

RAPPORT

09/04/2018

INERIS-DRC-17-167841-10876B

**CLASSEMENT EN DANGEROUSITE
DE LA BAUXALINE®**

ECHANTILLON 2017

INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

CLASSEMENT EN DANGEROUSITE DE LA BAUXALINE®

ECHANTILLON 2017

Rapport réalisé pour la Société ALTEO

Personne ayant participé à l'étude : Pauline MOLINA

PRÉAMBULE

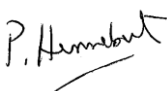


Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Pierre HENNEBERT	Roger REVALOR	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur de l'unité Comportement des Contaminants dans les Sols et les Matériaux	Responsable de l'unité Comportement des Contaminants dans les Sols et les Matériaux	Responsable du Pôle Risque et Technologies Durables Direction des Risques Chroniques
Visa			

SOMMAIRE

1. RESUME	7
2. OBJET ET CONTEXTE	9
3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE	9
4. ANALYSES ET ESSAIS REALISES	12
5. RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES	12
6. CLASSEMENT EN DANGEROUSITE	19
6.1 Classement suivant la liste européenne des déchets.....	19
6.2 Classement par les propriétés de danger HP 1 à HP 15	20
6.2.1 Propriétés HP 1 'Inflammable', HP 2 'Comburant', HP 3 'Combustible'	20
6.2.2 Propriété HP 9 'Infectieux'	20
6.2.3 Propriétés HP 4 'Irritant', HP 5 'Toxicité spécifique pour un organe cible / Toxicité par aspiration', HP 6 'Toxique', HP 7 'Cancérogène', HP 8 'Corrosif', HP 10 'Toxique pour la reproduction', HP 11 'Mutagène', HP 13 'Sensibilisant'	20
6.2.4 Propriété HP 12	24
6.2.5 Propriété HP 15	24
6.2.6 Propriété HP 14 'Ecotoxique'	26
6.3 Contenu en POP (Polluants Organiques Persistants)	31
7. CONCLUSION	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des règles de classement des propriétés de danger dont l'évaluation s'appuie sur la connaissance en substances des déchets	11
Tableau 2 : Analyses de Bauxaline® : teneurs élémentaires totales	13
Tableau 3 : Analyses de Bauxaline® : teneurs lixiviables.....	15
Tableau 4 : Analyses de Bauxaline® : teneurs organiques totales.....	16
Tableau 5 : Entrées de la Liste Européenne des Déchets applicables à la Bauxaline®	19
Tableau 6 : Propriétés de la soude, du chrome(VI) et de l'oxyde de vanadium selon le règlement CLP, règles de classement et limites de concentration applicables aux déchets.....	22
Tableau 7 : Propriétés de la chaux selon les déclarants du dossier d'enregistrement auprès de l'ECHA.....	22

1. RESUME

L'usine ALTEO de Gardanne (Bouches-du-Rhône) produit de la Bauxaline® par lavage et séchage au filtre presse des « résidus de bauxite » ou boues rouges, résidus du minerai après extraction partielle de l'alumine à la soude.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer le classement en dangerosité de ce déchet au regard de la réglementation actuelle : la liste européenne des déchets et les propriétés de danger HP 1 à HP 15. Elle a été réalisée à partir d'un échantillon de Bauxaline® fourni par la société ALTEO le 12/10/2017 ; elle ne comprend pas d'avis critique sur la représentativité de l'échantillon fourni que seul l'industriel peut évaluer sur la base de son retour d'expérience.

La composition en éléments et en substances organiques de ce déchet a été déterminée par analyses, ainsi que son alcalinité et le dégagement de gaz au contact d'un acide ; en outre, des essais écotoxicologiques ont été réalisés pour déterminer son caractère écotoxique.

Les principales caractéristiques de l'échantillon fourni sont :

- le pH du lixiviat atteint 10.9 (avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg MS) ;
- la fraction soluble est de 9.2 g/kg ;
- l'alcalinité à pH 8.5 est de 0.2 mol OH⁻/kg, et la teneur en soude et en chaux est au maximum de 7.7 g/kg et 14.3 g/kg respectivement ;
- parmi les éléments mineurs dont certaines formes présentent une mention de danger, seuls le chrome et le vanadium ont une teneur significative :
 - ✓ la teneur en chrome(III) est de 1 600 mg/kg, et la teneur en chrome(VI) de 4.6 mg/kg ;
 - ✓ la teneur en vanadium est de 700 mg/kg ;
 - ✓ les autres éléments mineurs sont présents à des concentrations faibles ou inférieures aux limites de quantification ;
- il n'y a pas de contaminants organiques détectés en concentrations significatives.

Les boues rouges (et par extension ici la Bauxaline®) sont classées dans la Liste Européenne des Déchets depuis 2014 en entrées alternatives dites « miroir », c'est-à-dire qu'elles peuvent être dangereuses ou non dangereuses, suivant leur contenu en substances dangereuses.

A partir des concentrations en substances et du test de dégagement de gaz en présence d'un acide, ce déchet est classé non dangereux par l'évaluation des 14 propriétés de danger HP 1 à HP 15 hors propriété HP 14 'Ecotoxique'. En ce qui concerne cette propriété, elle a été évaluée par calcul suivant la méthode dite « M1 » qui sera d'application réglementaire à compter de juillet 2018 dans tous les Etats-Membres : la Bauxaline® n'est pas classée écotoxique par cette méthode.

Afin d'avoir une approche exhaustive du comportement de ce déchet, la propriété HP 14 a aussi été déterminée par essais écotoxicologiques (8 essais mis en œuvre au total correspondant aux batteries d'essais française et franco-allemande). La Bauxaline® n'est pas classée écotoxique par ces deux batteries dans le cadre normatif actuellement en vigueur.

En conclusion, toutes les propriétés de danger des déchets classent la Bauxaline® comme non dangereuse.

Il convient en outre de noter que les critères d'acceptabilité en ISD (Installation de Stockage) appliqués au même échantillon, montrent que la Bauxaline® est acceptable dans une ISDnD (Installation de Stockage de Déchets non Dangereux).

2. OBJET ET CONTEXTE

La production d'alumine à partir de minerai de bauxite génère des « résidus de bauxite ». La société ALTEO exploite à Gardanne (Bouches-du-Rhône) une usine de fabrication d'alumine à partir de minerai de bauxite (Procédé Bayer), qui génère environ 350 kt/an de Bauxaline®, résidus de fabrication après lavage et séchage au filtre-presse.

Ce déchet avait été classé non dangereux par l'INERIS suite à une étude réalisée en 2012¹. Compte tenu de l'évolution du cadre réglementaire et des modifications intervenues depuis sur le procédé, la société ALTEO a sollicité l'INERIS pour actualiser ce classement ; un échantillon de Bauxaline® a donc été adressé à l'INERIS. ALTEO précise que cet échantillon a été prélevé le 12/10/2017 en sortie du filtre-presse n°1 dans une période de fonctionnement standard des équipements.

L'INERIS a réalisé la présente étude en s'appuyant sur les résultats des analyses et des essais mis en œuvre sur cet échantillon :

- analyses chimiques visant à déterminer son contenu en éléments et en substances,
- essais d'écotoxicité terrestres et aquatiques,

L'INERIS n'émet pas d'avis sur la représentativité de ce dernier.

3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Le contexte réglementaire qui encadre le classement en dangerosité des déchets dérive de la directive cadre « Déchets » de 2008², et plus spécifiquement de son Annexe III.

La démarche, rappelée ci-après, s'effectue en 2 étapes :

1. Recherche dans la Liste Européenne des Déchets³, le code du déchet concerné

Si ce code correspond à une entrée absolue, dangereuse ou non dangereuse, la démarche peut s'arrêter là ; le classement en dangerosité du déchet est parfaitement établi.

Si ce code correspond à une entrée « dite miroir », c'est-à-dire que son classement dépend du contenu en substances dangereuses, il est alors nécessaire d'évaluer les 15 propriétés qui peuvent concourir à rendre un déchet dangereux.

¹ Classement en dangerosité de la Bauxaline® - Rapport INERIS n° DRC-12-125645-11177A (Octobre 2012)

² Directive n° 2008/98/CE du 19/11/08 relative aux déchets et abrogeant certaines directives

³ Décision de la Commission du 18 décembre 2014 modifiant la décision 2000/532/CE établissant la liste des déchets, conformément à la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil

2. Evaluation des 15 propriétés de danger

Les règlements européens n°1357/2014⁴ et n°2017/997⁵ qui ont récemment modifié la directive cadre « Déchets » sous-tendent la démarche et définissent ce qu'est un déchet dangereux :

Article 3 de la directive cadre déchets

« [...] Déchet dangereux : tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'Annexe III »

L'évaluation du caractère dangereux d'un déchet est établie sur la base des propriétés de danger mentionnées à l'Annexe III de la directive cadre déchets, dites « propriétés de danger HP 1-HP 15 », et listées ci-après :

- HP 1 : explosif
- HP 2 : comburant
- HP 3 : inflammable
- HP 4 : irritant – irritation cutanée et lésions oculaires
- HP 5 : toxicité spécifique pour un organe cible (STOT) / toxicité par aspiration
- HP 6 : toxicité aiguë
- HP 7 : cancérogène
- HP 8 : corrosif
- HP 9 : infectieux
- HP 10 : toxique pour la reproduction
- HP 11 : mutagène
- HP 12 : dégagement d'un gaz à toxicité aiguë
- HP 13 : sensibilisant
- HP 14 : écotoxique
- HP 15 : déchet capable de présenter une des propriétés dangereuses susmentionnées que ne présente pas directement le déchet d'origine.

Le règlement n°1357/2014 précise que pour les propriétés HP 1, HP 2 et HP 3, l'évaluation est réalisée conformément aux méthodes d'essais lorsque cela est approprié et proportionné.

Par ailleurs, les propriétés HP 4 à HP 8, HP 10, HP 11 et HP 13 disposent de méthodes d'évaluation basées sur la connaissance en substances et l'application de règles de classement détaillées dans le Tableau 1.

Conformément au règlement n°2017/997, la propriété HP 14 disposera, à compter de juillet 2018, d'une méthode d'évaluation par calcul définie au niveau européen (également présentée dans le Tableau 1) et qui est de portée réglementaire. Ce

⁴ Règlement (UE) n°1357/2014 de la Commission du 18/12/14 remplaçant l'Annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

⁵ Règlement (UE) n°2017/997 du Conseil du 08/06/17 modifiant l'Annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la propriété HP 14 « écotoxique ».

règlement laisse toutefois la possibilité d'évaluer la propriété HP 14 via des essais, dont les résultats priment sur les calculs.

La propriété HP 15 est attribuée sur la base de la présence de substances portant l'une des mentions de danger H205, EUH001, EUH019 ou EUH044.

Pour les propriétés HP 9 et HP 12, aucune méthode normalisée à valeur réglementaire n'existe à l'heure actuelle en France ou en Europe.

Enfin, il convient de noter que la décision du 18 décembre 2014 a introduit le fait que le contenu d'un déchet en certains POP (polluants organiques persistants) était susceptible de conférer à ce déchet le statut de déchet dangereux à des seuils inférieurs à ceux associés aux propriétés HP correspondant aux dangers de ces molécules. Les substances POP concernées sont les suivantes : PCDD/F, DDT, chlordane, hexachlorocyclohexanes, dieldrine, endrine, heptachlore, hexachlorobenzène, chlordécone, aldrine, pentachlorobenzène, mirex, toxaphène, hexabromobiphényle et PCB.

Tableau 1 : Synthèse des règles de classement des propriétés de danger dont l'évaluation s'appuie sur la connaissance en substances des déchets

Prop.	Danger	Mentions de danger des substances prises en compte dans les calculs	Règles de classement
HP 4	Irritant	H314 Skin corr. 1A H318 Eye dam. 1 H315 Skin irrit. 2, H319 Eye irrit. 2	A : $\sum H314\ 1A \geq 1\ %$ B : $\sum H318 \geq 10\ %$ C : $\sum (H315\ \text{et}\ H319) \geq 20\ %$
HP 5	Nocif / Toxicité spécifique pour un organe cible (STOT) – toxicité par aspiration	H370 STOT SE 1 H371 STOT SE 2 H335 STOT SE 3 H372 STOT RE 1 H373 STOT RE 2 H304 Asp. Tox. 1	A : $\max (H370) \geq 1\ %$ B : $\max (H371) \geq 10\ %$ C : $\max (H335) \geq 20\ %$ D : $\max (H372) \geq 1\ %$ E : $\max (H373) \geq 10\ %$ F : $\max (H304) \geq 10\ %$ G : $\sum H304 \geq 10\ %$ et viscosité cinématique globale du déchet à 40 °C < 20,5 mm ² /s
HP 6	Toxique	H300 Acute Tox.1 (Oral) H300 Acute Tox. 2 (Oral) H301 Acute Tox. 3 (Oral) H302 Acute Tox 4 (Oral) H310 Acute Tox.1 (Dermal) H310 Acute Tox.2 (Dermal) H311 Acute Tox. 3 (Dermal) H312 Acute Tox 4 (Dermal) H330 Acute Tox 1 (Inhal.) H330 Acute Tox.2 (Inhal.) H331 Acute Tox. 3 (Inhal.) H332 Acute Tox. 4 (Inhal.)	A : $\sum H300\ 1 \geq 0,1\ %$ B : $\sum H300\ 2 \geq 0,25\ %$ C : $\sum H301 \geq 5\ %$ D : $\sum H302 \geq 25\ %$ E : $\sum H310\ 1 \geq 0,25\ %$ F : $\sum H310\ 2 \geq 2,5\ %$ G : $\sum H311 \geq 15\ %$ H : $\sum H312 \geq 55\ %$ I : $\sum H330\ 1 \geq 0,1\ %$ J : $\sum H330\ 2 \geq 0,5\ %$ K : $\sum H331 \geq 3,5\ %$ L : $\sum H332 \geq 22,5\ %$
HP 7	Cancérogène	H350 Carc. 1A et 1B H351 Carc. 2	A : $\max (H350) \geq 0,1\ %$ B : $\max (H351) \geq 1\ %$
HP 8	Corrosif	H314 Skin Corr. 1A, 1B et 1C	A : $\sum H314 \geq 5\ %$
HP 10	Toxique pour la reproduction	H360 Repr. 1A et 1B H361 Repr. 2	A : $\max (H360) \geq 0,3\ %$ B : $\max (H361) \geq 3\ %$
HP 11	Mutagène	H340 Muta. 1A et 1B H341 Muta. 2	A : $\max (H340) \geq 0,1\ %$ B : $\max (H341) \geq 1\ %$
HP 13	Sensibilisant	H317, H334	A : $\max (H317) \geq 10\ %$ B : $\max (H334) \geq 10\ %$
HP 14	Ecotoxique	H400, H410, H411, H412, H413	A : $\sum H400 \geq 25\ %$ B : $\sum (H410/0,25\ %) + (H411/2,5\ %) + (H412/25\ %) \geq 1$ C : $\sum (H410 + H411 + H412 + H413) \geq 25\ %$ D : $\max (H420) \geq 0,1\ %$

4. ANALYSES ET ESSAIS REALISES

« La Bauxaline® est le co-produit de fabrication de l'alumine. Il est obtenu par le procédé Bayer de l'usine ALTEO de Gardanne (dissolution de l'alumine contenue dans la bauxite par de la soude caustique liquide puis recristallisation de l'alumine). A la fin de la dissolution, deux phases sont présentes :

- le liquide, matière première de l'étape suivante de la fabrication d'oxyde d'aluminium,
- le solide... devient la Bauxaline® une fois lavé [et pressé].

Le filtre-presse en sortie de procédé rend la Bauxaline® pelletable avec une teneur en eau de l'ordre de 30%. » (ALTEO Fiche La Bauxaline® # 1 Caractéristiques générales).

L'échantillon fourni a été envoyé au laboratoire SGS Multilab (St Etienne du Rouvray) pour analyses selon la norme expérimentale NF X30-489. Cette dernière a été élaborée pour déterminer les éléments et substances contenus dans un déchet avec un bilan de masse satisfaisant.

L'échantillon a également été soumis à deux batteries d'essais écotoxicologiques (française et franco-allemande), soit au total 8 essais, pour évaluation de l'écotoxicité par tests (propriété HP 14) ; c'est ce même laboratoire qui a réalisé les essais écotoxicologiques.

Pour calculer la concentration maximale possible en soude et en chaux, l'alcalinité à pH 8.5 puis à pH 7 a été mesurée par titrage avec HCl 1N durant 24 h pour chaque pH au laboratoire de la plateforme Ardevie de l'INERIS (Aix-en-Provence).

La propriété HP 12, dégagement de gaz au contact d'un acide, a été mesurée suivant le mode opératoire élaboré dans ce même laboratoire⁶.

5. RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

Les résultats détaillés des analyses chimiques sont présentés dans les Tableaux 2, 3 et 4. L'examen de ces résultats montre qu'ils ne sont pas significativement différents de ceux que l'industriel avait fourni à l'INERIS pour réaliser, en 2012, le classement¹.

La mesure de l'alcalinité du pH naturel au pH 8.5 est de 0.194 mol OH⁻/kg.

Du gaz s'est dégagé au contact d'un acide (10.2 litres de gaz par kg). Ce gaz a été identifié comme étant du CO₂, ne présentant pas de toxicité aiguë.

⁶ Hennebert P, Molina P. 2015. Propriété de danger des déchets HP 12 – Proposition d'une méthode d'évaluation et premiers résultats. Rapport INERIS DRC-14-141679-08275A. 21/10/2014. 26 p. <http://www.ineris.fr/centredoc/rapport-hp-12-drc-14-141679-08275a-vf2-1472120985.pdf>

Tableau 2 : Analyses de Bauxaline® : teneurs élémentaires totales

Analyses	Méthodes	Unités	Concentration
Matière sèche sur brut	MO242-NFISO11465 adaptée	%	98.6
Perte au feu sur sec	Calcination	%	9.2
Carbone organique total COT	DIN EN 13137	% (w/w)	0.2
Mise en solution NF ISO 13657 adaptée (ME-0272 Eau Régale) et FD CEN/TR 15018 adaptée (MO-0212 Fusion Alcaline)			-
Fer sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	346000
Aluminium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	80300
Titane sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	40500
Sodium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	28200
Silicium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	24600
Calcium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	22500
Chrome sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	1570
Potassium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	1390
Phosphore sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	1110
Vanadium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	696
Soufre sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	568
Magnésium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	290
Manganèse sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	233
Zinc sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	143
Zirconium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	114
Gallium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	91.5
Strontium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	76.7
Cobalt sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	71
Baryum sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	54.8
Plomb sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	34.5
Tellure sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	20
Thallium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	20
Nobium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	12
Chrome VI sur sec	NF EN 15192	mg/kg	4.6
Cadmium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	0.80
Mercure en Fluo.Atom.Vap.Froide sur sec	ME272-EN16772 adaptée	mg/kg	0.30

Analyses	Méthodes	Unités	Concentration
Cuivre sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Molybdène sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Antimoine sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Selenium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Or sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Beryllium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Bismuth sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Germanium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Hafnium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Indium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Lithium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Palladium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Rhenium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Tantale sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Tungstene sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Uranium sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Etain sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<10
Nickel sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<5
Arsenic sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<5
Bore sur sec	MO176-EN ISO11885 adaptée	mg/kg	<5

Tableau 3 : Analyses de Bauxaline® : teneurs lixiviables

Analyses	Méthodes	Unités	Concentration
Lixiviation		%	0.0
Refus à 4 mm	NF EN 12457-2 adaptée	%	0.0
pH lixivié	NF EN 12457-2 adaptée		10.9
Conductivité lixivié	NF EN 12457-2 adaptée	µS/cm	1330.0
Fluorure lixiviable sur sec	NF EN ISO 10304-1	mg/kg	128
Chlorure lixiviable sur sec	NF EN ISO 10304-1	mg/kg	149
Bromure lixiviable sur sec	NF EN ISO 10304-1	mg/kg	<1
Sulfate lixiviable sur sec	NF EN ISO 10304-1	mg/kg	197
Iodure (I-) sur sec	Potentiométrie	mg/kg	<1
Cyanures libres sur sec	Cellule de Conway/Ampérométrie	mg/kg	<1
Fraction soluble	EN 12457-2 DIN EN 15216	mg/kg	9200
Arsenic lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	1.17
Selenium lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	0.22
Baryum lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	1.3
Cadmium lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0,005
Chrome lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	0.78
Chrome (VI) lixiviable sur sec	EN 12457-2 DIN 38405-24	mg/kg	0.5
Cuivre lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0.05
Molybdène lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	0.8
Nickel lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0.05
Plomb lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0.05
Antimoine lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0.05
Vanadium lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	25.8
Zinc lixiviable sur sec	NF EN ISO 17294-2	mg/kg	<0.1
Mercure lixiviable sur sec	NF EN ISO 17852	mg/kg	< 0.01
Carbone organique total lixiviable sur sec	EN 12457-2 EN 1484	mg/kg	190
Indice phénol lixiviable sur sec	EN 12457-2 EN ISO 14402	mg/kg	<0.1

Tableau 4 : Analyses de Bauxaline® : teneurs organiques totales

Analyses organiques	Méthodes	Unités	Concentration
Carbone organique total COT	DIN EN 13137	% (w/w)	0.2
Hydrocarbures totaux (C10-C40) sur sec	NFEN14039 (agitation)	mg/kg	64
Méthanol sur sec	HS/GC/MS	mg/kg	<1000
HAP			
Naphtalène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Acénaphthylène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Acénaphène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Fluorène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Phénanthrène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Anthracène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Fluoranthène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Pyrène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Benzo(a)anthracène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Chrysène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Benzo(b)fluoranthène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Benzo(k)fluoranthène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Benzo(a)pyrène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Dibenzo(a,h)anthracène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Benzo(g,h,i)pérylène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	NFEN15527adaptée	mg/kg	<0.1
PCB			
PCB 20	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 28	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 31	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 44	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 52	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 18	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 180	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 194	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003

Analyses organiques	Méthodes	Unités	Concentration
PCB 101	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 105	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 118	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 138	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 149	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 153	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 156	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
PCB 170	DIN 38414-20	mg/kg	<0.003
Composés organiques volatils			
Benzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Toluène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Ethylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
m,p-Xylènes sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<8
o-Xylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Styrène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Isopropylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
n-Propylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
1,3,5-Triméthylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
1,2,4-Triméthylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Secbutylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
1,2,3-Triméthylbenzène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<4
Chlorure de vinyle sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<1
1,1-Dichloroéthylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
1,1,2-Trichlorotrifluoroéthane (CFC-113) sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
Dichlorométhane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
trans-1,2-Dichloroéthylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
1,1-Dichloroéthane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
cis-1,2-Dichloroéthylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<40
Bromochloromethane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
Chloroforme sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
Tétrachlorure de carbone sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<0.2
1,1,1-Trichloroéthane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<1
1,2-Dichloroéthane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20

Analyses organiques	Méthodes	Unités	Concentration
Trichloroéthylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<1
1,2-Dichloropropane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
Bromodichlorométhane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<1
cis-1,3-Dichloropropène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
Tétrachloroéthylène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
trans-1,3-Dichloropropène sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
1,1,2-Trichloroéthane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
Dibromochlorométhane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
1,3-Dichloropropane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
1,2-Dibromoéthane sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<20
Bromoforme sur sec	ME386- EN ISO22155 adaptée	mg/kg	<2
Composés semi-volatils par screening	Mention de danger		
9-Octadécen-1-ol, (Z)- C18H36O 143-28-2	H: 315	mg/kg	31.7
1-Hexadécanol C16H34O 36653-82-4	H: 315;319;413	mg/kg	12.51
1-Octadécanol C18H38O 112-92-5	H: 225;302;315;319;332;335	mg/kg	10.15
γ-Sitosterol C29H50O 83-47-6	H: no data	mg/kg	5.73
Cholesta-4,6-dien-3-ol, (3β)- C27H44O 14214-69-8	H: no data	mg/kg	3.05
1-Tétradécanol C14H30O 112-72-1	H: 315;412	mg/kg	1.46
n-Hexadécanoic acid C16H32O2 57-10-3	H: 319	mg/kg	0.89
Pentanedioic acid, dimethyl ester C7H12O4 1119-40-0	H: No	mg/kg	0.84
Hexanedioic acid, dimethyl ester C8H14O4 627-93-0	H: No	mg/kg	0.77
2-Pentanol, 2,4-diméthyl- C7H16O 625-06-9	H: 226;302;315;318;335	mg/kg	0.4
9-Octadécenal, (Z)- C18H34O 2423-10-1	H: no data	mg/kg	0.38
Isophorone C9H14O 78-59-1	H: 302;312;319;335;351	mg/kg	0.28
Ethanol, 2-phénoxy- C8H10O2 122-99-6	H: 319;302-	mg/kg	0.24
Dibutyl phthalate C16H22O4 84-74-2	H: 360Df;400	mg/kg	0.05
Substances Organiques non extractibles sur sec	par calcination à 550°C	%	9.1

6. CLASSEMENT EN DANGEROUSITE

Le classement est mené selon le guide de référence en vigueur⁷, appliquant les décisions européennes de 2014^{3,4, 5}.

Les « boues rouges » et par extension la Bauxaline®, sont considérées à juste titre, comme un déchet de l'industrie extractive (cf. § 6.1 de ce rapport) ; la directive sur la gestion des déchets des industries extractives⁸ renvoie pour ce qui concerne le caractère dangereux de ces déchets, à la réglementation « Déchets » : le classement pratiqué dans ce rapport est donc également valable pour cette directive.

6.1 CLASSEMENT SUIVANT LA LISTE EUROPEENNE DES DECHETS

Les entrées applicables sont les suivantes :

Tableau 5 : Entrées de la Liste Européenne des Déchets applicables à la Bauxaline®

Chapitre 01	déchets provenant de l'exploration de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux
Ss-chapitre 01 03	déchets provenant de la transformation physique et chimique des minéraux métallifères
01 03 04*	stériles acidogènes provenant de la transformation du sulfure
01 03 05*	autres stériles contenant des substances dangereuses
01 03 06	stériles autres que ceux visés aux rubriques 01 03 04 et 01 03 05
01 03 07*	autres déchets contenant des substances dangereuses provenant de la transformation physique et chimique des minéraux métallifères
01 03 08	déchets de poussières et de poudres autres que ceux visés à la rubrique 01 03 07
01 03 09	boues rouges issues de la production d'alumine autres que celles visées à la rubrique 01 03 10
01 03 10*	boues rouges issues de la production d'alumine contenant des substances dangereuses, autres que les déchets visés à la rubrique 01 03 07
01 03 99	déchets non spécifiés ailleurs

N.B. : (*) L'astérisque indique le caractère dangereux du déchet

Les boues rouges sont donc classées en double entrée alternative 01 03 09 non dangereuse et 01 03 10* dangereuse. Par extension, la Bauxaline® sera également classée en double entrée alternative puisqu'elle est le résultat d'une filtration et d'un lavage des boues rouges.

⁷ Rebuschung F, Hennebert P. 2016. Classification réglementaire des déchets. Guide d'application pour la caractérisation en dangerosité. Rapport d'étude INERIS DRC-15-149793-06416A. 04/02/2016. 288 p. <http://www.ineris.fr/centredoc/rapport-drc-15-149793-06416a-guidehp-vf2-1456135314.pdf>

⁸ Directive n° 2006/21/CE du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive et modifiant la directive 2004/35/CE

6.2 CLASSEMENT PAR LES PROPRIETES DE DANGER HP 1 A HP 15

6.2.1 PROPRIETES HP 1 'INFLAMMABLE', HP 2 'COMBURANT', HP 3 'COMBUSTIBLE'

La Bauxaline® ne possède pas ces propriétés, de par son origine (la bauxite est un produit d'altération des sols en milieu tropical humide) et de par son procédé de production (sans produits inflammables à teneur significative (voir 6.2.3.2), ni comburants, ni explosifs).

6.2.2 PROPRIETE HP 9 'INFECTIEUX'

La définition de cette propriété est laissée aux Etats Membres et une méthode sera bientôt proposée⁹. Quoi qu'il en soit, la Bauxaline® ne possède pas cette propriété de par son origine et de par le procédé de fabrication.

6.2.3 PROPRIETES HP 4 'IRRITANT', HP 5 'TOXICITE SPECIFIQUE POUR UN ORGANE CIBLE / TOXICITE PAR ASPIRATION', HP 6 'TOXIQUE', HP 7 'CANCEROGENE', HP 8 'CORROSIF', HP 10 'TOXIQUE POUR LA REPRODUCTION', HP 11 'MUTAGENE', HP 13 'SENSIBILISANT'

6.2.3.1 ELEMENTS

Les teneurs totales en éléments majeurs et mineurs dans la Bauxaline® sont présentées au Tableau 1, et les teneurs lixiviables au Tableau 2.

Les éléments doivent être spéciés en substances pour le classement, car ce sont les substances qui disposent de mentions de danger. Des méthodes de référence existent¹⁰. Toutefois, la Bauxaline® est un cas simple, et il est fait ici l'hypothèse, en accord avec la littérature sur le sujet, que les éléments sont présents sous forme d'oxydes, d'hydroxydes ou de carbonates, et en partie sous forme d'aluminosilicates néoformés (cancrinite, comprenant du silicium, de l'aluminium et du sodium).

- Eléments majeurs hors Na, Ca

Pour les éléments majeurs Fe, Al, Ti, Si, K, P, S, Mg et Mn, les composés correspondants ne sont pas classés comme substances dangereuses dans l'annexe VI tableau 3.2 du règlement CLP¹¹.

- Concentration maximale calculée en soude et en chaux

L'alcalinité mesurée à pH 8.5 est de 0.194 mol OH⁻/kg. Si la totalité de cette alcalinité est attribuée à la soude résiduelle après lavage en filtre-pressé, la concentration en

⁹ Hennebert P. 2017. Evaluation de la propriété de danger des déchets HP 9 'Infectieux' : Etat sommaire des méthodes existantes et propositions de méthode. Rapport INERIS DRC-16-159393-07763A. A paraître. 50 p.

¹⁰ AFNOR 2015. Abdelghafour M, David F, Domas J, Gemise-Fareau C, Hennebert P, Humez N, Laborde E, Louchez G, Piantone P, Rebischung F, Vernus E. 2015. Animateur P Hennebert. Fascicule de documentation X 30-494. Caractérisation des déchets - Spéciation des éléments dans les déchets. 19 p.

¹¹ Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006

soude est de 7.7 g/kg ou 0.77 %. La teneur totale en sodium est de 28.2 g/kg, soit une valeur bien supérieure ; la majorité du sodium n'est donc pas sous forme d'hydroxydes mais sous d'autres formes minérales comme les minéraux néoformés, déjà cités. Cette concentration calculée en soude est maximale car une partie de cette alcalinité est attribuable à la chaux résiduelle du procédé, et à d'autres oxydes ou carbonates solubles à pH supérieur à 8.5 (KOH, Mg(OH)₂, NaHCO₃, Na₂CO₃, KHCO₃, K₂CO₃, Mg(HCO₃)₂, MgCO₃). Si la totalité de cette alcalinité est attribuée à la chaux résiduelle, la concentration en chaux est de 14.3 g/kg ou 1.43 %.

Les mentions de danger de l'hydroxyde de sodium, l'annexe VI tableau 3.2 du règlement CLP et les limites de concentration pour la classification des produits et des déchets sont présentées au Tableau 6. Dans les produits, les mentions de danger de la soude dépendent de sa concentration. Un mélange sera corrosif cutané de classe 1A (H314) s'il contient plus de 5 % de soude caustique, corrosif cutané de classe 1B (H314) s'il contient entre 2 et 5 % de soude caustique, irritant pour la peau (H315) entre 0.5 % et 2 %, et irritant oculaire de classe 2 (H319) s'il contient entre 0.5 % et 2 % de soude caustique. Les teneurs pour le classement des déchets sont différentes (dernière colonne du tableau). Les mentions de danger H314, H315 et H319 seront utilisées ici pour le classement de la Bauxaline®.

La concentration maximale calculée (de 0.77 %) est inférieure à 1 %, et donc la Bauxaline® n'est pas dangereuse par sa teneur en NaOH selon la réglementation des déchets.

Tableau 6 : Propriétés de la soude, du chrome(VI) et de l'oxyde de vanadium selon le règlement CLP, règles de classement et limites de concentration applicables aux déchets

CAS No	International Chemical Identification	Hazard Class and Category Code(s)	Hazard Statement Code(s)	Specific Conc. Limits (Products), M-factors	Concentration limits Waste 2014
1310-73-2	sodium hydroxide; caustic soda	Skin Corr. 1A	H314	Skin Corr. 1A; H314: C ≥ 5 % Skin Corr. 1B; H314: 2 % ≤ C < 5 % Skin Irrit. 2; H315: 0,5 % ≤ C < 2 % Eye Irrit. 2; H319: 0,5 % ≤ C < 2 %	HP 4 Irritant: ∑ (H314-1A) ≥ 1% HP8 Corrosive: ∑ H314 ≥ 5% HP 4 Irritant: ∑ (H315 et H319) ≥ 20%
024-017-00-8	Chromium (VI) compounds, with the exception of barium chromate and of compounds specified elsewhere in this Annex	Carc. 1B	H350i		HP7 Cancerogenic: max (H350) ≥ 0.1%
		Skin Sens. 1	H317		HP13 Sensitising: max (H317) ≥ 10%
		Aquatic Acute 1	H400	M _{acute} =10	HP14 Ecotoxic: ∑ (H400*M _{acute}) ≥ 25%
		Aquatic Chronic 1	H410	M _{chronic} =10	HP14 Ecotoxic: ∑ (H410*10*M _{chronic}) + (H411) ≥ 25%
1314-62-1	divanadium pentaoxide; vanadium pentoxide	Muta. 2	H341		HP11 Mutagenic: max (H341) ≥ 1%
		Repr. 2	H361d ***		HP10 Toxic for reproduction: max (H361) ≥ 3%
		STOT RE 1	H372 **		HP5 STOT Respiration: max (H372) ≥ 1%
		Acute Tox. 4 *	H332		HP6 Toxic Oral: ∑ H332 ≥ 22.5%
		Acute Tox. 4 *	H302		HP6 Toxic Oral: ∑ H302 ≥ 25%
		STOT SE 3	H335		-
		Aquatic Chronic 2	H411		HP14 Ecotoxic: ∑ (H410*10*M _{chronic}) + (H411) ≥ 25%

Concernant la chaux, elle n'est pas classée par le règlement CLP ; par contre, la chaux hydratée Ca(OH)₂ est classée dans le système d'enregistrement de l'ECHA (déclarations de centaines de producteurs en Europe <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/16187/2/1>) selon le Tableau 7.

Tableau 7 : Propriétés de la chaux selon les déclarants du dossier d'enregistrement auprès de l'ECHA

CAS No	International Chemical Identification	Hazard Class and Category Code(s)	Hazard Statement Code(s)	Specific Conc. Limits (Products), M-factors	Concentration limits Waste 2014
1305-62-0	Calcium dihydroxide	Causes skin irritation	H315		HP 4 Irritant: \sum (H315, H319) \geq 20%
		Causes serious eye damage	H318		HP 4 Irritant: \sum H318 \geq 10%
		May cause respiratory irritation	H335		HP 5 STOT Respiration: max H335 \geq 5%

La teneur maximale calculée en chaux (de 1.43 %) est inférieure à 5 %, et donc la Bauxaline® n'est pas dangereuse par sa teneur en chaux.

- Eléments mineurs

Parmi les éléments mineurs dont certaines formes présentent une mention de danger, seuls le chrome et le vanadium ont une teneur significative (Tableau 2).

Le **chrome** est présent sous forme de chrome(III) (1 570 mg/kg) et très faiblement sous forme de chrome(VI) (chromate CrO_4^{2-}) (4.6 mg/kg). Les chromates sont retrouvés dans les lixiviats à une concentration de 0.5 mg/kg (Tableau 3). Le chrome(III) et ses composés n'ont pas de mention de danger, à l'inverse des composés du chrome(VI). La concentration en chrome(VI) n'est pas classante.

La forme du **vanadium** dans la Bauxaline® n'est pas connue. Le seul composé du vanadium (hors composés organiques de synthèse non présents ici) mentionné dans le CLP est l'oxyde de vanadium V_2O_5 . La teneur en vanadium est de 696 mg/kg, ce qui correspondrait à une teneur en V_2O_5 de 1242 mg/kg ou 0.12 %. Les mentions de danger de cette substance sont présentées au Tableau 6. La concentration en V_2O_5 est inférieure aux limites de concentration classantes.

6.2.3.2 SUBSTANCES ORGANIQUES

Les substances organiques sont présentées au Tableau 4. Selon la littérature, la digestion par la soude transforme les composés organiques naturels du minerai (présents à faibles teneurs) en composés de l'acide oxalique ; ces composés, solubles, ne sont pas spécifiquement recherchés car ils sont probablement inclus dans le COT lixiviable.

L'examen des fiches de données de sécurité d'un additif antimousse (AQUAPROX DFP 4936 L - AQ612340) indique entre 2.5 et 10 % d'isobutanol (Flam. Liq. 3, H226 ; STOT SE 3, H335 ; Skin Irrit. 2, H315 ; Eye Dam. 1, H318 ; STOT SE 3, H336) et entre 2.5 et 10 % de 2-ethyl-hexanol (Eye Irrit. 2, H319). Une version plus ancienne de cette FDS indique une composition de cet antimousse entre 60 et 70 % d'huile minérale, 7 à 10 % d'un alcool aliphatique et 5 à 7 % d'un autre alcool aliphatique. Quoiqu'il en soit, ces substances ne sont pas retrouvées dans l'échantillon.

D'après l'analyse, le carbone organique total est présent à la concentration de 0.2% (Tableau 4). Les hydrocarbures totaux (C10-C40) à la concentration de 68 mg/kg, soit une concentration non classante quel que soit le type d'hydrocarbures. Les substances dangereuses (HAP, PCB, COV) ne sont pas présentes. Des substances détectées en screening des semi-volatils comportent des alcools qui ont des mentions de danger (voir Tableau 4) mais à des concentrations non classantes. Ces alcools ont des poids moléculaires nettement plus élevés (16 à 18 carbones) que ceux déclarés dans l'antimousse.

6.2.3.3 SYNTHÈSE POUR LES PROPRIÉTÉS HP 4 A HP 13 (HORS HP 9 ET HP 12)

Les propriétés de danger HP 4 à HP 13, hors HP 9 et HP 12, ont été évaluées sur la base de la connaissance en substances de la Bauxaline® ; suite à la caractérisation de l'échantillon fourni et moyennant les hypothèses justifiées par la littérature sur la spéciation de certains éléments, on peut établir que la Bauxaline® n'est visée par aucune de ces propriétés.

6.2.4 PROPRIÉTÉ HP 12

Les déchets dangereux par HP 12 sont les « *déchet[s] qui dégage[nt] des gaz à toxicité aiguë (Acute tox. 1, 2 ou 3) au contact de l'eau ou d'un acide.* ». « *Lorsqu'un déchet contient une substance à laquelle est attribuée l'une des informations additionnelles sur les dangers EUH029, EUH031 et EUH032, il est classé comme déchet dangereux de type HP 12 conformément aux méthodes d'essai ou aux lignes directrices.* ». Ces substances sont des intermédiaires chimiques ou des produits (oxydants, blanchissants, désinfectants) susceptibles de dégager PH₃, HCN, HF, H₂S, SO₂, HCl et Cl₂.

Le contact avec l'eau a déjà eu lieu au cours du procédé et le test n'a pas à être reconduit.

Le contact avec un acide a fourni 10.2 litres de gaz/kg MS de Bauxaline®. Ce gaz a été identifié comme du CO₂, provenant donc de la réaction des carbonates et bicarbonates de l'échantillon. Comme il ne s'agit pas d'un des gaz mentionnés ci-dessus, la Bauxaline® ne contient pas de substances EUH029, EUH031 et EUH032, et n'est donc pas classée dangereuse pour HP 12.

6.2.5 PROPRIÉTÉ HP 15

Les déchets dangereux par HP 15 sont les :

« *déchet[s] capable[s] de présenter une des propriétés dangereuses susmentionnées que ne présente pas directement le déchet d'origine* ». « *Lorsqu'un déchet contient une ou plusieurs substances portant l'une des mentions de danger ou informations additionnelles sur les dangers indiquées [ci-après], le déchet est classé comme déchet dangereux de type HP 15, à moins qu'il ne se présente sous une forme telle qu'il ne risque en aucun cas de présenter des propriétés explosives ou potentiellement explosives* ».

Les mentions de danger sont les suivantes : « Danger d'explosion en masse en cas d'incendie », H205 ; « Explosif à l'état sec », EUH001 ; « Peut former des peroxydes organiques », EUH019 ; « Risque d'explosion si chauffé en ambiance confinée », EUH044.

La Bauxaline® est peu évolutive, hormis une lixiviation de sels solubles et une carbonatation. Les sels solubles ne sont pas une autre substance et sont pris en compte dans les analyses chimiques totales. La carbonatation des hydroxydes aboutit à une réduction de la solubilité des cations et métaux correspondants. Le carbone organique est présent en faible concentration (0.2 %, Tableau 2) et donc peu susceptible de permettre un développement microbologique produisant du carbone soluble ou une réduction du potentiel redox. Ce matériau est hydraté et oxydé. Il ne contient pas de sulfures, car il est oxydé, et le test HP 12 n'a pas détecté d'émission d'H₂S au contact d'un acide. Il n'est pas concerné par les mentions de danger citées au paragraphe précédent. Ces observations nous conduisent à considérer que la Bauxaline® n'est pas classée dangereuse pour la propriété HP 15.

6.2.6 PROPRIETE HP 14 'ECOTOXIQUE'

6.2.6.1 METHODES DE DETERMINATION DE LA PROPRIETE HP 14

La propriété de danger HP 14 (écotoxique) est la seule pour laquelle différentes méthodes d'évaluation coexistent, certaines reposant sur des calculs basés sur la composition en substances du déchet, d'autres sur des essais écotoxicologiques. Ces deux options sont mises en œuvre depuis de nombreuses années.

Jusqu'en 2017, aucune méthode n'était définie au niveau européen pour l'évaluation de cette propriété, laissant aux Etats-Membres le soin de proposer des solutions au niveau national. En France, le guide⁷ de l'INERIS relatif à la classification réglementaire des déchets de février 2016 rappelle ainsi que deux méthodes sont couramment appliquées :

- une batterie de 6 tests écotoxicologiques¹², issue de travaux démarrés à la fin des années 1990 (dite « batterie française »),
- une méthode par calcul, dérivée de la classification des déchets appliquée dans le cadre de la réglementation Seveso.

Toutefois, aucune de ces deux méthodes n'avait de statut réglementaire.

Depuis 2012, de nombreux travaux ont été menés au niveau européen pour tenter d'aboutir à un consensus concernant l'évaluation de la propriété HP 14. Cela a notamment conduit la Commission Européenne à publier en juin 2017 le règlement 2017/997⁵, qui porte au niveau réglementaire une méthode d'évaluation par calcul (dite « M1 »), applicable dans tous les Etats-Membres dès juillet 2018.

Concernant les essais écotoxicologiques, des travaux, basés sur un large programme d'essais interlaboratoire conduit en 2006, ont été réalisés conjointement en Allemagne et en France en vue de proposer une batterie de 6 essais (dite « batterie franco-allemande»), publiée en 2013¹³, toutefois non encore adoptée au niveau communautaire.

Les batteries française et franco-allemande (cf. Tableau 8) se différencient dans le choix et la répartition des essais, avec :

- 4 essais d'écotoxicité aquatique et 2 essais d'écotoxicité terrestre pour l'approche française ;
- 3 essais d'écotoxicité aquatique et 3 essais d'écotoxicité terrestre pour l'approche franco-allemande.

La spécificité des batteries concerne :

- les essais d'inhibition de la reproduction de *Ceriodaphnia dubia* et de la létalité des vers de terre *Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei* pour l'approche française ;

¹² Cette batterie n'ayant jamais été intégrée dans la réglementation nationale, elle a elle-même subi des évolutions au fil des années, et des alternatives ont été proposées, notamment par la Fédération Nationale des Activités de Dépollution et de l'Environnement en 2003, pour substituer l'essai d'inhibition de la reproduction de *C. dubia* par l'essai d'inhibition de la reproduction de *Brachionus calyciflorus* afin de réduire le coût de la démarche d'évaluation.

¹³ Pandard P. & Roembke J. Proposal for a Harmonized strategy for the assessment of the HP 14 property. IEAM. 2013. 9(4) : 665-672.

- les essais d'inhibition de l'activité déshydrogénase de *Arthrobacter globiformis* et d'évitement des vers de terre *Eisenia fetida* pour l'approche franco-allemande ;
- les essais sur végétaux supérieurs avec *Lactuca sativa* pour la batterie française et *Brassica Rapa* pour l'approche franco-allemande.

Les autres essais sont communs aux deux approches.

Enfin, en 2017, des limites de concentration, en adéquation avec la Liste européenne des Déchets, ont été définies pour la batterie franco-allemande (cf. Tableau 8 – batterie franco-allemande – limites de concentration retenues par l'INERIS). Ces limites, validées sur un échantillon de 10 déchets non dangereux et 13 déchets dangereux¹⁴, sont en cours d'examen par le Ministère en charge de l'Ecologie et pourraient être retenues à l'avenir pour l'évaluation par essais du caractère écotoxique d'un déchet en France.

¹⁴ Hennebert P. 2017. Proposal of concentration limits for determining the hazard property HP 14 for waste using ecotoxicological tests. Waste Management, available online 6 December 2017, Vol 74 (2018), pp 74–85.

Tableau 8 : Récapitulatif des deux batteries d'essais écotoxicologiques et seuils associés

Organisme	Options de réalisation possibles	Paramètre mesuré	Expression des résultats	Norme	Batterie française, limites de concentration	Batterie franco-allemande, limites de concentration retenues par l'INERIS
Microtox Vibrio fischeri	Bactéries lyophilisées (fraîches ou congelées en alternative)	Inhibition de la luminescence	CE ₅₀	EN ISO 11348-3 (2009)	CE ₅₀ <10%	CE ₅₀ <15%
Algues	Pseudokirchneriella subcapitata ou Desmodesmus subspicatus	Inhibition de la croissance	CE ₂₀ / CE ₅₀	EN ISO 8692 (2012)	P. subcapitata : CE ₂₀ <1%	P. subcapitata : CE ₅₀ <10%
Daphnies	/	Inhibition de la mobilité	CE ₅₀	EN ISO 6341 (2012)	CE ₅₀ <10%	CE ₅₀ <10%
Cério-daphnies	/	Inhibition de la reproduction	CE ₂₀	NF ISO 20665 (2009)	CE ₂₀ <1%	/
Arthrobacter globiformis	/	Inhibition de l'activité de la déshydrogénase	CE ₅₀	ISO 18187 (2016)	/	CE ₅₀ <5%
Végétaux supérieurs	1 ou 2 espèces	Inhibition de la croissance	CE ₅₀	EN ISO 11269-2 (AFNOR 2013)	Laitue (L. sativa) : CE ₅₀ <10%	Navet (B. rapa) : CE ₅₀ <15%
Vers de terre	Eisenia fetida	Mortalité	CE ₅₀	EN ISO 11268-1 (2012)	CE ₅₀ <10%	/
Vers de terre	Eisenia fetida	Evitement	CE ₅₀	ISO 17512-1 (2007)	/	CE ₅₀ <5%

6.2.6.2 EVALUATION DE HP 14 PAR CALCUL

Le calcul est présenté pour l'écotoxicité chronique, plus sévère que l'écotoxicité aiguë et sur la base des substances identifiées dans l'échantillon. La somme des concentrations des 9 éléments ayant des substances avec mention de danger H410 (Zn, Pb, Cu, Se, Ni, As, Cr(VI), Cd et Hg - Tableau 2) est de 203 mg/kg. La concentration de la substance avec la mention de danger H411 (V₂O₅) est de 1242 mg/kg (cf. § 5).

En utilisant la méthode dite « Méthode 2 avec facteurs M étendus » (applicable à ce jour en France, voir Guide cité⁷), la somme des concentrations des éléments ayant des substances avec mention de danger H410 multipliées par leur facteur M_{chronique} respectif est de 2 086 mg/kg exprimé en éléments, et pour H411, de 1 242 mg/kg. La somme complète selon l'équation rappelée au Tableau 5 (qui comporte un facteur 10 pour H410) :

$$\text{HP14 Ecotoxic: } \sum (\text{H410} \cdot 10 \cdot \text{M}_{\text{chronic}}) + (\text{H411}) \geq 25\%$$

est de 22 102 mg/kg ou 2.2 %. Ce résultat sera majoré si les éléments ayant la propriété H410 sont exprimés en substances, mais restera bien inférieur à la limite de concentration de 25 %.

En utilisant la méthode⁵ dite « M1 » sans facteurs M, adoptée par l'UE en juin 2017, la formule devient :

$$\text{HP14 Ecotoxic: } \sum (\text{H410} \cdot 100) + (\text{H411} \cdot 10) + \text{H412} \geq 25\%$$

et la somme de l'équation est de 203*100 + 1242*10 + 0 = 32 740 mg/kg ou 3.3 %, et reste bien inférieure à 25%.

La propriété HP 14 évaluée par calcul ne classe pas la Bauxaline® comme déchet dangereux, que ce soit par la méthode dite « M2 avec facteurs M étendus », applicable en France jusqu'à ce jour, ou par la méthode dite « M1 » qui sera d'application réglementaire à compter de juillet 2018.

6.2.6.3 DETERMINATION DE HP 14 PAR ESSAIS

Bien qu'en juillet 2018, la méthode par calcul dite « M1 » sera la seule méthode inscrite dans la réglementation, la propriété HP 14 a aussi été déterminée par essais écotoxicologiques afin d'en avoir une approche exhaustive.

Les deux batteries, française et franco-allemande avec les limites de concentration retenues par l'INERIS (cf. Tableau 8), ont été pratiquées. Pour les essais aquatiques, les lixiviats ont été neutralisés à pH 8.5 puis filtrés, conformément à la recommandation du guide de classement⁷.

Il convient cependant de noter que certains modes opératoires n'étant pas définis au niveau international et donc non précisés au sein des normes existantes, il a dû être demandé au laboratoire de refaire certains essais suite à l'exploitation des premiers résultats mettant en évidence des écarts par rapport aux protocoles recommandés dans le guide INERIS¹⁵.

¹⁵ Protocoles identiques à ceux pratiqués pour le classement en dangerosité de la Bauxaline® en 2012 - Rapport INERIS n° DRC-12-125645-11177A

Il s'agit en particulier des essais aquatiques susceptibles d'être réalisés sur échantillon brut ou après neutralisation des lixiviats et avant ou après filtration.

Ces essais ont été reconduits au cours du 1^{er} trimestre 2018.

Les résultats des essais sont présentés dans les Tableaux 9 et 10. L'échantillon n'est pas classé écotoxique.

*Tableau 9 : Tests écotoxicologiques
(batterie française - Guide de classement de déchets 2016)*

Tests	Norme	Expression des résultats : Concentration en déchet générant xx% d'effet (CE _{xx})	Durée	Limite de concentration (taux de déchet dans le milieu de culture) : Ecotoxique si CE _{xx} mesuré < LC	Résultat RN17-26757.001 (17AM251)	Classement
Ecotoxicité aquatique (déchet liquide ou lixiviats de déchet solide) (lixiviats ajustés entre pH 5.5 et 8.5 et filtrés)						
Inhibition de la luminescence de la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	EN ISO 11348-3 (2009)	CE ₅₀	30 m	< 10 %	>80%	Non écotoxique
Inhibition de la croissance de l'algue <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	EN ISO 8692 (2012)	CE ₂₀	3 j	< 1 %	>14%	Non écotoxique
Inhibition de la mobilité du crustacé <i>Daphnia magna</i>	EN ISO 6341 (2012)	CE ₅₀	48 h	< 10 %	>80%	Non écotoxique
Inhibition de la reproduction du crustacé <i>Ceriodaphnia dubia</i>	NF ISO 20665 (2009)	CE ₂₀	7 j	< 1 %	[1-10]%	Non écotoxique
Ecotoxicité terrestre (déchet solide)						
Inhibition de la croissance de la plante supérieure <i>Lactuca sativa</i>	EN ISO 11269-2 (2013)	CE ₅₀	14 j	< 10 %	>10%	Non-écotoxique
Mortalité du ver de terre <i>Eisenia fetida</i>	EN ISO 11268-1 (2012)	CE ₅₀	14 j	< 10 %	[25-50]%	Non-écotoxique

Tableau 10 : Tests écotoxicologiques (batterie franco-allemande)

Tests	Norme	Expression des résultats : Concentration en déchet générant 50% d'effet (CE ₅₀)	Durée	Limite de concentration (taux de déchet dans le milieu de culture) : Ecotoxique si CE ₅₀ mesuré < LC	Résultat RN17-26757.001 (17AM251)	Classement
Ecotoxicité aquatique (déchet liquide ou lixiviat de déchet solide)						
Inhibition de la luminescence de la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	EN ISO 11348-3 (2009)	CE ₅₀	30 m	< 15 %	>80%	Non-écotoxique
Inhibition de la croissance de l'algue <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	EN ISO 8692 (2012)	CE ₅₀	3 j	< 10 %	>14%	Non écotoxique
Inhibition de la mobilité du crustacé <i>Daphnia magna</i>	EN ISO 6341 (2012)	CE ₅₀	48 h	< 10 %	>80%	Non-écotoxique
Ecotoxicité terrestre (déchet solide)						
Inhibition au contact du sol de la déshydrogénase du micro-organisme <i>Arthrobacter globiformis</i>	ISO 18187 (2014)	CE ₅₀	6 h	< 5 %	66%	Non-écotoxique
Inhibition de la croissance de la plante supérieure <i>Brassica rapa</i>	EN ISO 11269-2 (2013)	CE ₅₀	14 j	< 15 %	>15%	Non-écotoxique
Evitement du ver de terre <i>Eisenia fetida</i>	ISO 17512-1 (2007)	CE ₅₀	48 h	< 5 %	38%	Non-écotoxique

6.3 CONTENU EN POP (POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS)

Compte tenu des caractéristiques de la bauxite et du procédé de fabrication d'où est issue la Bauxaline®, ce déchet ne peut contenir un ou plusieurs POP concernés pour le classement en dangerosité (cf. chap. 3) : les dioxines et furannes sont formées au cours de combustion ou d'incinération (ce qui n'est pas le cas dans le procédé Bayer), et les pesticides et les PCB ne sont a priori pas présents dans le minerai, ne sont pas utilisés dans le procédé et n'ont pas été détectés à l'analyse (Tableau 4).

7. CONCLUSION

Selon la Liste Européenne des Déchets, les boues rouges peuvent être dangereuses ou non selon leur concentration en substances dangereuses. Les analyses exhaustives menées sur la Bauxaline® (boue rouge lavée et séchée en filtres-pressé) ont montré que :

- les éléments présents en concentrations significatives et ayant des mentions de danger sont le sodium (soude), le calcium (chaux), le chrome et le vanadium (oxyde de vanadium) ;
- les éléments traces métalliques sont présents à des concentrations faibles ;
- les substances organiques dangereuses classiques sont absentes, mais on observe des hydrocarbures et des alcools lourds à faible concentration (60 mg/kg et 30 mg/kg respectivement).

Ces concentrations permettent d'écarter les 8 propriétés de danger pour la santé humaine évaluées par calcul (HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11 et HP 13).

La Bauxaline® n'est pas classée dangereuse pour la propriété HP 12, aucun gaz à toxicité aiguë ne se dégageant au contact d'un acide.

Les propriétés de danger physique (HP 1, HP 2 et HP 3), infectieuse (HP 9) et évolutive vers une ou des substances dangereuses (HP 15) ne sont pas pertinentes.

En ce qui concerne la propriété HP 14 'Ecotoxique', elle a été évaluée par calcul suivant la méthode dite « M1 » qui sera d'application réglementaire à compter de juillet 2018 dans tous les Etats-Membres : la Bauxaline® n'est pas classée écotoxique par cette méthode.

Afin d'avoir une approche exhaustive du comportement de ce déchet, la propriété HP 14 a aussi été déterminée par essais écotoxicologiques, soit 8 essais pour les batteries française et franco-allemande mises en œuvre. La Bauxaline® n'est pas classée écotoxique.

En conclusion, toutes les propriétés de danger des déchets classent la Bauxaline® comme non dangereuse.

En outre, les critères d'acceptabilité en ISDnD (Installation de Stockage de Déchets non Dangereux – Décision n°2003/033/CE¹⁶) appliqués au même échantillon (Tableau 1 et Tableau 2) montrent que la Bauxaline® est acceptable dans ces installations.

¹⁶ Décision n° 2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : <http://www.ineris.fr>