en radioprotection** leur permettant de limiter les doses subies et s'ils font l'objet d'un **suivi dosimétrique adapté** : évaluation de l'exposition externe et de l'exposition interne par ingestion et par inhalation du radon et des poussières radioactives.



5-5 Amélioration des activités de traitement des carottages

Il convient de déterminer l'impact radiologique des activités de traitement des carottages :

1. Existe-t-il un système de récupération des eaux de pluie susceptibles de ruisseler sur les déchets radioactifs entreposés à l'air libre à Poli ?
2. Comment sont gérées les **eaux de lavage** des carottes ? Existe-t-il un système de récupération des eaux et des boues contaminées ?
3. Quelles sont les valeurs du taux de **radiation gamma** ainsi que la concentration en **radon 222 et en poussières radioactives** à proximité des zones de traitement des carottages et dans les bâtiments du camp où sont entreposés les échantillons ?
4. Comment l'entreprise envisage-t-elle de garantir l'entreposage des carottes radioactives et des autres échantillons radioactifs compte tenu de la très longue période physique de l'uranium 238 (**4,5 milliards d'années**) ? En cas de faillite de l'entreprise comment seront gérés ces déchets ?

Rédaction : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD.

Mesures radiométriques : Jocelyne Ribouet (technicienne de laboratoire) et Bruno Chareyron

Traitement des échantillons : Christian Courbon (technicien spécialisé) et Jocelyne Ribouet

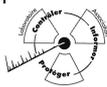
Traitement des spectres gamma : Stéphane Patrigeon (technicien métrologue).

ANNEXE 1 / Chaînes de désintégration de l'uranium 238 et de l'uranium 235

CHAINE RADIOACTIVE Famille de l'Uranium 238

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Uranium 238	α	4,5 10^9 ans
Thorium 234	β	24 jours
Protactinium 234^m	β	1,2 minutes.
Uranium 234	α	2,5 10^5 ans
Thorium 230	α	7,5 10^4 ans
Radium 226	α	1,6 10^3 ans
Radon 222	α	3,8 jours
Polonium 218	α	3 minutes
Plomb 214	β	27 minutes
Bismuth 214	β	20 minutes
Polonium 214	α	1,6 10^{-4} secondes
Plomb 210	β	22,3 ans
Bismuth 210	β	5 jours
Polonium 210	α	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
Uranium 235	α	7 10⁸ ans
Thorium 231	β	25,6 heures
Protactinium 231	α	3,3 10 ⁴ ans.
Actinium 227	β	21,8 ans
Thorium 227	α	18,7 jours
Radium 223	α	11,4 jours
Radon 219	α	3,9 secondes
Polonium 215	α	1,8 10 ⁻³ secondes
Plomb 211	β	36 minutes
Bismuth 211	α	2,2 minutes
Thallium 207	β	4,8 minutes
Plomb 207		Stable

Les radioéléments en gras sont analysés en spectrométrie gamma.

