Valence, le 10 décembre 2014

Note CRIIRAD N°14-57

Mesures radiamétriques préliminaires effectuées par la CRIIRAD au niveau du site d'entreposage de boues rouges (Bauxaline) d'Alteo à Mangegarri

1 / Contexte

Présentation du site de Mangegarri

L'entreprise ALTEO exploite sur la commune de Gardanne (13) une usine d'extraction de l'alumine à partir de **bauxite**. La production annuelle est de **650 000 tonnes d'alumines**. Le site de 50 hectares, à mi-chemin entre Marseille et Aix-en-Provence, a été exploité antérieurement par Pechiney, puis Rio Tinto Alcan. Plus de 95 % de l'alumine est produite actuellement à partir de bauxite selon le procédé Bayer. La première étape est une attaque à la soude à haute température et sous-pression de la bauxite finement broyée. Le procédé génère d'énormes quantités de résidus liquides (boues rouges) dont une partie est **rejetée en méditerranée** par une conduite de 47 km de long, enterrée à 50 % et débouchant à 320 mètres de profondeur dans le canyon de Cassidaigne au large de Cassis, dans le Parc National des Calanques.

Ces boues contiennent des métaux toxiques et des éléments radioactifs naturels.

Dans le but de cesser les rejets en mer d'ici 2015, l'industriel a mis en place des filtres presse afin de sécher ce résidu et de le stocker à terre. Actuellement ces boues rouges sont entreposées sur le site de **Mangegarri**, sur la commune de Bouc-Bel-Air. Le site est situé à environ 2 kilomètres de l'usine Alteo. Le stockage est réalisé sur le bassin 5 et le bassin 6. Le bassin 7 est exploité comme bassin de secours (résidus aqueux).

L'entreprise développe les projets de valorisation de ces résidus sous l'appellation commerciale « Bauxaline ». Selon une plaquette publicitaire d'Alteo, **300 000 tonnes de Bauxaline ont été utilisés depuis 10 ans comme couverture de décharge de déchets ménagers**.

Les riverains du site de Mangegarri s'inquiètent depuis des années des conséquences sanitaires liées à l'entreposage des boues rouges compte tenu en particulier de l'envol de poussières. Le rapport ANTEA [ANTEA 2013, page 41] indique que le tonnage annuel de matériaux manipulés est de **295 248 tonnes/an** (78 000 t/an issus du filtre presse 1, puis 217 248 t/an issus du filtre presse 2). ANTEA estime que pour le site de Mangegarri, l'envol de poussières de granulométrie inférieure à 10 microns est de l'ordre de 13 tonnes par an [ANTEA 2013, p 3]. Les mesures réalisées en 2008 montrent que certaines de ces poussières ont une granulométrie très fine, inférieure à 1 micron [ANTEA 2013, p 17]. Elles peuvent donc pénétrer en profondeur dans l'appareil respiratoire des personnes exposées.

Monsieur Khaldi (riverain) estime[1] que les envols de poussière rouge remontent **à 2007**, date de mise en service d'un filtre presse au niveau de l'usine de Gardanne permettant l'extraction de 350 tonnes/jour de Bauxaline. Lors d'épisodes venteux, les poussières pénètrent à l'intérieur de son habitation située à moins de 50 mètres de la clôture de l'entreposage de Mangegarri (cf. Carte C1 page suivante). Un deuxième filtre presse a été installé sur le site de Mangegarri en 2013 [Antea 2013].

Les photographies N°1 et 2 page suivante montrent le bassin N°7 au cœur de la décharge de Mangegarri. On distingue de nombreux arbres morts.

[1] Entretien avec M. Chareyron (CRIIRAD) le 26 novembre 2014.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544
ASSOCIATION LOI 1901 CRIIRAD • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

Photo N°1 et N°2 / entreposage de boues rouges dans le bassin N°7 à Mangegarri (CRIIRAD)

Objectifs de la mission préliminaire CRIIRAD

Dans le cadre du tournage d'un reportage de France 3 concernant les risques radiologiques et chimiques liés à l'entreposage de boues rouges et à la valorisation de la Bauxaline, le laboratoire de la CRIIRAD a effectué le **26 novembre 2014** une mission exploratoire sur le site de **Mangegarri à Bouc-Bel-Air (13).**

Au cours de la mission M. B. Chareyron, directeur du laboratoire de la CRIIRAD, a pu effectuer des contrôles radiamétriques :

- dans l'environnement proche du site de Mangegarri, sur la propriété de monsieur Khaldi, contiguë au site d'entreposage (point « M. Khaldi » sur la carte C1 ci-dessous).
- ainsi que dans la partie sud (asséchée) du bassin N°7 du stockage de boues rouges, où a été réalisé également un échantillonnage de boues (point « PV CRIIRAD » sur la carte C1 ci-dessous).

C1 / Vue du site de Mangegarri depuis le nord (GoogleEarth, image satellite de 2010)

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ASSOCIATION LOI 1901 **CRIIRAD** • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 🖹33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

Cette mission a été effectuée sur les fonds propres de l'association CRIIRAD.

Les boues ont été ramenées au laboratoire de la CRIIRAD pour analyses radiologiques.

L'analyse a été financée par le collectif « non aux boues rouges ».

Photos N°3 et N°4 / Maison de M. Khaldi et Partie sud du bassin N°7 à Mangegarri (CRIIRAD)

2 / Résultats des contrôles radiamétriques effectués à Mangegarri

Les contrôles radiamétriques ont consisté en des mesures au contact du sol et à 1 mètre du sol au moyen de deux appareils :

- un scintillomètre DG5 qui permet de repérer rapidement de faibles variations du flux de rayonnement gamma (exprimé en coups par seconde : c/s).
- un compteur proportionnel compensé en énergie LB123 qui permet d'effectuer une mesure du débit d'équivalent de dose gamma exprimé en µSv/h.

Les résultats sont reportés dans le tableau T1 page suivante.

Compte tenu du caractère exploratoire de la mission (moins de 2H30 sur site), le nombre de stations de mesure est très limité. La réalisation d'un plan compteur à maille serrée serait nécessaire pour apprécier la variabilité des résultats en fonction des conditions locales (nature de la Bauxaline, taux d'humidité, épaisseur de la couche de boues rouges, etc..).

Sur la partie sud du bassin n°7, au-dessus des boues rouges, les flux de rayonnement gamma sont nettement supérieurs au niveau naturel local.

Les mesures radiamétriques montrent que dans la zone d'entreposage des boues rouges **le niveau de radiation est 4 à 8 fois supérieur au niveau naturel** enregistré sur substratum calcaire naturel local. Ceci indique que les personnes qui évoluent sur un sol constitué de Bauxaline sont soumises à un débit de dose gamma nettement supérieur au niveau naturel.

Evaluation de l'impact (irradiation externe)

A 1 mètre au-dessus du sol, dans la zone étudiée, le débit de dose est de 0,39 µSv/h à comparer à un niveau naturel de 0,072 µSv/h. L'exposition externe ajoutée est donc de 0,39-0,072 = **+ 0,32 µSv/h**.

Pour une présence de 6 minutes par jour, chaque jour de l'année, sur un sol remblayé avec ces boues rouges, l'exposition cumulée dépasse la valeur de 10 µSv/an, niveau au-delà duquel la directive Euratom 96/29 considérait comme non négligeable sur le plan radiologique l'impact d'une pratique nucléaire.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ASSOCIATION LOI 1901 **CRIIRAD** • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 🖹33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

Pour une présence de moins de 3 heures par jour, chaque jour de l'année, la dose cumulée liée à l'exposition externe dépasse la contrainte de dose de 300 microSieverts par an retenue par la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique), comme limite liée à l'impact d'une seule pratique.

Pour une présence supérieure à 9 heures par jour, la seule irradiation externe conduirait à dépasser la dose maximale annuelle admissible de 1 milliSievert par an, sans tenir compte des doses liées à l'inhalation des poussières, du radon et du thoron ainsi que les doses liées à l'ingestion.

T1 / Résultats des mesures radiamétriques effectuées par la CRIIRAD le 26 novembre 214 à Mangegarri

Coordonnées GPS, heure, Altitude et lieu				Flux de rayonnement gamma / Scintillomètre DG5 N°6 (c/s)		Débit de dose gamma Hp10 / Compteur proportionnel LB123 (µSv/h)	
GPS N	GPS E	Heure	Lieu	contact du sol	1 mètre du sol	contact du sol	1 mètre du sol
43.46686	005.42986	13H57	Arrivée maison M Khaldi	40-50	48-52		
43.46708	005.42990	16H08	Niveau naturel sur substratum calcaire, propriété M. Khaldi	43-63	45-56	0,076	0,072
43.46332	005.43321	15H12	Boues rouges (bauxaline), partie sud bassin N°7	300-400	200-350	0,45	0,39
Augmentation :Bauxaline / niveau naturel local				**6 à 8**	**4 à 7**	**5,9**	**5,4**

Photos N°5 et N°6 / Partie sud du bassin N°7 à Mangegarri /Mesures CRIIRAD

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

3 / Analyse au laboratoire de la CRIIRAD de la Bauxaline prélevée dans le bassin N°7

Environ 1 kilogramme de boues rouges de type Bauxaline ont été échantillonnés par M. Chareyron (photo N°6 page précédente) et ramenés au laboratoire de la CRIIRAD à Valence pour analyses par spectrométrie gamma HpGe.

Ce type d'analyse permet de détecter et de quantifier :

- de nombreux radionucléides « naturels » des chaînes de désintégration de l'uranium 238, de l'uranium 235 et du thorium 232 ainsi que le potassium 40. Les chaînes de désintégration sont reportées en annexe 1.
- de nombreux radionucléides artificiels émetteurs de rayonnement gamma. En l'absence de détection de radionucléides artificiels, les limites de détection sont publiées pour le césium 134 et le césium 137.

Le rapport d'analyse est reproduit en Annexe 2.

3-1 / Rappels sur la radioactivité naturelle de l'écorce terrestre

L'écorce terrestre contient un certain nombre d'éléments radioactifs naturels. Il s'agit principalement de :

- **Uranium 238**, de période physique 4,5 milliards d'années. Il est le plus souvent à l'équilibre avec ses 13 descendants (dont le radium 226, précurseur du radon 222). L'activité massique typique est de l'ordre de 40 Bq/kg.
- **Uranium 235**, de période physique 700 millions d'années. Il est le plus souvent à l'équilibre avec ses 10 descendants. L'activité massique typique est de l'ordre de 2 Bq/kg.
- **Thorium 232**, de période physique 14 milliards d'années. Il est le plus souvent à l'équilibre avec ses 10 descendants (dont le radium 224, précurseur du radon 220 également dénommé thoron). L'activité massique typique est de l'ordre de 40 Bq/kg.
- **Potassium 40**, de période 1,28 milliards d'années.

3-2 Radioactivité de la Bauxaline

Dans la Bauxaline prélevée le 26 novembre 2014 aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est détecté. Les limites de détection pour le césium 134 et 137 sont inférieures au Bq/kg.

On relève par contre des teneurs nettement supérieures à la moyenne de l'écorce terrestre pour l'uranium 238 et ses descendants (160 Bq/kg frais pour le radium 226) et le thorium 232 et ses descendants (environ 250 Bq/kg frais).

Compte tenu des tonnages de Bauxaline entreposés, il convient d'être prudent sur la représentativité de l'échantillonnage. A noter également que l'analyse a été effectuée sur le matériau brut (humide). L'activité massique sur matériau sec serait plus élevée et dépendra des niveaux de dessiccation et des utilisations du matériau.

Même si très peu de résultats d'analyse sont disponibles, le rapport ANTEA [ANTEA 2013] retient pour les études d'impact du site de Mangegarri une activité de 300 Bq/kg et 600 Bq/kg respectivement pour l'uranium 238 et le thorium 232 dans la Bauxaline.

Le rapport ALGADE de 2006 [ALGADE 2006] ne porte que sur l'analyse d'un seul échantillon de 30 grammes. Les résultats obtenus étaient de 170 Bq/kg pour uranium 238-thorium 234, 250 Bq/kg pour le radium 226 et 340 à 390 Bq/kg pour le thorium 232 et ses descendants.

Ces échantillonnages sont trop limités pour se faire une idée de la variabilité des concentrations en radionucléides dans la Bauxaline.

En fonction des quantités de déchets stockées ou manipulées, cette radioactivité, bien que d'origine naturelle et appartenant au domaine des très faibles doses, peut conduire à une exposition non négligeable.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

Les autorités ont pris conscience tardivement de la nécessité de mieux contrôler les expositions induites par ces matières à **radioactivité naturelle dite « renforcée ».** La transcription de la directive Euratom 96/29 a conduit les autorités françaises à mettre en place un premier niveau de contrôle (voir **arrêté du 25 mai 2005** reproduit en annexe 3). Mais toutes les industries concernées n'ont pas été répertoriées et les évaluations des impacts radiologiques souffrent de nombreuses insuffisances (cf page suivante).

La récente **directive 2013/59/ EURATOM** du Conseil du 5 décembre 2013 va imposer aux Etats membres de mettre en place des contrôles de radioactivité pour les matériaux de construction (article 75). La méthodologie consistera à déterminer les « concentrations d'activité » des radionucléides naturels et à calculer un indice I permettant de statuer sur les niveaux d'exposition externe en cas d'utilisation de ces matériaux pour la construction. Pour un indice I supérieur à 1, des restrictions particulières pourront être envisagées par les autorités compétentes.

Les calculs reproduits dans le tableau T2 ci-dessous montrent que l'indice I de la Bauxaline est compris **entre 1,8 et 4**. La valorisation de la Bauxaline devrait donc faire l'objet de prescriptions particulières.

Les Etats membres ont jusqu'en 2018 pour transcrire cette directive en droit national. Mais compte tenu des tonnages de Bauxaline qu'Alteo souhaite valoriser, il est important de prendre en compte la radioactivité du produit dès à présent.

Il convient de noter que la méthodologie retenue pour évaluer cet indice ne prend pas en compte les doses liées à l'inhalation du gaz radioactif (radon et thoron) émis par la Bauxaline ni les risques liés à l'inhalation de poussières et à l'ingestion.

T2 / Radioactivité moyenne de l'écorce terrestre et d'échantillons de Bauxaline / évaluation de l'indice I de la Bauxaline

Type de matériaux	Chaîne de l'uranium 238 : Radium 226 en Bq/kg (mesure à l'équilibre)	Chaîne du thorium 232 : actinium 228 ou plomb 212 en Bq/kg	Potassium 40 en Bq/kg	Indice I (1) à comparer à 1
Moyenne écorce terrestre	40	40	400	0,47
Bauxaline prélevée par la CRIIRAD le 26 nov 2014 à Mange-Garri (Bq/kg frais)	163	252		**1,80**
Ratio / Nat	4,1	6,3		
Bauxaline stockage Gardanne / Analyse ALGADE ALCA BA 1 Fev 2005	250	390		**2,78**
Ratio / Nat	6,25	9,75		
Terme source BAUXALINE (rapport ANTEA) pour ALTEO, page 50	300	600		**4,00**
Ratio / Nat	7,5	15		

(1) "Indice de concentration d'activité pour les rayonnements gamma émis par les matériaux de construction", directive 2013/59 EURATOM du Conseil fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants.
Annexe VIII (extrait) : "$I = C_{Ra226}/300$ Bq/kg + $C_{Th232}/200$ Bq/kg + $C_{K40}/3\,000$ Bq/kg".

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

4 / Remarques sur les évaluations de l'impact radiologique du stockage de Mangegarri

Notions de voie d'exposition

L'analyse d'un seul échantillon de boues ne permet pas de conduire une évaluation précise de l'impact radiologique de l'entreposage de ces déchets de Bauxaline sur le site de Mangegarri (ni des activités de valorisation de la Bauxaline).

Pour apprécier les risques, plusieurs voies d'exposition sont à prendre en compte parmi lesquelles :

- **L'exposition externe** liée principalement aux puissants rayonnements gamma émis par certains descendants de l'uranium 238 et du thorium 232 (voir paragraphe 2 pages précédentes).
- L'exposition interne par **inhalation de poussières radioactives**.
- L'exposition interne par **inhalation du gaz radioactif** (radon 222 et thoron) produit en permanence par la désintégration du radium 226 et du radium 224 contenus dans la Bauxaline et dont une fraction diffuse dans l'atmosphère.
- L'exposition interne par **ingestion d'éléments radioactifs** susceptibles d'être transférés par voie liquide (impact sur les nappes phréatiques, ruissellement) ou atmosphérique (dépôt de poussières sur les cultures et sols, dépôt des descendants du radon qui sont des métaux lourds radioactifs, et dont certains le plomb 210 et le polonium 210, sont très radiotoxiques par ingestion, etc..).

Remarques sur le rapport ALGADE de 2006

En ce qui concerne l'impact de l'entreposage sur le site de Mangegarri, ALCAN a confié une étude à ALGADE. ALGADE est une société issue de l'ancien CRPM-COGEMA chargé de la radioprotection dans les mines d'uranium de COGEMA (devenue ensuite AREVA). Le laboratoire de la CRIIRAD a constaté sur de nombreux dossiers les insuffisances des suivis radiologiques et études d'impact conduites par cet organisme. Nous faisons le même constat pour le dossier du site de Mangegarri.

Le rapport ALGADE de 2006 [ALGADE 2006] intitulé « Impact sur l'environnement du dépôt de Bauxaline de Mangegarri » conclut à un impact de 0,008 mSv pour les riverains et 0,081 mSv pour les personnes qui travaillent sur le site, soit respectivement 8 µSv et 81 µSv. La CRIIRAD ne peut se prononcer sur l'impact effectif du site sans faire une contre-expertise approfondie, mais la lecture du rapport ALGADE permet de relever de nombreuses insuffisances :

- ALGADE néglige l'impact par **ingestion** de polonium 210 et plomb 210 suite aux dépôts de poussières sans démontrer que cet impact est négligeable. M. Khaldi (riverain), nous a indiqué le 26 novembre 2014 qu'il consommait des fraises, du thym et du romarin, cueillis à moins de 100 mètres de la clôture. Un autre riverain consomme les champignons du secteur, etc..
- En ce qui concerne l'impact lié au **ruissellement**, le rapport ne mentionne qu'un seul contrôle. Il s'agit d'eau du « drain Valabre ». Seuls l'uranium et le radium 226 sont mesurés, mais pas le radon 222 dissous, ni le plomb et le polonium 210 (très radiotoxiques par ingestion), ni les descendants du thorium 232.
- Les mesures des concentrations en radon et poussières radioactives dans l'air ne sont effectuées qu'en 3 points dont un au milieu du stockage, un dans l'environnement proche et une référence.
    - En ce qui concerne le **radon 222**, ALGADE obtient des résultats plus élevés dans le milieu naturel (36 nJ/m^3) que sur le stockage (23 nJ/m^3) ou en proximité (30 nJ/m^3), mais il n'y a aucune réflexion sur la représentativité des stations en fonction de la topographie et des vents dominants. Ceci est particulièrement choquant compte tenu de la dimension de la décharge de Mangegarri.
    - Pour la question de la radioactivité des **poussières** (émetteurs alpha à vie longue), les mesures mensuelles d'avril à octobre 2005 sont toutes en dessous des limites de détection (< 0,1 à < 0,9 mBq/m^3), mais ces limites sont parfois relativement élevées.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544
ASSOCIATION LOI 1901 CRIIRAD • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 🖹33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

- ALGADE indique que le débit de dose au contact de la Bauxaline est de 0,4 µSv/h et est abaissé à une valeur naturelle de 0,08 µSv/h dès lors que la Bauxaline est recouverte de 20 à 30 cm de terre. Cependant aucun plan compteur n'est présenté, il n'est donc pas possible de savoir si cette mesure a été réalisée en un point choisi au hasard ou si elle est représentative d'un minimum, d'une moyenne ou d'un maximum. De plus, le commentaire rassurant ne fait pas mention des problèmes de pérennité de la couverte, de l'exhalation du radon et des risques d'infiltration, etc...

En ce qui concerne l'appréciation des risques radiologiques, ALGADE conclut que *« **la dose efficace annuelle** susceptible d'être reçue en supplément du niveau naturel par les personnes du public constituant les groupes de référence **ne peut pas dépasser le dixième de la valeur de 1 mSv** préconisée par la directive n°86/29/Euratom[2] comme limite de dose efficace due à une pratique pour les personnes du public et reprise dans la règlementation française dans le cadre du code de la santé publique et du code du travail* ».

Compte tenu des insuffisances méthodologiques listées ci-dessus, **la CRIIRAD considère que l'étude ALGADE de 2006 ne permet pas de conclure que l'exposition du public soumis au dépôt de boues de type « Bauxaline » de Mangegarri reste en dessous du dixième de milliSievert**.

Autres considérations sur l'impact de la Bauxaline

L'étude de l'impact radiologique et chimique de la Bauxaline pour les riverains du stockage de Mangegarri est une question complexe. Faute de temps et de moyens, la CRIIRAD n'a pu à ce stade procéder à l'examen de l'ensemble des études disponibles. Il convient de rappeler cependant que :

- Les évaluations disponibles [ALGADE 2006, BURGEAP 2011, ANTEA 2013] n'intègrent pas les risques liés à la synergie entre impacts radiologiques et chimiques. Or ce produit contient de l'aluminium, du chrome, du titane, de l'arsenic, du cadmium, du vanadium, etc..

- L'étude ANTEA 2013 conclut à l'absence de risque radiologique, considérant que les doses pour les riverains sont inférieures « au seuil de 1 mSv ». Or l'exposition à de faibles doses de radiation augmente les risques de cancer à long terme sans qu'ait pu être établie l'existence d'un seuil d'innocuité. Selon la CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) dans sa publication CIPR 103 de 2007, le risque de cancers radioinduits est estimé à 17 cas pour 100 000 personnes exposées à une dose de 1 milliSievert. L'évaluation des facteurs de risque est complexe et fait l'objet de vives polémiques dans la communauté scientifique.

- Pour des matériaux dont la radioactivité est éternelle à l'échelle humaine (compte tenu de la très longue période physique des radionucléides contenus dans ces boues : 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238 et 14 milliards d'années pour le thorium 232), il est important également de prendre en compte l'impact sur le très long terme. Quelle garantie est apportée quant au risque que dans quelques centaines d'années les terrains où aura été apporté de la Bauxaline ne deviennent constructibles ? Si tel était le cas, l'impact pour les personnes concernées pourrait être largement supérieur au milliSievert par an.

Rédacteur : Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, directeur du laboratoire de la CRIIRAD.

Bibliographie

[ALGADE 2006] Alcan, usine de Gardanne, « Etude de l'impact sur l'environnement du dépôt de Bauxaline de Mange-Garri (13) ». Document N°ALCA 62-0 2-12 05 V1-SB établi le 30 janvier 2006.

[ALGADE 2007] ALCAN site de Gardanne (13), production d'alumine / Etude des problèmes de radioprotection liés à l'utilisation de produits contenant des radionucléides naturels, Août 2007.

[ANTEA 2013] Evaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques du site de Mangegarri, Décembre 2013.

[BURGEAP 2011] Evaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques du site / Rio Tinto Alcan, mai 2011.

[2] Le rapport ALGADE comporte une faute de frappe, il s'agit de la directive 96/29 et non pas 86/29.

ANNEXE 1
Chaînes de désintégration de Uranium 238, Uranium 235 et Thorium 232

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 234m	**β**	**1,2 minutes.**
Uranium 234	α	2,5 10^5ans
Thorium 230	**α**	**7,5 10^4 ans**
Radium 226	**α**	**1,6 10^3ans**
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 dans les tableaux sont détectables en spectrométrie gamma.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

CHAINE RADIOACTIVE
Famille de l'Uranium 235

Radioéléments	Mode de désintégration	Période radioactive
Uranium 235	**α**	**7 10^8 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 dans les tableaux sont détectables en spectrométrie gamma.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ASSOCIATION LOI 1901 **CRIIRAD** • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 🖹33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

CHAINE RADIOACTIVE
Famille du thorium 232

Radioéléments	Mode de désintégration	Période de radioactivité
Thorium 232	α	1,4 10^{10}ans
Radium 228	β	5,8 ans
Actinium 228	**β**	**6,1 heures**
Thorium 228	α	1,9 an
Radium 224	α	3,7 jours
Radon 220	α	55,6 secondes
Polonium 216	α	0,15 secondes
Plomb 212	**β**	**10,6 heures**
Bismuth 212	**α β**	**1 heure**
Thallium 208	**β**	**3 minutes**
Polonium 212	α	3 10^{-7} secondes
Plomb 208		Stable

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

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ANNEXE 2 / Rapport d'essai / Analyse au laboratoire CRIIRAD de Bauxaline prélevée le 26 novembre 2014 dans la partie sud du bassin N°7 à Mangegarri

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

29 Cours Manuel de Falla
26000 Valence - France
Tél. : + 33 (0)4 75 41 82 50
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48

Site internet : www.criirad.org
E-mail : laboratoire@criirad.org

Valence, le 09 décembre 2014

Laboratoire agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire pour les mesures de radioactivité de l'environnement — portée détaillée de l'agrément disponible sur le site internet de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Méthode d'essai : spectrométrie gamma en containers de géométrie normalisée.
Détecteur semi-conducteur au germanium hyperpur refroidi à l'azote liquide.
Efficacité relative de 22 à 24 %. Résolution de 1,7 keV pour la raie à 1,33 MeV.

Collectif Non aux Boues Rouges
Analyse de Bauxaline
Prélèvement CRIIRAD du 26 novembre 2014
sur le site de Mange-Garri (13)

RAPPORT D'ESSAI N° 28054-2 PAGE 1 / PAGE 1
RESULTATS D'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA

Identification de l'échantillon analysé

Etude	Collectif Non aux Boues Rouges
Code Prélèvement	Bauxaline
Code Enregistrement	271114A1
N° d'analyse	C 28054
Nature de l'échantillon	Bauxaline
Lieu de prélèvement	Stockage de boues rouges ALTEO (13)
Localisation du prélèvement	Bouc-Bel-Air Mange Garri Sud du bassin N°7
Code de l'unité territoriale (NUTS)	FR824

Prélèvement

Date de prélèvement	26/11/2014
Opérateur de prélèvement	CRIIRAD (B. Chareyron)
Mode de prélèvement	Pellette plastique

Pré-traitement

Date de préparation	02/12/2014
Délai avant analyse (j)	7

Analyse en spectrométrie gamma

Date de mesure	08/12/2014
Géométrie de comptage	Pétri
Etat de l'échantillon à l'analyse	Frais
Masse analysée (g)	116,99
Temps de comptage (s)	47 934

Le présent rapport comporte 1 page et ne concerne que l'échantillon soumis à l'analyse.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

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

Eléments radioactifs naturels*	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Chaine de l'Uranium 238			
Thorium 234**	110	±	27
Protactinium 234m		<	440
Thorium 230**	180	±	140
Radium 226***	163	±	21
Plomb 214	169	±	21
Bismuth 214	156	±	20
Plomb 210**	99	±	23
Chaine de l'Uranium 235			
Uranium 235		<	8
Protactinium 231		<	23
Thorium 227		<	24
Radium 223		<	10
Radon 219		<	7
Plomb 211		<	13
Chaine du Thorium 232			
Actinium 228	252	±	34
Plomb 212	282	±	32
Thallium 208	90	±	11
Potassium 40		<	80
Béryllium 7		<	4,2
Eléments radioactifs artificiels	Activité et incertitude ou limite de détection si <		
Césium 137		<	0,7
Césium 134		<	0,5

Activités ramenées à la date de prélèvement

* Eléments radioactifs existant à l'état naturel. Leur présence dans l'échantillon peut être naturelle ou liée à des activités humaines.
** 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.
*** Le Radium 226 est évalué à partir de ses descendants le Plomb 214 et le Bismuth 214.
Il s'agit d'une évaluation par défaut, le comptage ayant été effectué sans attendre le délai nécessaire à la mise en équilibre.

Stéphane PATRIGEON
Technicien de laboratoire

Bruno CHAREYRON
Directeur du laboratoire

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ANNEXE 3

Arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives

(JO du 1er juin 2005)

NOR : SANY0521951A

Vus

Le ministre de l'emploi, du travail et de la cohésion sociale, le ministre des solidarités, de la santé et de la famille, le ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et de la ruralité et le ministre de l'écologie et du développement durable,

Vu la directive 96/29/EURATOM du Conseil en date du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants ;

Vu le code de la santé publique, notamment son article R. 1333-13 ;

Vu le code du travail, notamment son article R. 231-114 ;

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 214-1 et L. 512-1 ;

Vu l'arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants ;

Vu l'avis du Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels en date du 16 novembre 2004 ;

Vu l'avis de la Commission nationale d'hygiène et de sécurité du travail en agriculture en date du 9 décembre 2004 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (section de la radioprotection) en date du 14 octobre 2004 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur des installations classées en date du 12 avril 2005 ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire en date du 23 novembre 2004,

Arrêtent :

Article 1er de l'arrêté du 25 mai 2005

Les dispositions du présent arrêté s'appliquent aux installations et établissements mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives et relevant de l'une des activités ou des catégories d'activités professionnelles définies en annexe 1.

La liste des activités définies en annexe 1 est mise à jour, chaque année, si les résultats des études réalisées en application du présent arrêté le justifient.

Article 2 de l'arrêté du 25 mai 2005

L'exploitant d'une installation relevant d'une catégorie d'activité professionnelle mentionnée en annexe 1 réalise une étude destinée à mesurer les expositions aux rayonnements ionisants d'origine naturelle et à estimer les doses auxquelles la population est susceptible d'être soumise du fait de ladite installation. Les modalités techniques de réalisation de cette étude sont définies en annexe 2 du présent arrêté.

L'exploitant transmet l'étude mentionnée ci-dessus à la direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection et au préfet. Il transmet également une copie de cette étude à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

Article 3 de l'arrêté du 25 mai 2005

Le chef d'un établissement relevant d'une activité ou d'une catégorie d'activités professionnelles figurant en annexe 1 réalise une évaluation des doses reçues par les travailleurs. Les modalités techniques d'évaluation de ces doses sont définies en annexe 3 du présent arrêté.

Le chef d'établissement transmet, en application de l'article R. 231-113 du code du travail, cette évaluation des doses à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Article 4 de l'arrêté du 25 mai 2005

Le directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, le directeur général de la forêt et des affaires rurales, le directeur des relations du travail et le directeur de la prévention des pollutions et des risques sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 25 mai 2005.

Le ministre des solidarités, de la santé et de la famille,
Pour le ministre et par délégation :
Le directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection,
A.-C. Lacoste

Le ministre de l'emploi, du travail et de la cohésion sociale,
Pour le ministre et par délégation :
Le directeur des relations du travail,
J.-D. Combrexelle

Le ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et de la ruralité,
Pour le ministre et par délégation :
Le directeur général de la forêt et des affaires rurales,
A. Moulinier

Le ministre de l'écologie et du développement durable,
Pour le ministre et par délégation :
Le directeur de la prévention des pollutions et des risques,
délégué aux risques majeurs,
T. Trouvé

Annexe I : Catégories d'activités professionnelles concernées par les dispositions du présent arrêté

1° Sous réserve des conditions édictées aux paragraphes 2° et 3°, sont concernées par les dispositions du présent arrêté les catégories d'activités professionnelles suivantes :

1. La combustion de charbon en centrales thermiques ;
2. Le traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium ;
3. La production de céramiques réfractaires et les activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie en mettant en œuvre ;
4. La production ou l'utilisation de composés comprenant du thorium ;
5. La production de zircon et de baddaleyite, et les activités de fonderie et de métallurgie en mettant en œuvre ;
6. La production d'engrais phosphatés et la fabrication d'acide phosphorique ;
7. Le traitement du dioxyde de titane ;
8. Le traitement des terres rares et la production de pigments en contenant ;
9. Le traitement d'eau souterraine par filtration destinée à la production :
    - d'eaux destinées à la consommation humaine ;
    - d'eaux minérales ;

10. Les établissements thermaux.

2° Sont concernées par les dispositions l'article 2 du présent arrêté :

- les installations relevant d'une autorisation au titre de l'article L. 512-1 du code de l'environnement pour une activité professionnelle mentionnée aux points 1 à 8 de la liste précédente ;
- les installations relevant de la catégorie 9 de la liste précédente, lorsqu'elles relèvent d'une autorisation au titre de l'article L. 214-1 du code de l'environnement ;
- les installations relevant de la catégorie citée au point 10 de la liste figurant au 1°.

3° Sont concernés par les dispositions de l'article 3 du présent arrêté les établissements relevant de l'ensemble des catégories d'activités professionnelles mentionnées au 1°.

Annexe II : Modalités techniques de réalisation des études mentionnées à l'article 2 du présent arrêté

Les études nécessaires à la mesure des expositions aux rayonnements ionisants et à l'estimation des doses auxquelles la population est susceptible d'être soumise, prévues à l'article 2, comportent les informations suivantes :

1. La localisation de l'installation ainsi que sa situation au regard de la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;
2. L'origine, les quantités, les formes physiques et chimiques et les caractéristiques radiologiques des matières premières ou substances mises en œuvre ou stockées, et susceptibles de contenir des radionucléides naturels ;
3. Un descriptif du ou des procédés de fabrication utilisant ces matières premières ou substances ;
4. Les formes physiques et chimiques et les caractéristiques radiologiques des produits intermédiaires et des produits finis aux différentes étapes de fabrication, y compris celles des déchets produits ;
5. Les quantités et les caractéristiques radiologiques des effluents liquides ou gazeux produits et, le cas échéant, un descriptif des procédés de traitement et d'entreposage avant leur élimination ;
6. Les exutoires retenus pour l'élimination des déchets et effluents produits ;
7. Le cas échéant, les modalités d'entreposage du produit fini, avant mise sur le marché ;
8. Les actions mises en œuvre pour réduire les expositions ;
9. Une évaluation des doses d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants, avec identification des groupes de population exposés choisis pour cette estimation, et, le cas échéant, les résultats de la surveillance dosimétrique mise en œuvre.

La caractérisation radiologique des matières premières, produits intermédiaires, produits finis, déchets et effluents prévue aux points 2, 4 et 5 de la présente annexe prend notamment en compte le 40K et les chaînes de l'^{238}U, du ^{232}Th et de l'^{235}U, ou présente les critères permettant de justifier leur non-prise en compte. Cette caractérisation peut se baser sur les normes en vigueur ou sur un cahier des charges établi par l'IRSN.

Pour les évaluations de doses mentionnées en point 9, l'exploitant peut s'appuyer sur une étude d'impact radiologique réalisée pour une installation analogue ou sur une étude générique. Dans ce cas, il justifie que les résultats peuvent être transposés à son installation, compte tenu des procédés de fabrication, des caractéristiques des matières, des déchets et des effluents et des scénarios d'exposition des groupes de population pris comme référence.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement
RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

Annexe III : Modalités techniques de réalisation de l'évaluation des doses mentionnée à l'article 3

Le chef d'établissement d'une activité ou d'une catégorie d'activité professionnelle figurant en annexe 1 réalise une évaluation des doses reçues par les travailleurs suivant la méthodologie développée ci-après, sauf si une étude correspondant à son activité exclut tout risque d'exposition significative des travailleurs.

1. Descriptif du site, des produits et des procédés

L'étude présente :

1. La localisation de l'établissement ;
2. L'origine, les quantités, les formes physiques et chimiques et les caractéristiques radiologiques des matières premières ou substances présentes sur le site et susceptibles de contenir des radionucléides naturels ;
3. Un descriptif du ou des procédés de fabrication utilisant ces matières premières ou substances ;
4. Les formes physiques et chimiques et les caractéristiques radiologiques des produits intermédiaires et des produits finis aux différentes étapes de fabrication, y compris celles des déchets produits ;
5. Les quantités et les caractéristiques radiologiques des effluents liquides ou gazeux produits en cours de fabrication et, le cas échéant, un descriptif des procédés de traitement et d'entreposage avant leur élimination ;
6. Les exutoires retenus pour l'élimination des déchets et effluents produits.

2. Caractérisation du terme source

La caractérisation radiologique des matières premières, produits intermédiaires, produits finis, déchets et effluents prend notamment en compte le 40K et les chaînes de l'^{238}U, du ^{232}Th et de l'^{235}U, ou présente les critères permettant de justifier leur non-prise en compte. Cette caractérisation peut se baser sur les normes en vigueur ou sur un cahier des charges établi par l'IRSN.

3. Identification des postes de travail et des scénarios d'exposition

L'étude présente les postes de travail où les opérateurs sont susceptibles d'être exposés à des rayonnements ionisants. Le cas échéant, les postes de travail relatifs à l'approvisionnement en matière première, à l'élimination des déchets, à la maintenance et au démantèlement des installations doivent être pris en compte.

L'étude présente les voies d'exposition potentielle des opérateurs, et notamment l'exposition par irradiation externe, par inhalation de poussières et par inhalation de radon, ainsi que les différents scénarios conduisant à ces expositions. Sont indiqués la description des opérations effectuées, le nombre de personnes concernées ainsi que les éventuelles mesures de protection utilisées. Si des situations accidentelles sont susceptibles de renforcer l'exposition radiologique des travailleurs, celles-ci doivent être prises en considération.

4. Evaluation des doses

L'étude comprend une évaluation des doses efficaces totales et des doses équivalentes des opérateurs affectés aux postes de travail préalablement identifiés. Cette évaluation prend en compte des paramètres réalistes d'exposition. Elle peut se faire au moyen d'une modélisation effectuée par des logiciels de calcul de l'exposition radiologique, complétée par des mesures sur site. Si des hypothèses majorantes sont retenues, l'étude présente de manière critique leur influence sur les résultats.

Sur la base de ces expositions par poste de travail, l'étude détermine les doses efficaces reçues par les opérateurs afin de mettre en évidence les expositions individuelles susceptibles d'atteindre ou de dépasser une dose efficace de 1 mSv par an.

Le calcul des doses efficaces et des doses équivalentes est effectué conformément aux dispositions de l'arrêté pris en application de l'article R. 231-80 du code du travail.

Pour l'évaluation des doses reçues par les travailleurs, le chef d'établissement peut également se baser sur une évaluation réalisée pour une installation analogue. Dans ce cas, il justifie de la similarité des paramètres d'exposition des travailleurs à ceux de l'évaluation à laquelle il se réfère.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544

ASSOCIATION LOI 1901 **CRIIRAD** • 29 cours Manuel de Falla 26000 Valence • FRANCE LABORATOIRE D'ANALYSE
☎33 (0)4 75 41 82 50 33 (0)4 75 81 26 48
http://www.criirad.org – Email : laboratoire@criirad.org

5. Mesures de réduction de l'exposition

L'étude présente les actions à réaliser ou existantes pour réduire les expositions. Si nécessaire, le chef d'établissement définit des niveaux d'activité radiologique des matières premières afin de garantir le respect des limites d'exposition des travailleurs.

Siret 341 802 544 00054 – APE 7219 Z Association loi 1901 agréée pour la protection de l'environnement

RIB : BFCC VALENCE – 4259 - 00013 - 21 025846604 – 41 -- TVA intracommunautaire n° FR80341802544