

Gestion des résidus du traitement de la bauxite

Usine de Gardanne

Synthèse des travaux
du Comité Scientifique de Suivi
1995-2004



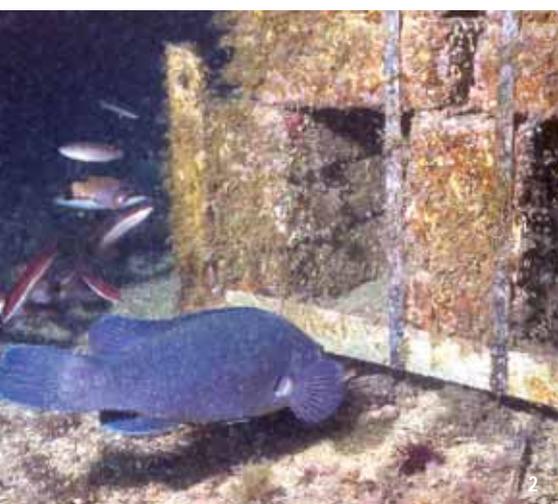


AVANT-PROPOS

Le présent document de synthèse est proposé dans le cadre de l'application de la réglementation concernant les Installations Classées pour l'Environnement. Il s'adresse aux acteurs de l'Environnement, associations et public, décideurs, partenaires de l'établissement Aluminium Pechiney de Gardanne.

L'établissement Aluminium Pechiney de Gardanne est soumis à cette réglementation depuis 1978. Sont appliqués, en complément des arrêtés types concernant les activités associées à la production d'alumine, les arrêtés préfectoraux du 24 mai 1994 ^{(4)*} et du 1^{er} juillet 1996 ⁽⁷⁾ pour les rejets de boues rouges en mer, au large de Cassis.

Ceux-ci prescrivent :



Arrêté du 24 mai 1994

- > Art. 4.5 : Réduction quantitative des rejets : grâce à une recherche d'amélioration du procédé d'une part et à la mise en œuvre de techniques de valorisation des résidus d'autre part, l'exploitant réduira les quantités de boues rejetées...
- > Art. 5.1 : Suivi du milieu
 - Art. 5.1.1 : Suivi de l'extension du dépôt et de son épaisseur... Suivi de l'évolution de la macrofaune benthique... Ces opérations seront réalisées tous les 5 ans.
 - Art. 5.1.2 : Étude de l'effet du rejet sur les activités de la pêche...
- > Art. 5.2 : Études particulières
 - Art. 5.2.1 : Dispersion des rejets. Des études hydrauliques et de la masse d'eau seront menées afin d'évaluer la dispersion...
 - Art. 5.2.2 : Effets biologiques du rejet. Des études et recherches sur les effets biologiques du rejet seront lancées...
- > Art. 7 : Création d'un Comité Scientifique de Suivi...

Arrêté du 1^{er} juillet 1996

- > Article 2 : Études particulières
 - Art. 2.2 : La société Aluminium Pechiney Gardanne proposera au service chargé de la police des eaux et à l'inspecteur des installations classées un programme d'étude relative à la toxicité des boues...
L'étude sera lancée...
A l'issue de cette étude un programme de suivi de la toxicité des boues sur le milieu pourra être engagé.

* Le numéro renvoie à la référence bibliographique.

Sommaire

Présentation du Comité Scientifique de Suivi	4
Résumé des résultats	4

Introduction, historique	6
Les rejets de résidus	8
- Le contrôle des installations	8
- Historique de l'exploitation	8
Le Comité Scientifique de Suivi	9
- Composition	9
- Mission	10
- 10 années de fonctionnement	10
Grands axes des études de suivi	10
- Le devenir des résidus en mer	10
- La Bauxaline®	11

Résultat des études	12
Les rejets en mer	12
- L'hydrodynamique régionale et la sédimentation des résidus	12
- L'évolution de la macro-faune vivant sur le fond de mer	14
- L'innocuité des rejets de résidus	15
La valorisation des résidus	17
- Applications dans le secteur de l'environnement	17
- Applications dans le secteur des travaux publics	18
- Applications dans le secteur du bâtiment	19
- Applications dans le secteur horticole	20
- Démarche Produit	21

Perspectives	22
2015 : arrêt total des rejets de résidus	22
La Bauxaline® comme un co-produit	22

Bibliographie	23
Glossaire	26

PRÉSENTATION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE DE SUIVI

Créé le 30 octobre 1995 par décision préfectorale, le Comité Scientifique de Suivi est composé de sept experts indépendants.

Sa mission consiste, d'une part, à acquérir une meilleure connaissance de l'impact et du devenir des résidus rejetés en baie de Cassis, et, d'autre part, à rechercher des solutions de valorisation, à terre, de ces résidus.

Depuis dix ans, quatre types d'études sur les résidus en mer ont été entrepris en ce sens, dans les domaines de la sédimentologie*, de l'hydrodynamique*, de la biologie et de l'écotoxicologie*.

Leur but : tirer des enseignements et des conclusions irréfutables

> sur les caractéristiques des dépôts sur les fonds marins,

> sur l'évolution dans le temps de leur influence sur le milieu et les animaux marins.

RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

L'hydrodynamique et la sédimentation des résidus

L'hydrodynamique* s'intéresse aux propriétés des milieux poreux, à l'écoulement et aux turbulences des fluides complexes.

A l'émission des rejets, par 320 mètres de profondeur, les experts de la Commission ont déterminé que seule une faible partie des résidus rejetés se retrouvait dans les turbulences engendrées par les courants marins.

Dans la fosse de Cassidaigne, d'une profondeur de plus de 2 400 mètres, ils ont étudié l'influence des courants sous-marins sur les rejets déposés. Trois phénomènes ont été observés en baie de Cassis, avec des effets variables :

- le courant marin dit liguro-provençal*, prédominant par temps calme, génère une extension du dépôt de résidus vers l'Ouest,
- des remontées d'eaux profondes ou des descentes des eaux de surface causées par le mistral et le vent d'Est,
- de longs épisodes de forts mistraux hivernaux peuvent contrarier temporairement la sédimentation d'une partie des résidus en générant des courants ascendants en profondeur (120 mètres).

L'analyse des sédiments a permis par ailleurs de mesurer l'épaisseur du dépôt et son évolution dans le canyon de Cassis : du fait de la circulation générale des eaux, les résidus se propagent vers l'Ouest de la baie.

L'évolution de la macrofaune

Deux populations végétale et animale typiques des vases côtières et vases profondes se partagent les fonds marins s'étendant du plateau continental à la plaine bathyale* (2 400 mètres de fond). Il est établi que :

- la canalisation véhiculant les écoulements sert de refuge à de grands crustacés ou des poissons jusqu'à 250 mètres de fond,
- la structuration des fonds suit un schéma naturel, indépendant de la composition chimique des sédiments. Les fonds marins touchés par les résidus restent diversifiés dans leur peuplement et peu perturbés par les rejets,
- néanmoins, les animaux sont absents le long du chenal de la fosse de Cassidaigne du fait de l'effet mécanique de l'écoulement des résidus.

Les études les plus récentes (2002) constatent une vie marine florissante traduisant l'équilibre du milieu. Elles confirment l'innocuité chimique* des résidus sur la faune en place.

* Terme explicité dans le glossaire en fin d'ouvrage, pages 26/27.

Résumé des résultats

3. Vue aérienne de l'usine Aluminium Pechiney Gardanne



L'innocuité des rejets de résidus

Quatre tests en toxicité ont été reconduits sur trois campagnes (1997, 1999, 2002) afin de vérifier la stabilité des résultats dans le temps. Ils portent sur :

- la mortalité des spécimens,
- les altérations génétiques éventuelles,
- le développement des larves.

Au vu des 136 tests négatifs pratiqués, les experts se sont accordés sur l'innocuité des résidus de bauxite. Pour les deux tests qui se sont révélés réactifs (développement larvaire sur oursin et inhibition de la luminescence*), il a été montré qu'il n'y avait pas de proportionnalité entre les effets mesurés et les teneurs en résidu de bauxite dans les échantillons.

La valorisation des résidus

Dès 1990, Aluminium Pechiney Gardanne étudie des solutions de valorisation des résidus de bauxite. Après avoir déterminé les caractéristiques physico-chimiques précises de ces résidus, l'entreprise a identifié de nouveaux potentiels industriels. Le Comité Scientifique de Suivi a approuvé les choix de valorisation des résidus sous forme de Bauxaline®.

L'objectif ambitieux, à moyen terme, est d'exploiter les résidus comme co-produit de l'alumine et de les faire homologuer, seuls ou en mélange, pour des usages industriels. Des applications ont été testées avec succès dans les secteurs :

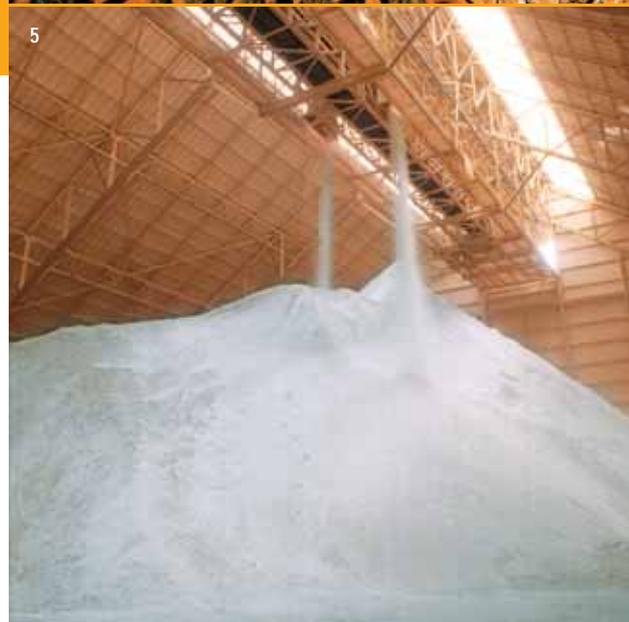
- des travaux publics comme les remblais et les coulis d'injection,
- du bâtiment comme les matériaux de construction préfabriqués,
- de l'horticulture comme substrat* de culture,
- et plus globalement dans des applications environnementales, comme les récifs artificiels ou la réhabilitation de centres d'enfouissement techniques (décharges).

Les experts programment chaque année de nouvelles études et affinent leurs contrôles au fur et à mesure des avancées technologiques des laboratoires. Les résultats en seront communiqués au public régulièrement.

Vous trouverez plus avant dans ce document le détail des résultats résumés ci-dessus.

Introduction, historique

- 4. Bandes transporteuses d'acheminement de la bauxite
- 5. Stock d'alumine



Gardanne est le premier site au monde où a été fabriquée l'alumine avec le procédé industriel K.J. BAYER, utilisé ensuite dans le monde entier. Depuis plus de 110 ans, Aluminium Pechiney produit de l'alumine à Gardanne. Si le procédé initial de fabrication est toujours le même, les produits commercialisés comme les techniques employées ont beaucoup évolué. Les études liées à l'impact de cette activité sur l'Environnement se sont multipliées. L'éventail des éléments mesurés s'enrichit régulièrement, la précision de ces mesures s'affine en permanence, entraînant dans leur sillage des réglementations de plus en plus pointues.

Vous trouverez dans ce document la synthèse des études qui ont été effectuées sur les résidus de bauxite ces 10 dernières années. Des études multiples évaluent également l'impact de l'activité industrielle d'Aluminium Pechiney Gardanne sur son environnement : qualité de l'air, de l'eau, sécurité... Vous pourrez les consulter prochainement sur le site de l'entreprise, qui est en cours d'actualisation.

Comment fabrique-t-on l'alumine à Gardanne ?

- > le minerai de bauxite est concassé puis broyé dans une liqueur sodique en présence de chaux,
- > le mélange bauxite-liqueur ainsi obtenu est chauffé puis envoyé dans des autoclaves de dissolution de l'alumine,
- > la liqueur d'alumine est séparée des boues par décantation et filtration. L'alumine est ensuite précipitée puis séparée de la liqueur sodique par filtration. Elle atteint ses propriétés définitives après calcination dans un four,
- > les boues résiduelles sont ensuite lavées :
 - pour récupérer l'aluminate de soude qui sera réutilisé dans le cycle Bayer,
 - pour que leur concentration en soude soit très faible afin de permettre le stockage en milieu naturel.

Ce sont désormais des « résidus inertes** ». Il s'agit tout simplement de bauxite appauvrie en alumine.

Quelques grandes étapes

1887 : invention par K.J. BAYER du procédé de production industrielle de l'alumine.

1893 : mise en œuvre de ce procédé pour la première fois par la société « L'Alumine Pure » à Gardanne, localité qui, à l'époque, est à la fois proche des sites de bauxite régionaux et du charbon nécessaire au chauffage des autoclaves.

1893-1966 : les boues résiduelles sont déposées à terre, dans des bassins naturels.

1961-1965 : la production d'alumine augmente, les boues finissent par s'entasser. On interroge des organismes scientifiques qualifiés sur la faisabilité d'un dépôt en mer à grande profondeur.

* Résidus inertes : qui ne provoquent aucune réaction des corps avec lesquels ils sont en contact.

Introduction, historique

- 6. Installations Aluminium Pechiney Gardanne
- 7. Réhabilitation de Centre d'Enfouissement Technique*



Des études d'impact sont menées pendant 4 ans par :

- l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes de Sète,
- l'Office Français de Recherche Sous-Marine,
- la Station Marine d'Endoume,
- les Services d'Études et de Recherches de la Société Aluminium Pechiney Gardanne.



Résultats : en l'état des connaissances, les études montrent l'absence de nuisance du dépôt en mer, tant vis-à-vis du patrimoine touristique que de l'écologie sous-marine.

1967 : l'État délivre une série d'autorisations administratives. La canalisation transportant les boues est mise en service.

1978 : l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne est soumis à la réglementation sur les Installations Classées pour l'Environnement.

1990 : en raison de l'évolution des techniques, l'Administration demande à l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne de réaliser un bilan d'études complet afin de mesurer l'incidence de ces résidus sur le milieu marin.

L'entreprise s'entoure à nouveau de spécialistes :

- l'IFREMER,
- le Centre d'Océanologie de Marseille,
- le Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins - Faculté des Sciences de Marseille-Luminy,
- le Laboratoire d'Hydrologie et de Molysmologie Marine - Faculté de Pharmacie de Marseille.

Les principaux résultats :

- au débouché de la canalisation (l'émissaire) – à 320 mètres de profondeur – on observe que les dépôts de résidus, de part et d'autre de cette sortie, s'étendent sur une distance maximum de 2 500 mètres. Aucune trace de dépôt n'est retrouvée sur le plateau continental, jusqu'à une profondeur de -200 mètres.
- plusieurs sondes sous-marines (bathysondes) placées à proximité de l'émissaire montrent une turbidité très faible (eau très peu troublée). Ce qui signifie que les résidus descendent dans la fosse sans effet panache. Il n'y a pas de remontée constatée sur le plateau continental.

1990 : Aluminium Pechiney Gardanne entame les recherches sur la valorisation des boues résiduelles.

1995 : par décision préfectorale, un Comité Scientifique de Suivi est nommé. Il est composé de six experts de renommée internationale. Ceux-ci lancent une série d'études afin de vérifier régulièrement, notamment, l'innocuité du dépôt. C'est la synthèse de ces travaux qui vous est présentée dans ce document.

Des séries d'expérimentation sont conduites pour un usage optimisé de la Bauxaline®.

1996 : dans le cadre de la convention de Barcelone, un calendrier de diminution des rejets de résidus en mer est fixé.

2015 : aucune boue résiduelle ne sera plus déposée en mer.



Introduction, historique

- 8. Emprise de l'occupation du domaine public maritime par la conduite Aluminium Pechiney Gardanne (2003-2004)
- 9. Baie de Cassis

Les rejets de résidus

LE CONTRÔLE DES INSTALLATIONS (1)

Afin de gérer la production de résidus induite par le développement de la production de l'alumine à partir de la bauxite, l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne s'est orienté en 1966, avec l'aval de l'État et après 4 ans d'étude, vers une technique de dépôt en mer à grande profondeur.

La fosse sous-marine de la Cassidaigne, au large de Port-Miou, était retenue pour recevoir les résidus, en raison des impératifs qu'elle remplissait :

- éloignement suffisant des côtes : plus de 7 km,
- pente de forte déclivité : plus de 50 % au départ,
- débouché vers des fosses de très grande profondeur : 2 400 mètres.

D'une longueur totale de 54,6 km et d'un diamètre moyen de 300 mm, la conduite part de l'usine de Gardanne et va jusqu'à Cassis d'où elle plonge en mer. Sa partie terrestre compte 46,9 km dont 56 % sont enterrés ; 44 % suivent une ancienne voie ferrée. Sa partie immergée compte 7,7 km. Les résidus de bauxite sont rejetés par 320 mètres de fond dans le chenal central de la fosse de Cassidaigne. La surveillance, les contrôles et l'entretien sont réguliers.

Depuis leur mise en service en 1967, les rejets de résidus à la mer sont suspendus chaque fois qu'une opération de maintenance ou de contrôle est programmée. Les résidus sont alors envoyés sur le site terrestre de Mange-Garri situé sur la commune de Bouc-Bel-Air. Dans cet endroit, les résidus sont soit stockés dans un bassin de secours, soit valorisés après décantation/séchage dans de grands bassins creusés à cet effet.



HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION (9)

Techniquement, la conduite des rejets de résidus à la mer a été mise en service en 1967. Elle a bénéficié, à l'époque, des plus grandes attentions à la conception et des meilleures technologies pour sa réalisation. Dès avril 1969 elle a été équipée d'une protection cathodique*.

En février 1975 un premier contrôle visuel a été pratiqué par le CNEXO. Celui-ci est intervenu avec le sous-marin Cyana de la côte -320 m à la côte -260 m. Contrôles et interventions se sont dès lors succédés très régulièrement en fonction des nécessités d'entretien ou de prévention qui sont liées à son exploitation.

Aucun incident significatif entraînant une pollution n'aura été à déplorer en 36 ans.

Introduction, historique

Les rejets de résidus

10. Contrôle régulier par Aluminium Pechiney Gardanne
11. Contrôle par la COMEX (2003)



Sur le plan administratif (4, 5, 6, 7, 8), l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne a bénéficié pour cette installation d'une autorisation d'occupation du domaine public maritime accordée en mai 1966 pour une durée de 30 ans à compter du 1^{er} janvier 1966. Cette autorisation a été renouvelée une première fois pour un an par arrêté le 29 décembre 1995, puis en juillet 1996 pour 19 ans, à compter du 1^{er} janvier 1997.

L'exploitation de la conduite et les conditions de rejets des résidus en mer ont été spécifiées par une suite d'arrêtés préfectoraux, le dernier datant de 1996.

L'arrêté du 1^{er} juillet 1996 a imposé des prescriptions complémentaires en vue du respect de la convention de Barcelone. Un calendrier de diminution des rejets a été fixé comme suit :

Au 31 décembre de chaque année	1986	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Quantités déposées en mer (Mt)	1,04	0,5	0,33	0,31	0,25	0,18	0

Un nouvel arrêté du 5 octobre 2001 a été pris pour une modification temporaire du taux d'oxyde de sodium rejeté en mer. Enfin, le 31 juillet 2003, un arrêté complémentaire a posé les conditions permanentes de rejet en oxyde de sodium.

Le Comité Scientifique de Suivi

COMPOSITION

Le 30 octobre 1995, conformément à l'arrêté du 24 mai 1994, par décision préfectorale, un Comité Scientifique de Suivi composé de sept experts de renommée internationale, avec le Professeur J.-C. Dauvin comme président, a été constitué. Ce dernier a été modifié le 14 mai 2002 ; aujourd'hui, le comité est composé de sept scientifiques de grand renom :

- **Professeur Dauvin**, Station Marine de Wimereux, 28 av. Foch, BP 80, 62930 Wimereux, *Président*
- **M^{me} Amiard-Triquet**, Université de Nantes/SOMER-SMAB, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes cedex 3, *Membre*
- **M. Blazy**, ex-Directeur du Centre de Recherche sur la Valorisation des Minerais, BP 40, 54501 Vandœuvre cedex, *Membre*
- **M. Bursi**, Service Études et Projets Thermiques et Nucléaires, 12-14 avenue de Dutrieux, 69628 Villeurbanne cedex, *Membre*
- **M. Dazats**, ex-Adjoint au Directeur du laboratoire du Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE), BP 37000, 13791 Aix-en-Provence cedex 3, *Membre*
- **M. Farrugio**, IFREMER, 1 rue Jean-Vilar, BP 171, 34203 Sète cedex, *Membre*
- **M. Gaudy**, Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie-des-Lions, 13007 Marseille cedex, *Membre*.

Ont été membres du comité de 1994 à 2002 :

- **Professeur Arnoux**, Laboratoire d'Hydrologie et de Molysmologie Aquatique, Faculté de Pharmacie de Marseille, 27 boulevard Jean-Moulin, 13005 Marseille
- **Professeur Leveau**, Expert auprès de l'Agence de l'Eau, Centre d'Océanologie de Marseille, Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille Cedex 9
- **Docteur Stora**, Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie-des-Lions 13007 Marseille.



Introduction, historique

Le Comité Scientifique de Suivi

12. Conduite des rejets de résidus à la mer, tronçon enterré : manomètre de contrôle des pressions

MISSION

La mission du Comité Scientifique de Suivi est, d'une part, d'acquérir une meilleure connaissance du devenir en mer des résidus de bauxite et, d'autre part, de rechercher les voies d'utilisation de ces mêmes résidus. A cet effet, le comité :

- propose les études et programmes à lancer, pour l'année suivante,
- examine et analyse les résultats des travaux entrepris et en cours,
- produit un rapport annuel (16, 16 bis, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23).

10 ANNÉES DE FONCTIONNEMENT

En dix ans, le Comité Scientifique de Suivi a laissé, à travers 9 rapports, un avis motivé, circonstancié et détaillé concernant une meilleure connaissance du devenir en mer des résidus de bauxite, de leur impact et de leurs voies possibles d'utilisation.



12

Grands axes des études de suivi

LE DEVENIR DES RÉSIDUS EN MER

Les études menées sur le devenir en mer des résidus de bauxite ont porté pour l'essentiel sur la détermination nette des caractéristiques du dépôt sur les fonds marins et l'évolution dans le temps de son influence sur le milieu et sur les animaux. Cette dernière série d'investigations a été très précise, avec deux aspects distincts.

13. Contrôle de la conduite par la COMEX en 2003 vers -320 m



13

Trois approches ont d'abord été privilégiées : la sédimentologie* du site, son hydrodynamique et sa biologie marine*. Ces études ont été menées, en grande partie, par le Centre d'Océanologie de Marseille et la Station Marine d'Endoume ; une dernière approche, d'écotoxicologie* des résidus, a été entreprise par l'association ADECTox à Bordeaux. La plupart de ces études ont été effectuées sur la base d'échantillons prélevés lors de campagnes en mer.

Après une première campagne en 1991, les autres campagnes se sont déroulées en 1995 (campagne TURBIN), 1997 (campagne ALPESUR), 1999 (campagne ALPECAST 1) et 2002 (campagne ALPECAST 2).

Les orientations scientifiques du programme de suivi se sont affinées au cours des années. Les différentes hypothèses formulées au cours de la décennie quatre-vingt dix sur le devenir en mer des résidus se sont confirmées.

Introduction, historique

Grands axes des études de suivi

14. Campagne en mer
ALPECAST (2002)



Basés sur dix années de suivi, les résultats acquis permettent de tirer de nombreux enseignements et des conclusions claires et irréfutables. Le programme de suivi se poursuit encore aujourd'hui afin d'assurer une observation sur le long terme de l'environnement du Canyon de Cassidaigne.

Aujourd'hui, ce sont les risques toxicologiques éventuels encourus par l'ichtyofaune* et par l'homme, en bout de la chaîne alimentaire, qui font l'objet de nouvelles orientations des travaux du Comité Scientifique de Suivi.

15. Échantillon
de Bauxaline® BH50b
16. Grands bassins de
lagunage* à Mange-Garri



LA BAUXALINE®

En dix ans, suite à des travaux antérieurs parfois très anciens, l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne a précisément ré-étudié les caractéristiques physico-chimiques des résidus de bauxite : composition, granulométrie*, caractéristiques géotechniques*...

Il a ensuite exploré des possibilités de valorisation dans deux directions essentielles :

- les valorisations à forte valeur ajoutée,
- les valorisations de gros tonnages.

Il a enfin commencé une « démarche produit » :

- création, par voie de concours, et dépôt du nom commercial la Bauxaline®,
- création d'une gamme,
- études précises des marchés potentiels.

La Bauxaline® a bénéficié d'investissements en partenariat pour la mise au point de procédés de fabrication et de mise en œuvre. Ces investissements ont entre autres permis la réalisation de projets pilotes dans quatre secteurs importants :

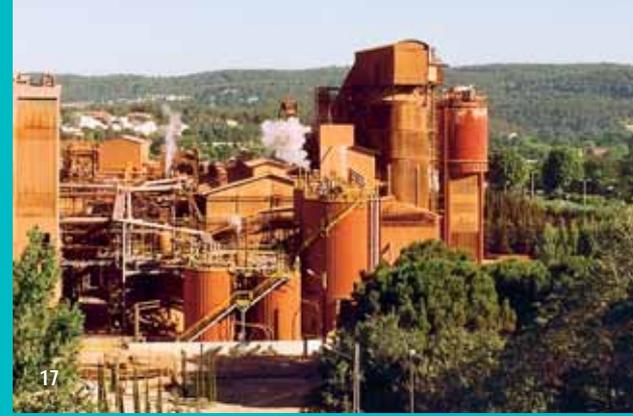
- l'environnement,
- le bâtiment,
- les travaux publics,
- l'aménagement horticole.

Aujourd'hui, le Comité Scientifique de Suivi soutient grandement les options dites à gros tonnages. En cela, il prend en compte les réussites de l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne dans la réhabilitation de Centres d'Enfouissement Technique* (le CET de la Malespine, encouragé par la mairie de Gardanne, qui a été le premier utilisateur à titre expérimental, puis le CET d'Entressens qui a utilisé 80 kt en 2003, à titre d'exemple), les projets routiers (avec Surschiste, les Houillères de Bassin du Centre et du Midi, la Routière du Midi, le CETE Méditerranée) et, plus récemment, le comblement de cavités par injection de coulis à base de Bauxaline® et de cendres volantes (avec EDF, INERIS...).

Ces réussites et ce soutien doivent permettre de répondre à la contrainte du double enjeu économique et environnemental des résidus.



Résultat des études



17

17. Aluminium Pechiney Gardanne
18. Baie de Cassis, les calanques et la mer



18

Les rejets en mer

L'HYDRODYNAMIQUE RÉGIONALE ET LA SÉDIMENTATION DES RÉSIDUS

Les observations sous-marines montrent, conformément aux prévisions, que les résidus rejetés par 320 mètres de profondeur s'écoulent par gravité le long du chenal de la fosse de Cassidaigne. Une faible partie de ces rejets est mobilisée dans les turbulences de l'émission puis dans les courants marins régnant dans la région.



19



20



21

En raison de ces observations, les études ont été orientées en direction d'une meilleure connaissance des facteurs de mobilisation des particules des résidus d'une part, de la répartition géographique du dépôt sédimentaire d'autre part. Elles ont démontré que la micro-région de la rade de Cassis, étendue jusqu'à la fosse de Cassidaigne qui débouche dans la plaine bathyale à des profondeurs moyennes avoisinant les 2 000 mètres, est influencée par une courantologie qui détermine un « climat » sous-marin.

Trois facteurs prédominent dans le secteur (25, 26, 33, 34) :

- la circulation générale, très marquée ici par le courant liguro-provençal,
- les perturbations du courant liguro-provençal et des phénomènes de remontées d'eaux profondes ou des descentes d'eaux de surface liées à des coups de vent d'est ou de mistral,
- des courants locaux initiés par la topographie et la météorologie.

Ces facteurs ont une importance respective variable suivant les saisons

et l'intensité des phénomènes météorologiques. Les influences de ce climat sous-marin sur le dépôt des résidus sont aussi variables :

- la circulation générale du courant liguro-provençal est prédominant par temps calme. Il influence une extension du dépôt vers l'Ouest au pied du plateau continental,
- les observations et les modèles confirment, d'une part l'existence en rade de Cassis de remontées d'eaux profondes ou de descentes des eaux de surface, d'autre part le lien de causalité directe entre ces phénomènes et le régime des vents (mistral et vent d'Est),

19. Sédiment Pk 7,43 de la côte
20. Concrétion à l'embouchure de l'émissaire
21. Écoulement des résidus Pk 7,61

Résultats des études

Les rejets en mer

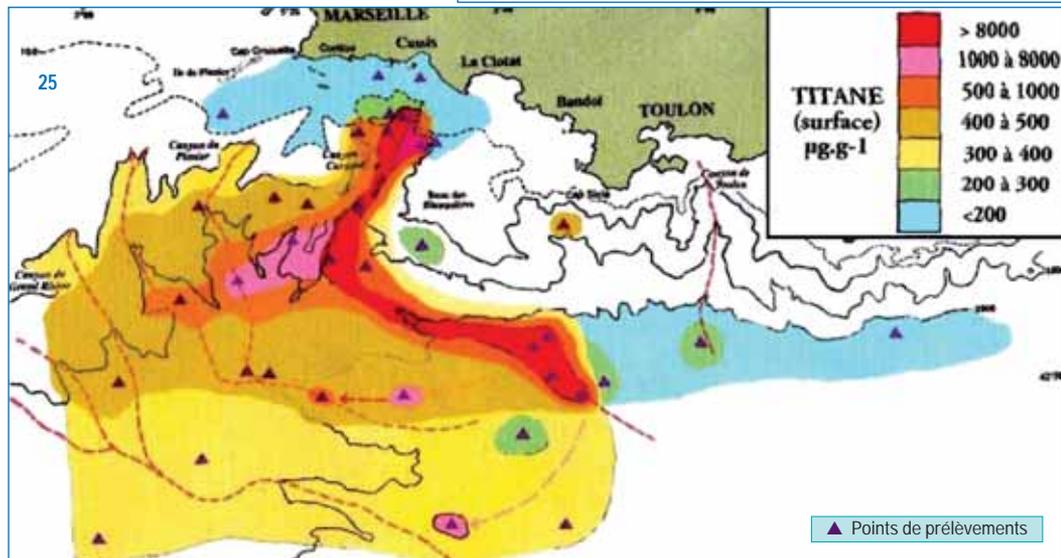
- les observations et les modèles confirment enfin l'existence d'un cas type, au moins susceptible de contrarier la sédimentation normale, en favorisant la mobilisation d'une partie des résidus (jusque vers 120 mètres de fond). Il s'agirait d'épisodes de forts mistraux hivernaux dont la durée serait susceptible de générer des courants ascendants en profondeur, c'est-à-dire dans la fosse de Cassidaigne, supérieurs à 4 cm/s.

La connaissance des sédiments bathyaux et leur composition ainsi que la composition des résidus, sont venues confirmer ces résultats (32, 54, 65). Elle a permis de mieux appréhender l'épaisseur du dépôt et l'évolution de cette épaisseur jusque dans la plaine bathyale. Pour ce faire, l'oxyde de titane, présent à quelques % dans les résidus, a été pris comme traceur des sédiments prélevés lors des campagnes en mer.

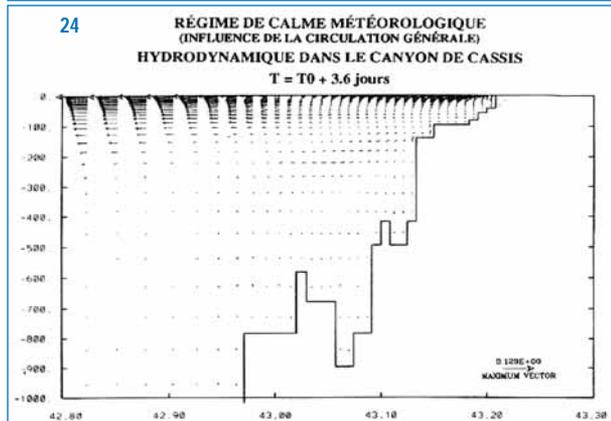
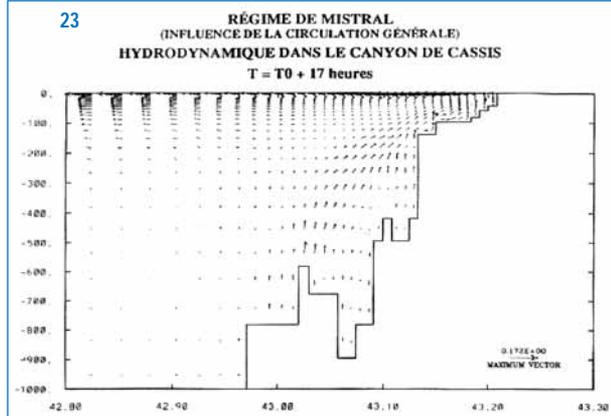
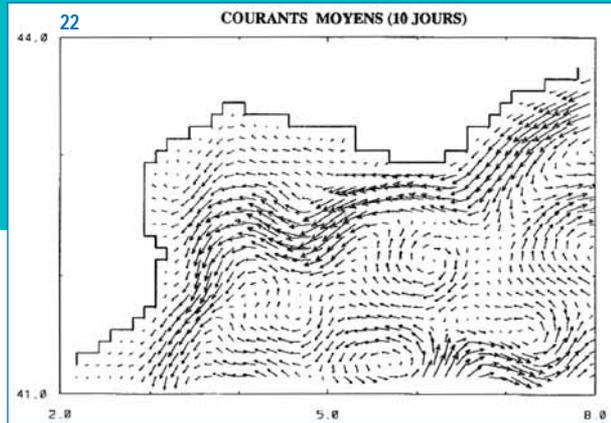
Leur analyse a suggéré *in fine* :

- un front de sédimentation à plus de 60 km de l'émissaire,
- une avancée de 4 à 5 km depuis 1991,
- une évolution de l'épaisseur dans l'axe du canyon,
- une extension vers l'Ouest,
- un ralentissement général de la vitesse de sédimentation allant de pair avec la diminution des quantités rejetées,
- une accumulation en surépaisseur, principalement sans mélange pour le moment avec les autres sédiments.

25. Carte du dépôt des résidus sur mesure du traceur : indicateur, le taux de titane



22. Modèle de circulation générale dans le golfe du Lion, ondulations et cyclones du L-P côtier
 23/24. Modèle des courants dans le canyon, aux profils les plus distincts, à T0 + 17 heures et T0 + 3,6 jours





Résultats des études

Les rejets en mer

L'ÉVOLUTION DE LA MACRO-FAUNE* VIVANT SUR LE FOND DE MER

Le suivi de la macro-faune* devait servir de témoin de l'impact des résidus sur l'environnement sédimentaire ^(53, 55, 64).

Deux populations typiques associées, végétale et animale, se partagent l'espace ⁽²⁾ allant du plateau continental à la plaine bathyale qui commence vers 2 000 mètres de fond :

- la première correspond aux vases côtières d'origine continentale (terrigène),
- la seconde est caractéristique des vases profondes méditerranéennes.

Enfin, il est établi que :

- l'effet mécanique de l'écoulement des résidus dans le chenal de la fosse de Cassidaigne a engendré un espace privé d'animaux,
- le peuplement des vases profondes est plutôt structuré avec une décroissance de la richesse en espèces et de l'abondance avec la profondeur. Cette décroissance, naturelle, est en lien direct avec la dépendance alimentaire (trophique*) marquée des espèces et avec les apports nutritifs littoraux.

Les études recommandées depuis 1995 par le Comité Scientifique de Suivi ont permis de comprendre l'évolution de ces peuplements au contact des résidus et de conclure sur l'innocuité chimique des sédiments.

Sur le plateau continental d'abord, les observations directes ont montré que la conduite pouvait servir de refuge pour des grandes espèces de macro-faune vagile (grands crustacés comme la langouste) ou des poissons jusque par 250 m de fond en tête du canyon de Cassidaigne comme en témoignent les photos ci-contre.

Les analyses faites à partir de prélèvements dans cette partie du plateau continental ont ensuite confirmé, dans l'ensemble, l'absence de résidus à ces profondeurs et l'absence d'effet des apports sur la macro-faune benthique*.

En 1997, les peuplements sont apparus complexifiés, proposant des populations nouvelles (biocénoses* de type détritique* côtier et détritique envasé) en plus de celles déjà repérées. Leurs meilleurs représentants étaient des polychètes* et des crustacés. Néanmoins, la faune semblait s'être appauvrie en densité et le nombre d'espèces représentées semblait avoir diminué. Aucune implication directe des résidus dans ce phénomène n'a pu être démontrée. Localement la structuration du peuplement respectait toujours les mêmes paramètres :

- dépendance de la ressource nutritionnelle du littoral,
- diminution de la richesse en espèces et en abondance avec la profondeur,
- relation avec le substrat par la granulométrie,
- pas d'incidence détectable de la composition chimique du substrat sur la densité et la diversité de la macro-faune.

Quelque 60 espèces étaient communes aux deux séries de prélèvements, antérieure et postérieure à 1995.

Les campagnes suivantes, en 1999 et 2002, ont montré une importante augmentation des effectifs prélevés, relativisant ainsi les résultats de la campagne de 1997. En réalité, les modifications constatées en 1997 n'étaient probablement que le fait d'une situation passagère due à des phénomènes environnementaux plus globaux que les rejets des résidus comme des variations pluri-annuelles d'apports trophiques ou de température.



26/27. Crustacés et poissons le long de la conduite Aluminium Pechiney Gardanne

Résultats des études

Les rejets en mer

En effet, les analyses des prélèvements les plus récents (2002) ont mis en évidence que les résidus étaient peuplés dans l'axe du chenal de la fosse de Cassidaigne au début de la plaine bathyale dans une zone recouverte d'une épaisseur d'au moins 20 cm de résidus.

Ces résultats pondèrent ainsi l'effet de l'impact mécanique des résidus en introduisant des effets liés aux conditions de sédimentation inhérente à la localisation des stations par rapport à l'axe central du canyon et à l'instabilité du sédiment.

Il est donc aujourd'hui possible de conclure que les fonds marins touchés par les résidus restent :

- diversifiés dans leurs peuplements,
- peu perturbés par les rejets,
- géographiquement et temporellement structurés sauf le long du chenal de la fosse où les peuplements sont absents parce que l'écoulement est trop important. Cette structuration des fonds marins reste indépendante de la composition chimique des sédiments.

En résumé, à ce jour, les résultats acquis permettent de conclure sur les deux principaux points suivants :

- > Il y a propagation préférentielle des dépôts de résidus de bauxite vers l'Ouest, en relation avec la circulation générale des eaux.
- > Là où les apports convectifs (par remise en suspension) sont prépondérants, entre 250 et 1 500 mètres de profondeur, il n'a pas été possible, à partir des analyses réalisées, de montrer une influence majeure des résidus sur la composition des peuplements qui ne se différencient pas des peuplements non touchés par les rejets. Les apports à caractère advectif (par charriage sur le fond) qui se manifestent dans l'axe du canyon et dans les fonds d'épandage de 2 000 mètres entraînent, par effet mécanique et de manière persistante, un appauvrissement localisé de la faune en place. La présence d'organismes à 2 200 mètres de profondeur dans des sédiments du canyon présentant des concentrations de quelques % en oxyde de titane confirme, sur le terrain, l'absence d'un effet « chimique » particulier des résidus de bauxite sur les peuplements en place. La dernière campagne de 2002 montre un état florissant des assemblages en place, traduisant l'état d'équilibre du milieu et confirmant l'innocuité sur un plan chimique des résidus de bauxite sur la faune en place.

L'INNOCUITÉ DES REJETS DE RÉSIDUS

En complément des études concernant la sédimentation des résidus et son influence sur la macro-faune benthique, le Comité Scientifique de Suivi a proposé, en 1995, de développer un programme afin de tester la toxicité du dépôt⁽²⁴⁾.

Depuis cette date, des tests ont été régulièrement effectués. Ils ont été réalisés sur la base des prélèvements effectués lors des campagnes en mer. Sur les huit échantillons à chaque fois prélevés lors des campagnes de 1997 et 1999, toute une batterie de tests a été effectuée. En 2002, six échantillons ont été collectés sur lesquels de nouveaux tests ont été réalisés. Les résultats se trouvent rassemblés dans les rapports référencés^(35, 36, 46, 47, 48, 49) pour la campagne de 1997, ^(57, 58, 59, 60) pour celle de 1999 et ⁽²³⁾ pour celle de 2002.

Quatre tests normalisés ont été reconduits d'une campagne à l'autre pour s'assurer de la stabilité des résultats dans le temps. Deux de ces tests concernent la létalité (la mortalité) pour un micro-organisme et un vertébré ; un test porte sur la génotoxicité, c'est-à-dire les altérations génétiques que peut occasionner la proximité des résidus ; le dernier test porte sur le développement larvaire.





Résultats des études

Les rejets en mer

Test / Année	1997	1999	2002
Test microtox d'inhibition de la luminescence (AFNOR T90-320)	sur la bactérie <i>Photobacterium phosphoreum</i>	sur la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	sur la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>
Test de létalité (AFNOR T90-307).	sur le loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	sur le loup <i>Dicentrarchus labrax</i>	–
Test de génotoxicité (OCDE 471)	sur la bactérie <i>Salmonella typhimurium</i>	sur la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	–
Test de développement larvaire (ASTM 1989).	sur l'oursin <i>Paracentrotus lividus</i>	sur la moule <i>Mytilus sp</i>	sur la moule <i>Mytilus sp</i>



30. Faune au-dessus des conduites des résidus

En résumé tous les tests ont été négatifs à l'exception du test de développement larvaire sur oursin en 1997 et du test d'inhibition de la luminescence en 1999. Toutefois, pour ces deux tests à effet non négatif, il a été montré qu'il n'existait pas de proportionnalité entre les effets mesurés et les teneurs en résidus de bauxite dans les échantillons, ce qui montre que les effets sont dus à une autre cause à déterminer mais sans doute pas aux résidus.

Au vu des éléments disponibles (22 échantillons, 136 tests pratiqués), les experts se sont accordés sur le point de l'innocuité des résidus.

Résultats des études

La valorisation des résidus

31. Récifs artificiels en Bauxaline® et en ciment, avant la pose
32/33. Récifs artificiels en Bauxaline® et en ciment, au fond de l'eau, colonisés sans distinction marquée

La valorisation des résidus

APPLICATIONS DANS LE SECTEUR DE L'ENVIRONNEMENT

Les premiers travaux sur la valorisation des résidus, validés par le Comité Scientifique de Suivi, ont été consacrés en 1996 à l'étude de la colonisation de récifs artificiels fabriqués en brique de Bauxaline® (38).

Le site d'immersion a été choisi dans la zone protégée de Carry-le-Rouet. Les conditions y ont été considérées comme optimales en raison de l'hydrodynamique favorisant un test de résistance aux intempéries et des qualités de la faune et de la flore sous-marine permettant une expérience de colonisation pour des populations qui s'étagent des bryozoaires – colonies d'invertébrés – aux vertébrés de la macro-faune mobile dite vagile.



Les résultats enregistrés ont été très encourageants. Par rapport aux récifs témoins, les récifs en Bauxaline®, en tant que substrat, ont été colonisés sans distinction marquée et avec une diversité spécifique et une abondance sensiblement identiques. A 5, 7 et 9 mois de distance du jour de l'immersion, des dizaines d'espèces ont été dénombrées et identifiées : algues et bryozoaires, crustacés, mollusques et polychètes, concombres de mer, oursins et poissons comme la girelle et le cténolabre.

Parallèlement une série d'expérimentations a été conduite pour un usage optimisé de la Bauxaline® en centres d'enfouissement technique (CET) en tant que matériau de couverture d'alvéole. La voie, prometteuse, a été exploitée dès 1995 par le CET de la Malespine à Gardanne en collaboration avec la Mairie et l'est encore aujourd'hui (27, 28, 29).

Les caractéristiques de la Bauxaline® ont conduit à l'utiliser en mélange afin de lui conférer des qualités agronomiques qu'elle ne possède pas naturellement par insuffisance de matière organique dans sa composition. Les études ont porté sur la perméabilité à l'installation et lors de la germination des plantations, ainsi que sur les percolats*, les lessivas* et les lixiviats* (c'est-à-dire les eaux qui se sont infiltrées, celles qui ont ruisselé et celles qui sont restituées par la dégradation des produits d'origine).

Des résultats agronomiques ont aussi été enregistrés au cours des travaux (30) concernant l'installation et le développement de trois strates constitutives d'un couvert (herbacée, arbustive, arborescente) : il en ressort que si les graminées ou les conifères sont susceptibles de s'adapter quand le terrain est préparé de façon adéquate, d'autres familles, peu enclines à supporter les forts pH, ont des croissances ralenties ou nulles, voire ne donnent rien. Les résultats, quoique modestes comparativement à ceux générés par d'autres substrats, ont permis de conclure à l'aspect réaliste de ce type de projet si une attention particulière est apportée à la diminution du pH* du sol reconstitué et à la maîtrise de l'impact des eaux de percolation.



Résultats des études

La valorisation des résidus

- 34. Mise en œuvre de la Bauxaline® à Entressen en 2003
- 35. CET de la Malespine à Gardanne, en partie réhabilité (2002)
- 36/37. Chantier de la RD6 (Bouches-du-Rhône), 2003

En 10 ans de suivi, des projets de réhabilitation de CET, tous présentés au Comité Scientifique de Suivi, ont été réalisés à Entressen dans la Crau pour Marseille, à Gardanne⁽³⁷⁾, à Septèmes, à La Ciotat et à Martigues. De par ses qualités d'imperméabilité qui sont, entre autres, inhérentes à sa granulométrie, la Bauxaline® a été depuis pressentie pour homologation en tant que produit pour les fonds d'alvéoles.

Toujours de par ses propriétés, la Bauxaline® a fait l'objet d'une étude de faisabilité en collaboration avec le CEREGE (Aix-en-Provence l'Arbois) pour l'utilisation de sa capacité de blocage des métaux lourds. Les résultats, positifs pour l'heure, ont suggéré le développement d'un pilote industriel⁽¹⁹⁾.

APPLICATIONS DANS LE SECTEUR DES TRAVAUX PUBLICS

Les applications dans le secteur des travaux publics ont fait l'objet de recherches appliquées en collaboration dans deux directions :

- les remblais et les couches de forme pour route,
- les coulis d'injection.

Ce sont ici encore les qualités intrinsèques des résidus et les quantités disponibles qui ont favorisé cette orientation. Dès 1996, les résultats sont apparus économiquement intéressants.



34



35



36



37

En technique routière, un premier travail d'expérimentation en laboratoire a été mené par le CETE Méditerranée. Il a permis de déterminer les proportions d'un mélange optimum de Bauxaline® avec un liant hydraulique pour des performances mécaniques acceptables. Le liant choisi, en l'occurrence, était fait de cendres volantes de la centrale thermique de Gardanne ; il s'est avéré que, moyennant un temps de mûrissement de 48 heures, la résistance à la compression du mélange devenait satisfaisante, soit à peu près 0,4 Mpa.

Le matériau s'est ainsi vu placé en classe 4, dans la nomenclature des « matériaux de couche de forme traités aux liants hydrauliques ».

L'expérience s'est poursuivie *in situ* lors d'un chantier expérimental dit de la route de Bramefan (Bouches-du-Rhône)^(39, 40). Celui-ci a permis de tester des modalités visant la maîtrise des paramètres de mise en œuvre au cours des travaux : la teneur en eau par exemple. Ce paramètre est, en effet, très important pour l'efficacité du mélange.

Le suivi du comportement chimique du matériau lorsqu'il est en place (en cas de variation du pH et de lixiviation*) et de la stabilité aux périodes de gel-dégel a été assuré par le BRGM (Unité de développement des procédés). Il en ressort que la

Résultats des études

La valorisation des résidus

lixiviation n'entraîne pas d'éléments lourds Cd, Pb, Sn... et que la résistance à la compression est en moyenne multipliée par trois après gel-dégel.

Les résultats, obtenus *in fine*, ont été concrétisés et l'avenir de la Bauxaline® ainsi pérennisé dans ce secteur, par la réalisation de la RD6 en 2002 (Bouches-du-Rhône). Cette portion routière de 350 mètres de longueur a nécessité 2 500 t de mélange à 33 % d'humidité et 8 % de cendres volantes.

Concernant les coulis de remplissage (ces coulis servent entre autres à la réhabilitation de sites miniers et de carrières), la collaboration s'est organisée entre plusieurs sociétés : EDF, GTS, Surschistes et Ineris^{41, 42, 56}). C'est à nouveau le mélange de cendres volantes et de Bauxaline® qui a été étudié.

Le programme complet d'expérimentation s'est déroulé en trois étapes :

- essais en laboratoire et formulation,
- pilote industriel sur le site de Mange-Garri,
- réalisation sur le site de la carrière de Peynier (Bouches-du-Rhône).

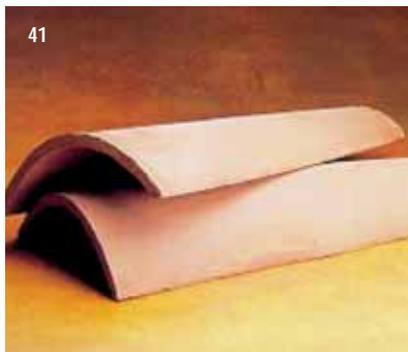
Les essais de laboratoire et le pilote ont donné lieu à la rédaction d'un cahier des charges ; les contraintes fixées au départ étaient les suivantes :

- injectabilité à faible pression,
- stabilité à court terme,
- stabilité à long terme,
- résistance mécanique supérieure à un seuil,
- conformité à la réglementation environnementale.

Sur plusieurs formulations, les premiers résultats se sont avérés décevants. La fluidité du mélange était réduite (temps de mise en œuvre trop court) ou sa résistance à la compression insuffisante. Il a finalement été décidé que pour les essais suivants, le mélange comporterait du ciment. La deuxième série d'essais réalisée à partir d'un mélange ainsi reformulé a donné les résultats attendus avec une résistance à la compression supérieure à 5 Mpa. C'est cette formulation qui a été utilisée à l'essai de pilotage industriel mené sur le site de Mange-Garri. Les résultats obtenus ont été conformes à ceux recueillis en laboratoire.

Utilisation du pouvoir colorant
de l'oxyde de fer pour :

41. Tuiles / 42. Peinture



Une première mise en œuvre du mélange en vraie grandeur, dans une formulation des plus prometteuses, a été entreprise à Peynier dans une ancienne carrière devenue champignonnière.

APPLICATIONS DANS LE SECTEUR DU BÂTIMENT

Les applications dans le secteur du bâtiment ont procédé, pour la plupart d'entre elles, du pouvoir colorant de l'oxyde de fer très présent dans la Bauxaline®. C'est ainsi qu'en étroite collaboration avec des spécialistes dans chaque domaine concerné ou



Résultats des études

La valorisation des résidus

Utilisation du pouvoir colorant
de l'oxyde de fer pour :
43. Sol élastomère

sur leur initiative, l'établissement Aluminium Pechiney Gardanne a développé toute une série d'études puis des prototypes en vue de produire industriellement des matériaux de construction préfabriqués teintés : tuiles, parpaings, briques cuites, blocs de terre, bordures de jardin, enduits ou encore adjuvant pour béton auto-nivelant, peinture, sol élastomère, céramique...

Certaines pistes ont été abandonnées car considérées comme n'offrant pas ou que peu de perspectives. D'autres, plus intéressantes, sont encore en cours d'étude.



APPLICATIONS DANS LE SECTEUR HORTICOLE

Des essais démarrés en 1994 au sein même de l'usine de Gardanne ont servi de base de travail pour la validation de l'hypothèse d'une utilisation de la Bauxaline® comme substrat de culture.

Ecotechnologie (Avignon) a été chargé du suivi^(31, 43, 51, 62, 63) et a présenté régulièrement ses résultats au Comité Scientifique de Suivi. En cours d'expérimentation, d'autres sites que celui de Gardanne ont été préparés à la Bauxaline® et plantés ; les résultats ont permis de nuancer ou compléter les résultats déjà obtenus.

Un panel de végétaux a été mis en place, classiquement, sur plusieurs préparations de sols essentiellement faits de Bauxaline® avec un sol témoin. Des mesures et des analyses ont été pratiquées tous les ans sur les végétaux et les eaux de lessivage. Il a ainsi été possible de classer les espèces en trois catégories : espèces bien adaptées, espèces tolérantes et espèces mal adaptées, tout en considérant l'évolution significative des sols.

Les préparations des sols mélangés ont globalement donné de meilleurs résultats que la Bauxaline® pure. En effet, les végétaux plantés sur celle-ci ont souffert de chlorose dès la quatrième année. Néanmoins, les espèces bien adaptées se sont satisfaites de ces conditions difficiles. Un pH plus « agronomique » de 9,5 était du reste atteint la troisième année du programme par lessivages successifs des arrosages et de la pluie.



44. Chantier Autoroutes du Sud de la France à Salon-de-Provence, un an après plantation

Un essai avec les Autoroutes du Sud de la France à Salon-de-Provence⁽⁴⁵⁾ a renforcé ces résultats en montrant une bonne reprise à la plantation des lavandes et une inhibition efficace de l'installation des adventices.

Des essais en pots⁽⁵⁰⁾ ont été conduits en 1998 sur deux espèces préalablement reconnues pour leurs différences de sensibilité à la salinité des sols : le laurier rose (tolérant) et le romarin (non tolérant). Ces résultats ont aussi été conformes aux essais de Gardanne.

Avec et suite à ces essais, il a été envisagé de lancer une procédure d'homologation de la Bauxaline® en tant que matière fertilisante, mais les caractéristiques exigées pour ce type de produit ont, pour l'heure, interdit toute perspective dans ce sens.

Résultats des études

La valorisation des résidus

- 45. Minerai de bauxite
- 46. Procédé industriel d'obtention de la Bauxaline®



DÉMARCHE PRODUIT

Les années de travaux en laboratoire et sur le terrain ont donné lieu à la structuration d'une « démarche produit » qui a fait des résidus de bauxite du traitement de la bauxite par le procédé Bayer, la Bauxaline® (10, 11, 12, 13, 14, 15).

Cette démarche, devenue une approche, a intégré les dimensions « du marché » dans les perspectives de gestion, donc de valorisation, des résidus (44, 52, 61). Le Comité Scientifique de Suivi s'est ainsi vu présenter, ces dernières années, un ensemble d'études détaillant une systémique d'intégration du produit sur le marché des matériaux secondaires.

- Un nom commercial, la Bauxaline®, a été octroyé aux résidus de bauxite, traités par décantation.
- La Bauxaline® a été peu à peu créditée de caractéristiques commerciales en termes de composition et de propriétés (directement dépendantes de la bauxite dont elle est issue) :

Éléments majeurs

Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O	MgO	Autres
14 %	42 %	14 %	6 %	11 %	2,3 %	0,5 %	10 %

Éléments agronomiques

Carbone (Anne)	Azote (Kjeldahl)	P (eau)	K ₂ O (total)	P ₂ O ₅ (total)
4,1 %	0,23 %	11,6 %	0,02 %	0,041 %

Granulométrie

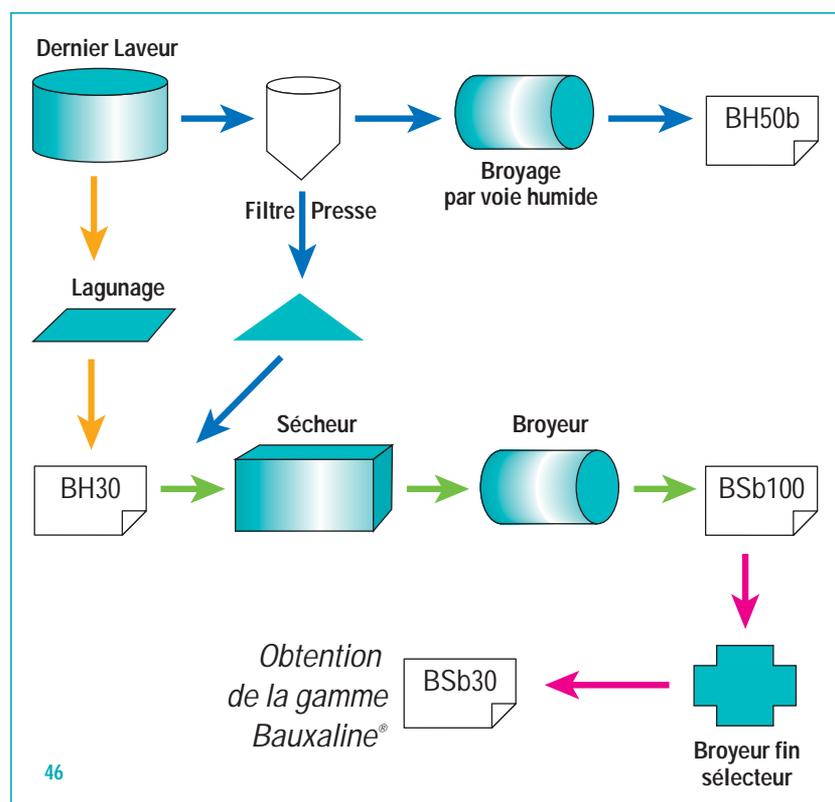
0 à 2 μ	2 à 5 μ	5 à 20 μ	20 à 200 μ	200 μ à 2 mm
26,3 %	44,3 %	12 %	14 %	3,4 %

Géotechnique

Perméabilité : $K = 10^{-8}$ m/s à 10^{-9} m/s ;
teneur en eau à l'optimum Proctor : 32 % ;
densité à l'optimum Proctor : 14,5 Kn/m³ ;
angle de frottement : 25° ;
cohésion résiduelle : 10 Kpa.

- Ces qualités ont été fiabilisées par obtention à l'aide d'un procédé industriel suivant une gamme, BH ou BSb.
- Des fiches « produit » commerciales ont été éditées pour chaque élément de la gamme.
- Enfin une politique commerciale a été développée.

La démarche produit se poursuit aujourd'hui au sein de l'établissement de Gardanne conjointement entre la Direction de l'Environnement et le Centre de Recherche des aluminés de spécialité.



Perspectives



47

47. Aluminium Pechiney Gardanne veut faire de la Bauxaline® un co-produit à part entière
48. Zéro rejet au large de Cassis



48

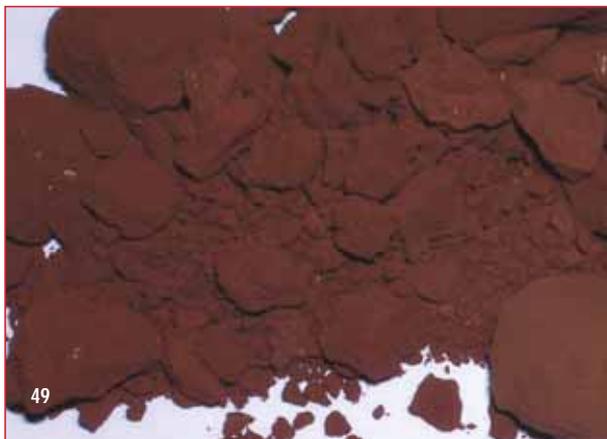
2015 : arrêt total des rejets de résidus

Au 31 décembre 2015, l'établissement de Gardanne devra avoir cessé tout rejet de résidus en mer. Il arborera un nouveau profil environnemental dans lequel la valorisation à 100 % des résidus sous forme de Bauxaline® se présente aujourd'hui comme une perspective probable. Les aménagements et les équipements nécessaires seront réalisés et fonctionneront à plein...

Pour ce faire et pour l'heure, le Comité Scientifique de Suivi approuve les choix fait par l'établissement de Gardanne de favoriser les solutions de valorisation sous forme de Bauxaline® qui permettent la mise en œuvre de forts tonnages.

Il recommande d'être attentif à l'égard de la faune benthique en contact avec les dépôts sous-marins et de la faune nageant près du fond (poissons nectobenthiques*) afin de contrôler le risque inhérent à l'accumulation des métaux dans la chaîne trophique.

Il recommande enfin de faire part de cette expérience de 10 années de suivi par des publications, afin que celle-ci soit comprise et que ses résultats soient connus et reconnus ⁽²³⁾.



49

49. Échantillon de Bauxaline®

La Bauxaline® comme un co-produit

Si 2015 peut se présenter comme une date butoir, 2015 peut aussi représenter un objectif à atteindre ! L'ambition de faire de la Bauxaline® un co-produit de l'alumine, à terme, suppose, en effet, d'accepter l'enjeu de l'intégration de l'environnement dans la stratégie industrielle de l'établissement et d'anticiper les effets de la contrainte réglementaire afin de la négocier plus aisément.

Les résidus, inertes car stables dans l'environnement, sont lentement devenus un produit secondaire de par leurs qualités. Préparés, conditionnés, ils sont aujourd'hui connus sous le nom de Bauxaline®.

Recommandations, classifications et homologations pour des usages précis seront par conséquent les étapes à franchir pour que la Bauxaline® soit enfin un co-produit.

Bibliographie



Documents administratifs et synthèses techniques récents

- 1 Historique Exploitation Valorisation des Résidus Inertes**
Historique des contrôles, inventaire des travaux scientifiques, contrôles en exploitation des résidus inertes, solutions alternatives de rejet, de valorisation, emploi des résidus, étude en vue d'un stockage terrestre (Pechiney 1993).
- 2 Bilan des études scientifiques effectuées entre 1990 et 1992**
Travaux à la mer, études et analyses, bilan des études, synthèse (CREOCEAN, Pechiney 1993).
- 3 Occupation du domaine public maritime**
Présentation des installations et de leur entretien en vue d'un renouvellement d'arrêté préfectoral (Pechiney 1994).
- 4 Arrêté préfectoral du 24 mai 1994**
Prescription (entre d'autres choses) d'études et de suivis du milieu marin confronté au dépôt des boues rouges et de constitution d'un Comité Scientifique de Suivi.
- 5 Arrêté préfectoral du 29 décembre 1995**
Renouvellement d'un an de l'autorisation d'occupation du domaine maritime.
- 6 Arrêté préfectoral de juillet 1996**
Renouvellement de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime pour 19 ans à compter du 1^{er} janvier 1997.
- 7 Arrêté préfectoral complémentaire du 1^{er} juillet 1996**
Prescription (entre d'autres choses) d'études toxicologiques et d'un calendrier de réduction des rejets jusqu'au niveau 0 en 2015.
- 8 Arrêtés préfectoraux complémentaires du 15 octobre 2001 puis du 31 juillet 2003**
Prescriptions concernant les conditions d'augmentation temporaires du taux d'oxyde de sodium dans les résidus inertes rejetés en mer.

Documents de communication

- 9 Maîtrise technologique et respect de l'environnement**
Fascicule synthétique faisant état de l'action d'Aluminium Pechiney Gardanne en faveur de la préservation de l'environnement (Pechiney avril 1993).
- 10 Les possibilités d'emplois des résidus inertes**
Fascicule synthétique faisant état de la maîtrise technologique, de la gestion des résidus inertes du traitement de la bauxite par le procédé Bayer. L'ensemble est précédé d'un historique sommaire de l'usine de Gardanne et de la production de l'alumine (Pechiney 1995).
- 11 L'emploi des résidus inertes : un enjeu pour demain (état d'avancement des recherches)**
Fascicule faisant état de l'ensemble des résultats, émanant des divers programmes entrepris pour développer des utilisations des résidus inertes du traitement de la bauxite par le procédé Bayer (Pechiney 1995-1996).

12 La Bauxaline®, « un matériau nouveau au service de l'environnement »

Fascicule faisant état du conditionnement de la caractérisation et des domaines d'application de la Bauxaline (Pechiney 1998).

13 En route pour l'innovation

Plaquette de présentation de la valorisation de la Bauxaline® en tant que sous-couche de chaussée (programme en coopération Pechiney, Mallet, Surschiste, Conseil Général, Gardanne, CETE Méditerranée, 2002).

14 Un pari gagné

La Bauxaline® pour la couverture des centres d'enfouissement technique. Fascicule de présentation des résultats de la valorisation de la Bauxaline® en centre d'enfouissement technique* (partenariat Semag, Pechiney 2002).

15 La Bauxaline®, un nouveau produit aux multiples applications

Fascicule présentant une vue d'ensemble des applications possibles de la Bauxaline® (Pechiney 2002).

Rapports annuels du Comité Scientifique de Suivi

16 Rapport annuel CSS 1994-1995

16bis Rapport annuel CSS 1996

Où il est question de la détermination de l'hydrodynamique régionale et de la confirmation de la stabilité du dépôt de boues dans le canyon de Cassidaigne (Observatoire des Sciences de l'Univers, Centre Océanologique de Marseille 1996).
Où il est en outre question des résultats de recherches concernant la valorisation horticole (Ecotechnologie), géotechnique (Société du Canal de Provence) (CETE Méditerranée), et aquacole (Centre Océanologique de Marseille) de la Bauxaline®.

17 Rapport annuel CSS 1997

Où il est question de l'ensemble des travaux de Courantologie entrepris depuis 1995 en rade de Cassis et de la dispersion des résidus (détection des remontées d'eaux profondes, modélisation de la circulation régionale - Centre Océanologique de Marseille, CETIIS, LHMA 1997). Ce rapport fait en outre état de la campagne ALPESUR (High Tech Environnement) et des résultats de tests de la toxicité du résidu sur la faune. Le point de vue, quoique nuancé, renforce la thèse de l'innocuité des boues rouges (ADECTOX 1997).
In fine est fait état des résultats définitifs des tests de valorisation de la Bauxaline® (décharge, SIMECSOL ; coulis d'injection, EDF), et de bâtiment (INSA, Ciment d'Obourg).

18 Rapport annuel CSS 1998

Où il est question de la migration d'Est en Ouest des parties « fines » du dépôt et d'un impact discret sur le plateau continental (Sédimentologie-granulométrie Arnoux 1998). Où il est en outre question d'un net appauvrissement de la richesse spécifique et de la densité des peuplements macrobenthiques (Biologie marine Stora, Arnoux, Durbec, Gilbert 1998). Concernant la valorisation de la Bauxaline®, le rapport présente des résultats en termes d'itinéraire technique, validant ainsi les approches expérimentales des années précédentes.

19 Rapport annuel CSS 1999

Où il est très succinctement fait mention de la campagne ALPECAST et du rapport préliminaire, rapport qui confirme les résultats de la campagne ALPESUR (SERRA Marine, High-Tech Environnement, ADECTOX 1999). Ce rapport fait état de façon plutôt exhaustive de l'avancement des travaux concernant les pistes de valorisation de la Bauxaline® : pigeons d'argile (Blazy 1999) ; substrat horticole (Daudin Ecotechnologie 1999) ; couvertures étanches de centre d'enfouissement technique (Garros 1999) ; coulis d'injection (AP avec EDF 1999) ; filière couleur (AP V. Martinent).

20 Rapport annuel CSS 2000

Où il est question des peuplements macrobenthiques dans le chenal dans lequel est rejeté le résidu, de l'effet mécanique du résidu, de son innocuité chimique (Biologie marine COM 2000). Où sont retenus les paramètres de couleur de granulométrie et de composition chimique pour caractériser les sédiments de l'axe puis à l'Ouest et à l'Est du chenal ; de l'évolution du dépôt entre 1991 et 1999 (Sédimentologie Arnoux 2000). Concernant la valorisation, le rapport 2000 présente les travaux (AP V. Martinent, INSA, Ecole d'Architecture, élèves de l'EMA, 2000) concernant : béton auto-nivelant, mortier de rembourrage, brique cuite, parpaing coloré, bloc en terre, sac poubelle, peinture, céramiques, enduits ; une étude de marché.

21 Rapport annuel CSS 2001

Où il est question de la campagne en mer de 2002 ; du choix des prélèvements qui tient compte des résultats des années précédentes... Où il est question de la valorisation de la Bauxaline®. Le rapport fait état cette année de la caractérisation de la Bauxaline® au cours des essais horticoles (Daudin 2001) ; de son homologation par la DRIRE pour couvrir les alvéoles de CET ; de la présentation du pilotage d'un filtre presse et d'une centrifugeuse (Rousseau 2001) ; de la seconde étude marketing pour le marché du BTP (V. Martinent 2001) ; de la finalisation de la filière couleur et des blocs en terre (Ecole d'Architecture) ; enfin de l'avancement des travaux entrepris en 2001, lagunage, inertage (G. Tilmant 2001)...

22 Rapport annuel CSS 2002

Où il est question de la campagne ALPECAST 2. Ce rapport est un rapport préliminaire sur la base des premiers résultats de campagne (Sédimentologie et Biologie marine G. Stora, E. Duport, A. Arnoux, ADECTOX, High-Tech Environnement, 2002). Le rapport fait en outre état de l'avancement des recherches et essais concernant la valorisation de la Bauxaline® : Résultats d'étude de marché et tests de croissance de végétaux sur substrat mélangé à de la Bauxaline® (Daudin 2002). Filière couleur, épaissement, gros tonnages... (Pechiney 2002).

23 Rapport annuel CSS 2003

La granulométrie des sédiments et leur couleur permettent de suivre l'étendue et la progression du dépôt. Où les résultats offrent un premier scénario qui lie hydrodynamique régionale et calendrier de diminution des rejets et propose une confirmation des tendances observées d'une migration du résidu vers l'Ouest (Sédimentologie G. Stora et A. Arnoux 2003). Où l'on constate en outre, pour cette campagne 2002, un retour aux niveaux de diversité spécifique et de densité de peuplement proche des niveaux de 1991 (Biologie marine G. Stora, A. Arnoux, C. Ré, F. Gilbert, 2003). Sont en outre exposés les travaux concernant les couvertures et fonds d'alvéoles de CET, coulis d'injection, travaux routiers entrepris au titre de la valorisation de la Bauxaline® (Pechiney 2003).

Commandes du CSS et autres**24 Etudes et recherches sur les effets biologiques du rejet des boues de l'usine Aluminium Pechiney Gardanne dans le canyon de Cassidaigne. Bilan des connaissances scientifiques**

M. Lafaurie ; Directeur du laboratoire de toxicologie marine ; ER DRED301, CNRS GDR 1117 « Ecotoxicologie et chimie marine », Faculté de Médecine Université Nice-Sophia Antipolis (1995).

25 Etude des courants dans la baie de Cassis. Modélisation préalable à la campagne de mesure courantométrique et par piège à sédiment. Application du modèle thermo-hydrodynamique

Centre d'Océanologie de Marseille ; CETIIS (1995).

26 Facteurs de remontée d'eaux profondes (Upwellings) dans le canyon de Cassidaigne

Université d'Aix Marseille II, Observatoire des Sciences de l'Univers, Centre d'Océanologie de Marseille sous la direction de J.-P. Durbec (1996).

27 Réhabilitation de la décharge de déchets ménagers à Entressen. La mise en œuvre d'un sol de couverture. Mise en place de parcelles expérimentales

Ville de Marseille, Direction des services techniques, Direction de l'environnement (1996).

28 Réhabilitation de la décharge de déchets ménagers à Entressen. La mise en œuvre d'un sol de couverture. Bilan de 9 mois de gestion des parcelles expérimentales

Société du Canal de Provence Ingénierie et Développement ; Marseille Provence Métropole Direction de l'environnement et des déchets (1996).

29 Pechiney entreprise d'aluminium, usine de Gardanne, planches d'essais de perméabilité, Etude géotechnique, Rapport d'étude géotechnique

Fondasol (Bureau d'études de sols et de fondations, Ingénieurs-Conseils) (1996).

30 Utilisation des résidus inertes Aluminium Pechiney. Suivi du pilote de couverture et de végétalisation de la décharge d'Entressen

Ecotechnologie D. Daudin (campagne 1996).

31 Utilisation des résidus inertes Aluminium Pechiney. Suivi des essais de Gardanne

Ecotechnologie D. Daudin (1996).

32 Campagne de piégeage de particules sur le plateau continental au nord du canyon de Cassidaigne, analyses granulométrique et chimique

Professeur André Arnoux, Laboratoire d'Hydrologie et Molysmologie Aquatique, faculté de Pharmacie, Université de la Méditerranée (1997).

33 Caractérisation de la circulation dans la baie de Cassis déduites de la campagne Turbin

C. Alberola, C. Millot, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie UMR 6535 CNRS, COM (1997).

34 Etude de la dispersion en mer des produits rejetés dans le canyon de Cassis. Simulation de la circulation et des dépôts par modélisation numérique

COM, SAFEGE CETIIS (1997).

35 Détermination de la toxicité aiguë de 3 échantillons de sédiments marins vis-à-vis des poissons *Dicentrarchus Labrax* (Bar ou Loup)

ADECTox, INERIS, laboratoire d'écotoxicologie (1997).

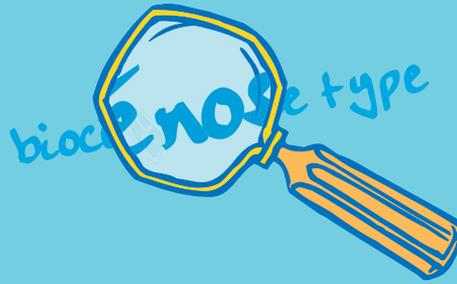
36 Détermination de la toxicité aiguë de 8 échantillons de sédiments marins vis-à-vis de la bactérie *Photobactérium Phosphoreum* (test Microtox)

ADECTox (1997).

37 SEMAG, Commune de Gardanne 13120, Centre d'enfouissement technique de Malespine, Etude géomécanique et analyse chimique des matériaux à constituer la couverture de CET

SIMECSOL Société d'études et Ingénieurs-Conseils (1997).

- 38 Valorisation des résidus inertes de la production d'alumine : récifs artificiels. Etude de la colonisation**
Centre d'Océanologie de Marseille CNRS UMR6540 (Diversité biologique et fonctionnement des écosystèmes marins côtiers)
J.-G. Harmelin (1997).
- 39 Projet de réalisation d'un tronçon de route à partir des résidus issus de la production d'alumine. Suivi de comportement des matériaux ANTEA P. Ciron, BRGM (Pechiney ; Etude de la stabilité des boues rouges xi et xj) J.-M. Hau J.-F. Brunet et H. Hass (1997).**
- 40 Utilisation des résidus inertes en techniques routières. Chantier expérimental de Bramefan**
Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement. Laboratoire régional des ponts et chaussées (1997).
- 41 EDF-DE/Pechiney. Etude d'un coulis de remplissage de cavité à partir de résidus de traitement de bauxite (RTB) et de cendres LFC**
EDF, Direction de l'équipement, Service de la qualité des réalisations, Département TEGG (1997).
- 42 Programme d'essais Etape 3 : résidus de traitement de la Bauxite**
EDF, Direction de l'équipement, Service de la qualité des réalisations, Département TEGG (1997).
- 43 Utilisation des résidus inertes Aluminium Pechiney. Suivi des essais de Gardanne**
Ecotechnologie D. Daudin (1997).
- 44 Utilisation des résidus de bauxite Aluminium Pechiney pour l'aménagement des décharges. Inventaire des décharges des Bouches-du-Rhône**
Ecotechnologie D. Daudin (1997).
- 45 Essai d'utilisation des résidus de bauxite en tant que matériau agronomique pour l'aménagement autoroutier (ASF Péage de Salon-de-Provence)**
Ecotechnologie D. Daudin (1997).
- 46 Rapport de synthèse des études toxicologiques sur les échantillons de sédiments marins collectés durant la campagne ALPESUR**
D. Ribera ADECTox (1998).
- 47 Etude de l'effet d'un effluent sur le milieu marin, cas de l'usine Pechiney de Gardanne en baie de Cassis. Géochimie du Chrome et du Vanadium dans les sédiments. Essais de remobilisation**
Université des sciences et technologies de Lille Laboratoire de chimie analytique et marine EP 1750 CNRS (1998).
- 48 Détermination du potentiel génotoxique de 8 échantillons de sédiments marins (test d'Ames)**
ADECTox Ribera (1998).
- 49 Toxicité des boues rouges de l'usine de Pechiney sur le développement embryonnaire de *Paracentrotus Lividus***
O. Geffard, Laboratoire de Physico et Toxico Chimie des systèmes naturels, Université de Bordeaux I (1998).
- 50 Mise au point d'un substrat horticole à base de résidus de bauxite (la Bauxaline® Aluminium Pechiney). Résultats des essais en conteneurs**
Ecotechnologie D. Daudin (1998).
- 51 Utilisation des résidus de bauxite (la Bauxaline®) Aluminium Pechiney. Suivi 1998 des essais de Gardanne et synthèse des résultats**
Ecotechnologie D. Daudin (1998).
- 52 Inventaire des situations d'usage de la Bauxaline® Aluminium Pechiney Actualisation 1998**
Ecotechnologie D. Daudin (1998).
- 53 Etude de la macrofaune benthique dans le secteur du canyon de Cassidaigne. Campagne ALPESUR 97**
G. Stora, A. Arnoux, F. Gilbert, J.-P. Durbec, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Centre d'Océanologie de Marseille (1999).
- 54 Etudes granulométrique et chimique des sédiments dans le secteur du canyon de Cassidaigne. Campagne ALPESUR 1997**
A. Arnoux (1999).
- 55 Etude de la macrofaune benthique dans le secteur du canyon de Cassidaigne. Campagne ALPECAST 99**
G. Stora, A. Arnoux, F. Gilbert, G. Desrosiers, D. Dufour, C. Re, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Centre d'Océanologie de Marseille (1999).
- 56 Etude de coulis à base de cendre LFC + Bauxaline® pour le comblement de cavités**
EDF, EDF pôle industrie, Service de la qualité des réalisations, Département TEGG (1999).
- 57 Rapport de synthèse des études toxicologiques réalisées sur les échantillons de sédiments marins collectés lors des campagnes ALPESUR(97) et ALPECAST(99) pour Aluminium Pechiney**
ADECTox Ribera (2000).
- 58 Inhibition de la luminescence de *Vibrio Fisheri* par les échantillons de sédiments marins (Test Microtox)**
ADECTox Ribera (2000).
- 59 Détermination du potentiel génotoxique de 8 échantillons de sédiments marins (Test d'Ames)**
ADECTox Ribera (2000).
- 60 Détermination de la toxicité sur le développement embryonnaire de bivalve pour 8 échantillons de sédiments marins**
ADECTox Ribera (2000).
- 61 Etude de marché prospection commerciale et inventaire des situations d'usage de la Bauxaline® Aluminium Pechiney en région PACA. Compte rendu année 2000**
Ecotechnologie D. Daudin (2000).
- 62 Utilisation de la Bauxaline® Aluminium Pechiney (usine de Gardanne) Synthèse des résultats des essais pour l'année 2000**
Ecotechnologie D. Daudin (2000).
- 63 Utilisation de la Bauxaline® (Aluminium Pechiney, usine de Gardanne). Synthèse des résultats 2001**
Ecotechnologie D. Daudin (2001).
- 64 Etude de la macrofaune benthique dans le secteur du canyon de Cassidaigne (ALPECAST 2)**
G. Stora, A. Arnoux, E. Duport, C. Ré, F. Gilbert (COM 2003).
- 65 Analyses granulométriques et chimiques de sédiments prélevés dans la zone de rejet des boues résiduelles de l'industrie de l'aluminium (ALPECAST 2)**
A. Arnoux, G. Stora (2003).



Principaux termes techniques utilisés dans cet ouvrage

Bathyal	<i>(adjectif)</i> qui concerne la zone océanique comprise entre 200 et 3 000 mètres de profondeur. Sédiments bathyaux : déposés à une telle profondeur.
Benthique, nectobenthique	<i>(adjectif)</i> « du fond des océans, des mers ou des lacs » (ainsi : <i>dépôt benthique</i>) ; nectobenthique, qui concerne la faune du fond des océans, mers ou lacs.
Biocénose	ensemble des êtres vivants (animaux, végétaux, micro-organismes) présents dans un même milieu ou <i>biotope</i> .
Biologie marine	ensemble des sciences étudiant les espèces vivantes et les lois de la vie dans le milieu marin.
Centre d'Enfouissement Technique (CET)	centre de traitement des déchets ultimes (subsistant après tri, traitements, etc.) respectant des réglementations de plus en plus strictes. Il existe plusieurs classes de CET selon la nature des déchets (industriels stabilisés, ménagers, inertes...).
Courant liguro-provençal	courant formé au nord du Cap Corse, à partir de deux grands courants marins de surface venant l'un de l'Atlantique, l'autre de Méditerranée orientale, et qui crée une véritable zone d'abondance en mer des Ligures (comprise entre Marseille, La Spezia au sud de Gênes, et la Corse).
Détritique	se dit d'une roche sédimentaire composée à au moins 50 % de débris issus de l'érosion, ou résultant de la désagrégation d'une roche préexistante.
Écotoxicologie	étude scientifique de l'action exercée par des produits toxiques sur le milieu où ils se manifestent et du déplacement d'équilibre écologique qui en résulte progressivement.
Géotechnique	<i>(adjectif)</i> relatif à l'étude des propriétés des sols et des roches, en fonction des projets de construction et/ou d'activité humaine.
Granulométrie	mesure des dimensions des grains d'un solide, détermination de leur forme et de leur répartition.
Hydrodynamique	science du mouvement des liquides incompressibles et des résistances qu'ils opposent aux corps qui se meuvent par rapport à eux.
Ichtyofaune	ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé.
Inhibition de la luminescence	processus freinant ou empêchant l'émission par la matière d'un rayonnement électromagnétique (fluorescence ou phosphorescence)
Innocuité chimique	caractérisation d'un élément comme chimiquement inoffensif, ni toxique, ni nocif.
Lagunage	opération d'épuration des eaux résiduaires consistant à les laisser séjourner dans de grands bassins.
Lessivas, lixivats	on désigne ainsi l'eau qui a percolé à travers des déchets en se chargeant bactériologiquement et surtout chimiquement de substances minérales et organiques.
Lixiviation	opération consistant à faire passer un solvant à travers un produit préalablement pulvérisé pour en extraire certains constituants solubles.

Macro-faune	faune visible à l'œil nu.
Percolats	voir <i>Lessivas, lixiviats</i> .
pH	mesure de l'état acido-basique d'une solution contenant des ions H ⁺ . Le pH des sols conditionne en partie la répartition des végétaux.
Polychètes	animaux constituant une classe de l'embranchement des annélides (animaux à corps cylindrique segmenté, constitué d'anneaux tous identiques entre eux). Les polychètes sont représentés par quelque 5 000 espèces, essentiellement marines.
Protection cathodique	consiste à maintenir la conduite à une valeur de potentiel telle que lui soit assuré un état d'immunité permanent contre la corrosion.
Résidu inerte	matière sans activité ni mouvement propre qui subsiste après une opération physique, chimique, ou une transformation industrielle.
Sédimentologie	étude de la nature et du mode de dépôt des sédiments et des roches sédimentaires.
Substrat	celui des deux partenaires d'une réaction chimique dont on examine les changements structuraux.
Trophique	qui se rapporte à la nutrition des organes et des tissus. Les écosystèmes sont souvent considérés comme une succession de niveaux trophiques homogènes : les producteurs primaires, les herbivores et les carnivores.

Édité par
Approche Communication
pour le compte de :

ALCAN BAUXITE ET ALUMINE
Alumines de Spécialité Europe

Aluminium Pechiney

BP 62

13541 Gardanne cedex, France

Tél. : +33 4 42 65 22 22

Fax : +33 4 42 65 28 99

www.specialty-aluminas.alcan.com

N° ISBN 2-907590-34-0
Achevé d'imprimer septembre 2005

Conception et réalisation
Approche Communication - tél. 04 91 15 72 72
6, rue d'Arcole 13006 Marseille

Impression et façonnage
BBG Imprimerie - tél. 04 91 864 864
2A, rue du Monastère 13004 Marseille



Realisation : APPROCHE Communication - Créatif photos - photobureau ALCAN



Imprimé sur papier recyclé avec des encres végétales

ALCAN BAUXITE ET ALUMINE Alumines de Spécialité Europe

Aluminium Pechiney
BP 62
13541 Gardanne cedex, France
Tél. : +33 4 42 65 22 22
Fax : +33 4 42 65 28 99

www.specialty-aluminas.alcan.com

