

**RAPPORT ANNUEL 1999**

**DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI**

**RESIDUS DE TRAITEMENT DE  
BAUXITE  
(BAUXALINE)**

**AP GARDANNE**

**WIMEREUX le 15 avril 2000**

## RAPPORT ANNUEL 1999 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE (BAUXALINE) AP GARDANNE

### Réglementation des installations classées

Depuis le décret 87-279 du 16 avril 1987 pris au titre de la législation des Installations classées - loi du 19 juillet 1976 - et de la Police des Eaux- loi du 16 décembre 1964 - les rejets en provenance des Installations Classées sont soumis à la réglementation des Installations Classées. Leur sont donc applicables les dispositions du décret modifié du 21 septembre 1977. C'est à ce titre que l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994 impose des prescriptions complémentaires à Aluminium Pechiney Gardanne sur l'ensemble des installations de rejet en mer avec notamment :

- \* dans son article 5.1.1 une programmation d'opérations de suivi du milieu marin tous les cinq ans de l'extension du dépôt et de son épaisseur et le suivi de l'évolution de la macrofaune benthique sur des stations de prélèvement représentatives du milieu concerné par le rejet et sur des stations de référence.

- \* dans son article 5.1.2. une étude de l'effet du rejet sur les activités de pêche avec les professionnels de la pêche.

- \* dans son article 5.2.1 des études hydrauliques et de la masse d'eau afin d'évaluer la dispersion et le transport dans la masse d'eau des éléments rejetés et leurs impacts sur le milieu.

dans son article 7, la constitution d'un Comité Scientifique de suivi.

L'article 2-2 de l'arrêté du 1 juillet 1996 complétant l'arrêté 24 mai 1994 indique « La société Aluminium Pechiney 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 résidus et notamment à leur persistance, accumulation, interaction et effet sur l'écosystème marin. Une attention particulière sera portée sur la bio-accumulation du chrome et du vanadium. Cette étude sera lancée dès le début de l'année 1997. A l'issue de cette étude, un programme de suivi de la toxicité des résidus sur le milieu pourra être engagé ».

L'article 4 de l'arrêté du 1 juillet 1996 « Réduction quantitative des rejets » précise.

4-1. Les premier et troisième alinéas de l'article 4.5. de l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994 sont abrogés.

4-2. Grâce à la poursuite des actions de diminution de la production des résidus et d'emploi dans des techniques de valorisation, la société ALUMINIUM PECHINEY cessera tout rejet en mer au 31 décembre 2015 selon le programme déjà engagé suivant :

|  | 1986 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Quantité déposée en mer en millions<br>de tonnes | 1,04 | 0,5  | 0,33 | 0,31 | 0,25 | 0,18 | 0    |

#### **Composition du Comité Scientifique au 23 février 1998 et rôle du Comité Scientifique de Suivi**

Le comité de suivi prévu par l'article 7 de l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994 a été mis en place par décision préfectorale en date du 30 Octobre 1995. La décision du 23 février 1998 modifie la liste des membres du CSS proposé le 30 octobre 1995 et désigne les six membres suivants : Président : Professeur Jean-Claude Dauvin (Université des Sciences et Technologies de Lille I, Wimereux) ; membres : Professeur André Arnoux (Faculté de Pharmacie de Marseille), Monsieur Pierre Blazy (Directeur du Centre de Recherche et de Valorisation des Minerais de Vandoeuvre), Monsieur Henri Farrugio (Centre IFREMER - Sète), Professeur Michel Leveau (Centre Océanologique de Marseille, Université de Méditerranée) et Monsieur Georges Stora (Directeur de Recherche CNRS, Centre d'Océanologie de Marseille).

Le Comité Scientifique de Suivi a trois principales missions ; il :

- i) examine et analyse les résultats des travaux entrepris sur la bauxaline et le devenir en mer des résidus de traitement de bauxite;
- ii) donne son avis sur les programmes en cours et à venir ;
- iii) produit un rapport annuel.

## Rapport 1999

Les travaux entrepris en 1999 portent comme les années précédentes sur deux domaines bien distincts :

I. Acquérir une meilleure connaissance du devenir en mer des Résidus de Traitement de Bauxite et déterminer leur toxicité.

II. Rechercher les voies d'utilisation de la bauxaline.

### Campagne en mer ALPECAST

Comme demandé par le Comité Scientifique de Suivi en décembre 1998, une campagne océanographique a été entreprise en 1999 afin de récolter du sédiment dans certaines stations plus ou moins éloignées du rejet et de l'axe central du canyon pour réaliser des tests écotoxicologique et compléter ainsi la campagne ALPESUR 97 avec pour objectif :

- i) connaissance de l'extension des dépôts de résidus inertes ;
- ii) détermination de la macrofaune benthique dans les sédiments récoltés ;
- iii) détermination de l'écotoxicité des sédiments superficiels.

Cette campagne s'est déroulée à bord du Navire CASTOR 2 bien adapté au type de travail par la Société Serra Marine qui a été retenue après appel d'offre ; une benne de type USNEL comparable à celle utilisée dans les campagnes d'échantillonnage précédente a été mise à disposition par IFREMER La Seyne sur Mer avec un technicien d'assistance. Un rapport de supervision de la campagne a été réalisé et fourni au Comité Scientifique de Suivi par HIGH-TECH Environnement.

Huit stations ont été visitées (Figure 1 et tableau 1) ; elles concernent six points de références échantillonnées auparavant lors des campagnes précédentes : PT02, PT06, MT06, U10, U02 et MT12, et deux stations nouvelles : U23 et U24. Les sédiments de l'ensemble des huit stations ont été prélevés en vue de tests d'écotoxicité alors que seules la macrofaune a été récoltée dans cinq stations (U10, U02 et MT12, U23 et U24).

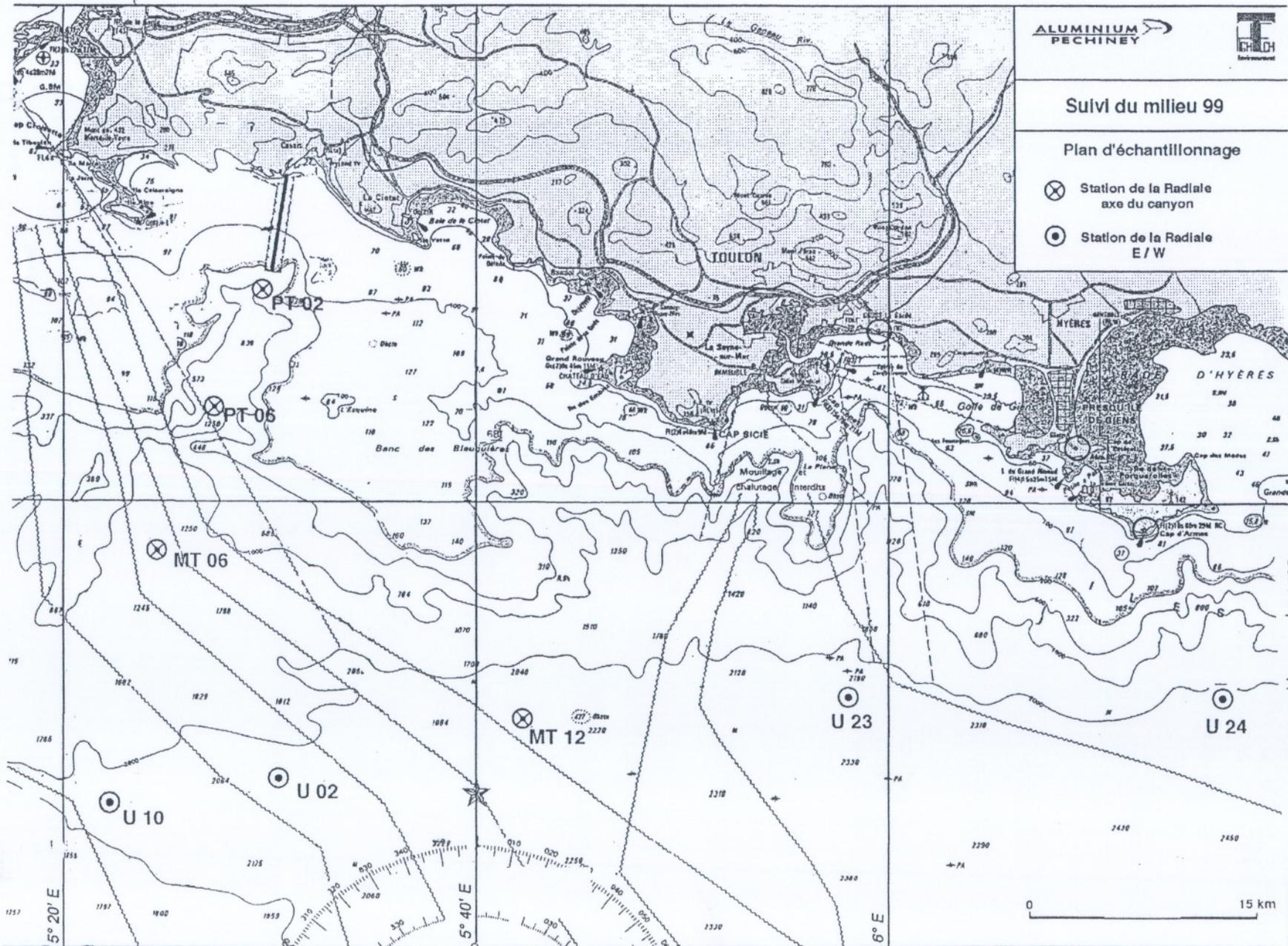


Figure 1 : carte de localisation des stations d'échantillonnage lors de la campagne en mer ALPECAST

| Station            | Date     | Position                 | Profondeur*<br>(m) | Contrôle                            |
|--------------------|----------|--------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| PT 02              | 27 09 99 | 43 07,812<br>05 29,800   | 553                | 30 cm de résidus sur argile bleutée |
| PT 06              | 27 09 99 | 43 03,162<br>05 27,389   | 1 210              | 2 à 3 cm de résidus sur argile      |
| MT 06              | 27 09 99 | 42 58,450<br>05 24,620   | 1 697              | 30 cm de résidus                    |
| U 10 / 1           | 28 09 99 | 42 49,204<br>05 21,938   | 2 140              | coloration rougeâtre                |
| U 10 / 2           | 28 09 99 | (42 49,204<br>05 21,938) | 2 250              | coloration rougeâtre                |
| U 02 / 1           | 29 09 99 | 42 48,810<br>05 29,964   | 2 110              | 1 cm de résidus rouge foncé         |
| U 02 / 2           | 29 09 99 | (42 48,810<br>05 29,964) | 2 109              | pellicule rougeâtre < 0,5 mm        |
| MT 12 <sup>Ⓢ</sup> | 07 10 99 | 42 52,180<br>05 42,126   | 2 225              | 20 cm de résidus sur sédiments      |
| U 23 / 1           | 07 10 99 | 42 52,022<br>06 00,000   | 2 290              | vase, pas de trace de résidus       |
| U 23 / 2           | 05 11 99 | 42 53,018<br>05 57,839   | 2 288              | pas de résidus apparents            |
| U 24 / 1           | 06 11 99 | 42 52,992<br>06 15,931   | 2 249              | pas de résidus apparents            |
| U 24 / 2           | 06 11 99 | 42 52,941<br>06 15,955   | 2 248              | pas de résidus apparents            |

\* profondeur : longueur du câble lors de l'arrachement au fond.

**Tableau 1 : principales caractéristiques des stations d'échantillonnage lors de la campagne en mer ALPECAST**

En raison de mauvaises conditions météorologiques et des avaries de treuil, la campagne s'est déroulée en trois phases du 27 septembre au 6 novembre 1999, mais a permis de remplir le cahier des charges.

#### Premiers résultats des tests d'écotoxicologie réalisés sur les sédiments des huit stations de la campagne ALPECAST

Seuls des résultats préliminaires sont disponibles actuellement. Le rapport de synthèse de M. D. Ribera ((ADECTOX) devrait être disponible ce printemps. Les données disponibles montrent qu'il n'existe pas de mutagenèse sur les extraits organiques, pas d'embryotoxicité sur les larves de moules que se soit des échantillons de sédiment ou des échantillons de lixiviat et pas d'inhibition de luminescence (microtox) sur le lixiviat (inhibition de la luminescence par le test contact, protocole microtox, sur les échantillons de sédiment et luminescence par le test contact, protocole normalisé environnement Canada, sur les échantillons de sédiments.

Ces tests semblent confirmer ceux obtenus lors de la campagne ALPESUR 1997 sur l'absence de toxicité des sédiments prélevés à partir des tests utilisés.

#### **Utilisation de liants organiques et minéraux pour la fabrication de palettes et soucoupes pour Swin-Trap (Rapport de Synthèse de M. Blazy, décembre 1999, 12 pages + 2 planches couleurs ).**

Les objectifs de cette étude sont de tester les possibilités d'utilisation de la bauxaline en remplacement des charges minérales carbonatées des projectiles commerciaux, agglomérés à des liants non polluants autres que le bitume. Les liants qui sont testés sont d'origines minérale et organique et appartiennent aux catégories suivantes : ciments à prise lente et à prise rapide, et huiles siccatives durcissables à chaud. Seules sont reportées dans ce rapport les conclusions générales de cette étude qui s'est étendue de 1996 à 1999.

L'agglomération de la bauxaline en vue de fabriquer des projectiles de Swing Trap est possible soit à l'aide d'un liant hydraulique, tel que le ciment Portland, soit à l'aide d'une huile siccative telle que l'huile de lin. Les deux méthodes ont en

commun l'intérêt d'utiliser de la bauxaline contenant 20 % d'eau et d'éviter son séchage. IL faut noter que les deux méthodes ne tolèrent pas des teneurs en eaux égales ou supérieures à 25 %, les mélanges n'ayant plus de consistance à froid et ne pouvant pas être moulés. Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients qui lui sont propres :

- i) la méthode aux liants hydrauliques a pour principal avantage d'être mise en œuvre à la température ambiante et pour principal inconvénient d'obliger à respecter le temps de prise et un temps de séchage important pour les produits obtenus ;
- ii) la méthode aux huiles siccatives a pour principal avantage de donner un produit final dès la sortie du four mais elle nécessite une montée en température et un temps de séjour assez long dans le four (1 h) ; la température de la zone active du four doit être égale à 250 °C.

Paradoxalement, on observe avec les mêmes mélanges et les mêmes préparations des résultats négatifs selon que l'on opère avec le profil des projectiles de type Laporte et des résultats positifs avec le profil des projectiles de type Sivia. Seul doit être mis en cause le type de lanceur qui a du être modifié entre les essais négatifs lors du lancement des projectiles de type Laporte et les essais avec les projectiles de type Sivia. En effet, le premier lanceur s'est avéré trop brutal pour les projectiles du type Laporte au moment du lancement. Dans la cas des projectiles de type Sivia, on doit mentionner qu'en plus de leur qualité de résistance et à donner de la fumée, ils paraissent avoir un excellent comportement aérodynamique. Mais certainement les deux profils sont aussi valables, à condition d'adapter le lanceur.

Le comportement au choc des plombs sur la cible, conduisant à l'explosion sous forme de fumée, plaide en faveur des projectiles fabriqués avec des huiles siccatives, tandis que le débitage en morceaux assez grossiers des projectiles fabriqués au ciment Portland est moins attractif sur le plan commercial où l'on s'efforce de trouver actuellement des cibles qui 'fument'.

La mise en œuvre industrielle pourrait être imaginée de la façon suivante :

- i) fabrication du mélange à l'intérieur d'un malaxeur type pétrin ;
- ii) acheminement des produits par une vis d'archimède ;
- iii) remplissage des moules à l'aide d'un doseur ;
- iv) les moules étant placés sur un carrousel, une partie mâle répartit les produits dans chaque moule et maintient la pression durant  $\frac{3}{4}$  de tour du carrousel ;
- v) le démoulage s'effectue à l'aide d'un poussoir après que la partie mâle soit retirée.

Dans le cas des projectiles à base de ciment, ceux-ci après être déchargés sur une bande transporteuse unité par unité, sont acheminés vers une aire de séchage à l'air libre et à la température ambiante.

Dans le cas des projectiles à base d'huile siccative, le projectile est amené sur une grille, se déplaçant lentement dans un four sécheur et est refroidi par jet d'air à la sortie. On peut aussi imaginer de disposer les projectiles sur des plateaux qui se superposent dans le four comme c'est le cas dans l'industrie de la céramique.

Dans les deux cas, les opérations de séchage et de cuisson en four mobilisent des surfaces assez conséquentes, si l'on veut prendre en considération des débits journaliers de 20000 à 30000 projectiles par jour et par ligne de fabrication.

Si l'on envisage le passage au stade pilote, quelque soit la voie choisie (ciment ou huiles siccatives), il faut dans un premier examiner le problème du moulage et démoulage des projectiles. Pour répondre à cette obligation, le carrousel utilisé dans les établissements Laporte peut être une base à partir de laquelle il faudra adapter les fabrications envisagées. Il conviendra notamment d'adapter les malaxeurs pour fabriquer un mélange qui dans le cas de cette étude est totalement différent des mélanges bitume-calcaire qui sont à la base du procédé Laporte.

Dans un deuxième temps, si le procédé à l'huile siccative est adopté, il conviendrait de choisir le type de four compatible avec la cuisson des projectiles à base de bauxaline, et dans le cas du choix du procédé au ciment, l'effort devra porter sur les aménagements d'aire de séchage. La préparation de ces deux étapes du pilote

nécessite au préalable la prise d'un brevet d'invention auquel s'ajouteraient probablement des compléments d'étude à la suite des résultats déjà obtenus.

#### Propositions du Conseil Scientifique de Suivi

Cette expérience sur trois ans a permis de tester la faisabilité de la construction des palettes Swing Trap avec de la bauxaline ; cependant, les possibilités de passage à sa valorisation industrielle ne semble pas assurée compte tenu des produits actuellement utilisée dans la construction des projectiles utilisés. Le Comité Scientifique de Suivi considère que cette voie ne pourra pas permettre une utilisation conséquente de la bauxaline et conseille AP de ne pas poursuivre les études dans cette valorisation.

**Mise au point d'un substrat horticole à base de bauxaline (résumé des actions 1999 et projets 2000, rapport de M. D. DAUDIN, Ecotechnologie).**

#### Grandes lignes du programme d'action en 1999

##### Suivi des essais en place

L'entretien des essais s'est limité à les maintenir dans un état tel qu'ils puissent être présentés aux utilisateurs potentiels comme une vitrine de l'utilisation de la bauxaline (voir les différents essais évoqués dans les rapports précédents).

##### *Contrôle analytique de l'évolution des différents substrats et de la lixiviation.*

Des analyses ont été réalisées sur des échantillons prélevés en surface (entre 0 et 1à cm) et en profondeur (entre 40 et 50 cm) dans la bauxaline pure et dans les différents mélanges avec des produits organiques. Ces analyses qui ont porté sur les éléments suivants, pH, conductivité, sodium, chrome et vanadium) confirment que l'évolution des substrats et la migration sont des phénomènes assez lents.

### *Contrôle des eaux de drainage*

La poursuite de contrôle analytique de la composition des eaux de drainage prélevées à la sortie du drain de l'essai du Centre de Recherche confirme les résultats des années précédentes : le drainage des éléments solubles est limité au niveau des éléments traces métalliques notamment.

### *Essais d'incorporation de la bauxaline dans un substrat agronomique*

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de la bauxaline en tant que composant d'un support de culture pour plantes ornementales n'est possible qu'à condition de respecter certaines précautions d'usage

La proportion en volume de bauxaline ne devra en aucun cas excéder 50 % du volume de substrat et 25 % pour les espèces particulièrement sensibles aux excès de salinité.

Il convient d'éviter d'y implanter des espèces trop sensibles aux excès de salinité ou inadaptées aux milieux trop alcalins.

Dans la mesure du possible, il sera procédé à un lessivage d'une fraction de la soude résiduelle avant de mettre en place les jeunes plants par des arrosages intensifs, en évitant cependant bien sûr de générer des flux de pollution dans le milieu naturel.

Il pourra être par exemple envisager de fixer les limites maximales suivantes avant d'implanter des végétaux dans un substrat à base de bauxaline : pH < 9, conductivité sur extrait au 1/5 < 0,8 mS, sodium total < 2 % de la matière éche eyt sodium soluble < 0,8 % de la matière sèche.

### *Appui technique et commercial à l'utilisation de la bauxaline*

L'année 1999 a permis de compléter la prospection déjà largement commencée les deux années précédentes portant sur l'utilisation de la bauxaline pour l'exploitation et la réhabilitation des décharges (matériau de couverture, support agronomique pour la végétalisation, matériau pour la constitution des parois des alvéoles) de plusieurs façons :

Relance de tous les prospectes et recherche de nouveaux usagers potentiels.

Diffusion d'informations (plaquette et résultats d'essais) et organisation de visites d'essais sur le terrain.

Veille technologique sur les différents travaux réalisés dans le domaine de l'utilisation des résidus de bauxite.

**Rapport de G. Tilmant sur l'avancement des travaux entrepris par Aluminium Pechiney sur l'emploi de la bauxaline en 1999 et sur les projets d'études 2000.**

### Activités 1999

#### Opération pilote AP/Déchets services

Objectif : réalisation d'une planche d'essais de 750 m<sup>2</sup> sur le Centre d'Enfouissement technique des Cadeneaux avec un mélange de bauxaline et d'argile dans le but de montrer que ce produit permet d'obtenir une imperméabilité de  $k \leq 10^{-9}$  m/s.

Méthode : planche de 1 m d'épaisseur soit une quantité de bauxaline de 1000 t et 90 t d'argile séchée à 8 % après mélange par rotovateur et compactage et fermeture au vibro compacteur.

Résultats : perméabilité moyenne 4. 10<sup>-10</sup>m/s

Perspectives : possibilité de réaliser des couvertures étanches ou des fonds de forme avec ce produit dont le coût opératoire est de l'ordre de 100F la tonne.

#### Développement des coulis d'injection pour grandes cavités

Action conjointe AP/EDF - TEGG dans le but de trouver un produit de comblement de cavités souterraines par un mélange de bauxaline et cendres volantes avec une mise au point de la formulation : identification de la qualité d'injectabilité et de fluidité, qualité de résistance mécanique au moins de 5Mpa et minimalisation du relargage d'eau.

## Rappel des objectifs techniques

| Cahier des charges              | Essais   | Résultats de l'étude de laboratoire   |
|---------------------------------|--|---|
| Injectable sous faible pression | Fluidité à t0  | 10 s à la buse de 10 mm   |
| Stable à court terme            | Fluidité à t0 +3 h<br>Décantation à 24 h   | 15 s à la buse de 10 mm<br>3 %  |
| Stable à long terme             | Tests de durabilité<br>Mesure des résistances avec 70kg.-3 C :<br>Conservation sous l'eau 371 jours<br>Conservation à l'air à 95 % HR 371 j<br>Mesures des résistances avec 100 kg.m3 de C :<br>Conservation dans l'eau à 20°C | 5,1 Mpa à 90 j- 2,5 Mpa à 370 j<br>5,1 Mpa à 90 j- 5,5 Mpa à 370 j<br>10 Mpa à 90 j |
| Résistance minimale requise     | Mesure de la résistance en compression   | > 5 Mpa   |
| Respect de l'environnement      | Connaissance des constituants de base  | Suivi des industriels   |

## Formulation

| La bauxaline PECHINEY  | Le ciment  | La cendre LFC SOPROFIL  |
|--|--|---|
| Résulte du traitement de la bauxite par le procédé Bayer   | Ciment CHF 32,5  | Résulte de la combustion du charbon de Provence   |
| Limon peu argileux   | Liants hydrauliques  | Cendre volante hydraulique  |
| Eléments majeurs<br>AL2O3 : 14 %<br>FE2O3 : 42 %<br>CaO totale : 11 %<br>TiO2 : 11 %<br>SiO2 : 6 % | Eléments majeurs : CPA CHF<br>CaO tot : 67,4 48,6<br>CaO libre : 0,7 -<br>SiO2 : 23,0 31,7<br>MgO : 0,9 6,0<br>Al2O3 : 3,0 8,2<br>Fe2O3 : 1,9 1,1<br>SO3 : 2,2 3,0 | Eléments majeurs<br>CaO totale : 43 % dont 17 % de CaO libre<br>SO3 : 22 %<br>SiO2 : 17 %<br>Al2O3 : 7,5 %<br>Fe2O3 : 5,4 % |

Essais de pilotage (planches photos 1 à 4) du 14 au 18 février 1999 (densité du coulis frais, 1,570 tonne par m<sup>3</sup>, Cendre LFC, 310n kg, Bauxaline 440 kg sec soit 550 kg en humide, ciment 100 kg et eau totale 720 kg dont 110 kg dans la bauxaline) : injection de tranchées sur Mange Garri : réalisation d'AP/EDF -TEGG/GTS sur deux cavités expérimentales (tranchées de 10 m x 2 m x 1,7 m) et deux formulations types de mélange ; utilisation de tranchées imperméabilisées par des feuilles de polyane et



Planche 1.



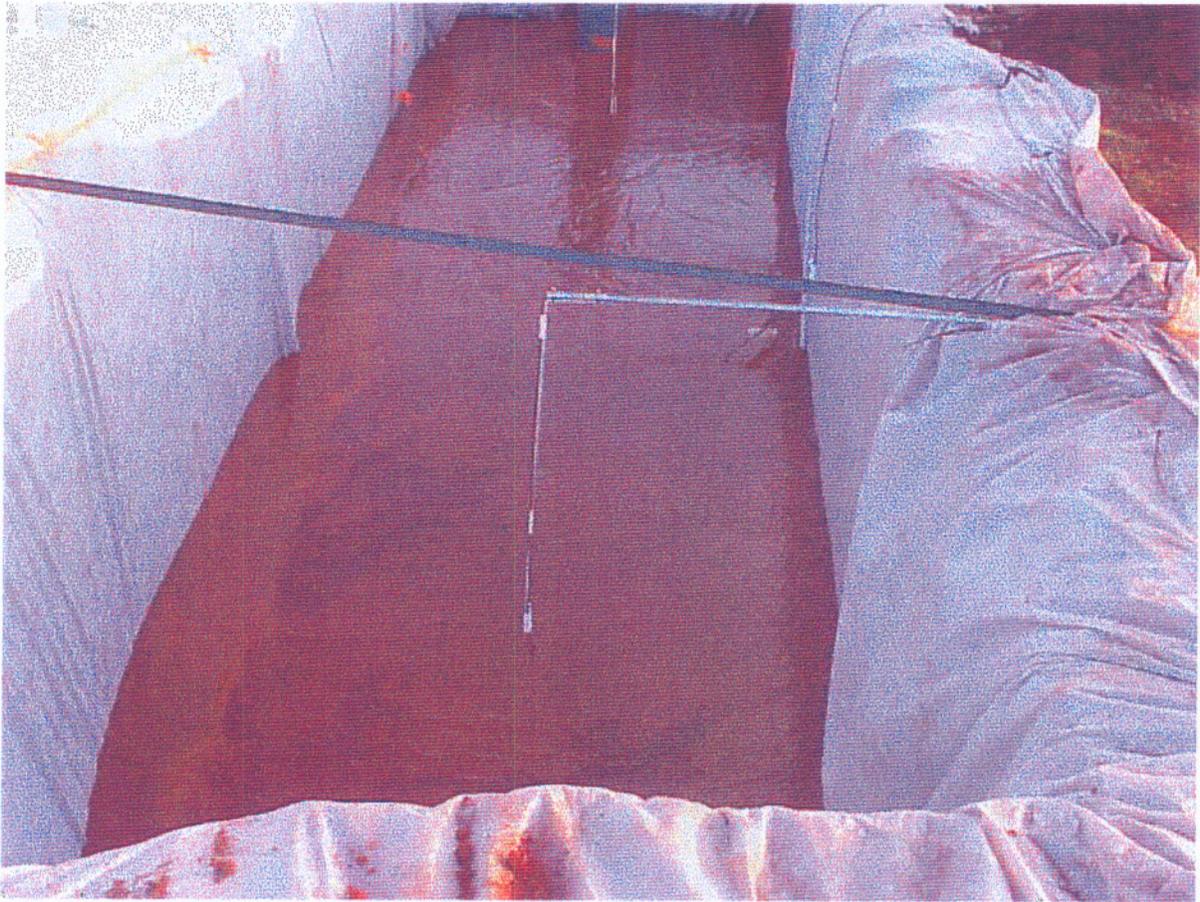


Planche 3.

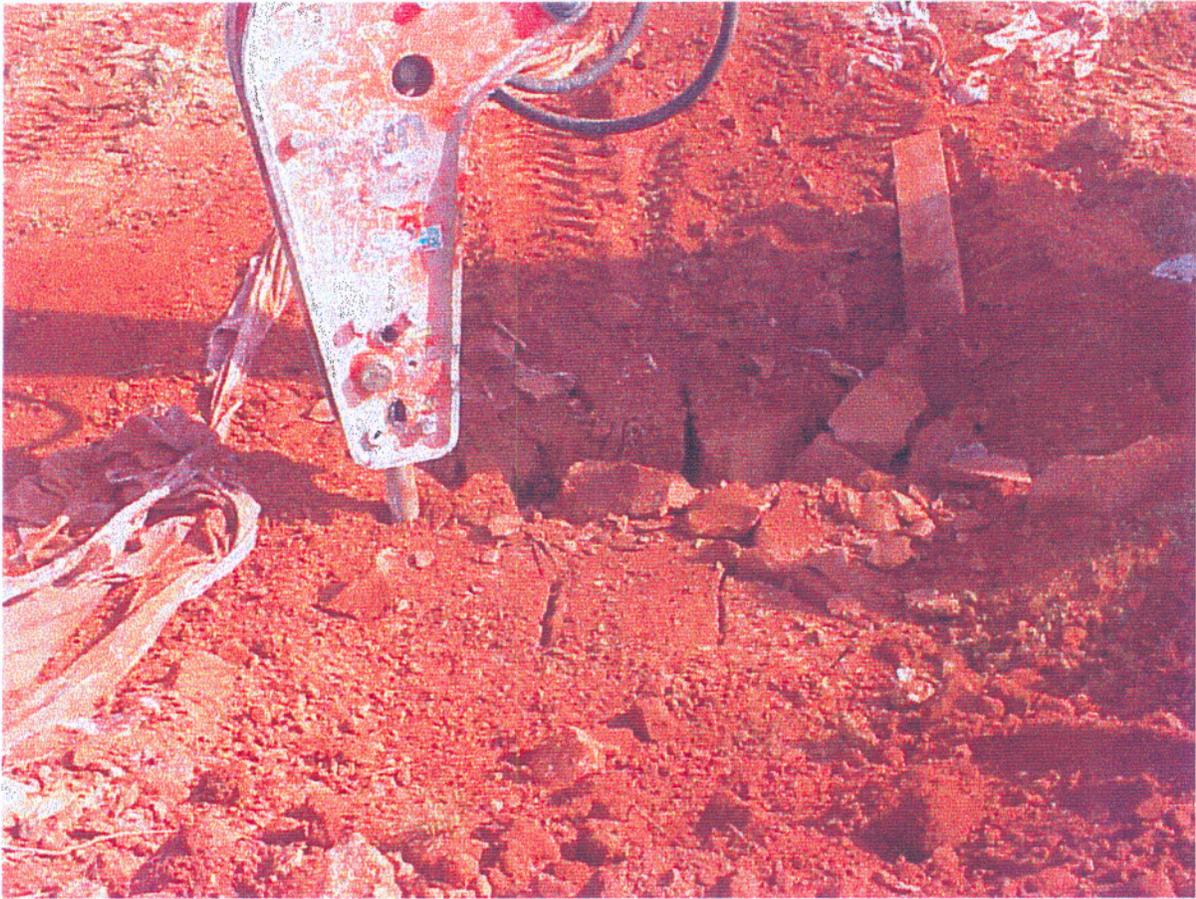


Planche 4.

récupération des eaux de relargage par drain et puisard ; couverture de la tranchée remplie de coulis par un film polyane pour éviter l'entrée des eaux pluviales.

Résultats : techniquement satisfaisants, faible relargage (0,5 % de la quantité injectée), eau non colorée, c'est un produit économiquement moins cher de 30 % que le coulis classique.

### Blocage de métaux lourds

Etude de faisabilité réalisée avec R/D AP et le CEREGE : résultats positifs et réflexions pour développer un pilotage industriel.

### Contacts

De nombreux contacts ont été pris en 1999 : Groupe Vivendi, ORTEC Industrie, Déchets Services, Société des Eaux de Marseille, Ecole d'Architecture de Montpellier et Entreprise Guintoli.

### Filière couleur (Présentation en CSS de Madame Martiment du Centre Recherche et Développement AP Gardanne)

L'objectif est d'utiliser les différentes voies de valorisation de la bauxaline en utilisant sa capacité colorante ; cette étude a été confiée au CRPMC de Pau (contrat 1999-2001) après obtention d'une subvention de l'ADEME couvrant environ 40 % du coût de l'étude. Cinq pistes ont été testées : enduits et bétons projetés, films thermoplastiques recyclés, peintures aqueuses, sols élastomères colorés et céramiques basses températures.

La méthodologie adoptée à consister à : comprendre les phénomènes de colorations induits par la bauxaline, évaluer le pouvoir colorant de la bauxaline par comparaison avec des produits standards, évaluer la faisabilité d'un certain nombre de pistes de valorisation et leur influence sur le coût de pré-traitement de la bauxaline, et minimiser les quantités de bauxaline absorbables par les filières retenues.

L'étude comporte deux parties. La première consiste à mieux connaître les caractéristiques de base de la bauxaline pour une connaissance des phénomènes de colorisation induits par la bauxaline (vérification que la bauxaline est un mélange maître, et étude des phases minérales présentes,...) et une évaluation du pouvoir colorant de la bauxaline (quantification des fonctions de colorations et d'opacification du mélange maître bauxaline relativement à quelques pigments et mélanges maîtres, calcul des coefficients d'adsorption et de diffusion, ...). La seconde a consisté à tester cinq pistes d'utilisation de la bauxaline :

- i) introduction dans des produits d'enduction : enduits et bétons projetés (caractérisation colorimétriques et texturales) ;
- ii) introduction sous forme sèche dans des films thermoplastiques recyclés (coloration de sacs plastiques et base pour envisager la coloration de thermoplastiques injectés épais, essai pilote prévu) ;
- iii) fabrication de peintures aqueuses à partir de bauxaline sous forme de slurry ou de poudre (intérêt de la couleur marron) ;
- iv) fabrication de sols : sols élastomères colorés, revêtements pour courts de tennis (essais de substitution de pigment ou de charge dans des matrices élastomères, étendre à d'autres matériaux élastomères) ;
- v) utilisation de la bauxaline dans le domaine des céramiques : formules de type 'grès monocuisson' (étude du comportement colorimétrique de la bauxaline à la température, mise au point de formule).

Les premiers résultats obtenus en 1999 sont les suivants :

- i) mesure des atouts de la bauxaline comme pigment : présence simultanée d'hématite rouge et de goéthite jaune : couleur ocre, présence de titane (pouvoir diffusant) et présence d'alumine hydratée (pouvoir ignifugeant).
- ii) Détermination des coefficients K et S qui serviront de base de formulation suivant les applications.
- iii) Application 'thermoplastiques' : essais de coloration des granulés de PE à partir de la bauxaline positif et essai industriel prévu en 2000 en cas de succès prévision d'élargissement à d'autres matériaux de PE.

- iv) Application 'enduits' (fabrication des 'premix' pour enduits projetés de parements) : la formulation de premix a été mise au point en relation avec un prospect, essai industriel à faire et trouver d'autres utilisateurs.

Synthèse technique du suivi annuel de la couverture du CET de Malespine (présentation de Monsieur GARROS)

En 1996, la SEMAG décide d'engager une série d'études techniques dans la perspective de la réhabilitation partielle dans un premier temps et totale à terme du CET de Malespine, situé sur le territoire de la commune de Gardanne. Il a été décidé d'orienter les études de matériaux de couverture vers l'utilisation de la Baux Aline.

Les études donnent lieu à la mise en oeuvre d'un projet pilote de 8000 m<sup>2</sup> au droit d'une partie du CET dont le comblement est déjà terminé. Ce pilote est constitué de trois zones, deux couvertes de bauxaline puis de terre végétale et une couverture uniquement de bauxaline. Par ailleurs, une zone test de 100 m<sup>2</sup> est conçue et réalisée de façon à pouvoir collecter et suivre la chimie des lessivats et des lixiviats ; elle permettra aussi de dresser un bilan hydrique périodique et en fin de suivi annuel.

La réalisation du pilote s'est terminée en mai 1998 et le suivi géomécanique et chimique des eaux a débuté en juin de la même année, et a été poursuivi pendant une année entière à raison d'un échantillonnage mensuel.

Les principaux résultats sont donnés ci-après. D'un point de vue mécanique, la bauxaline se comporte de façon tout à fait satisfaisante puisque ses caractéristiques mécaniques ( $c'$  et  $\phi'$ ) suivent des évolutions habituelles dans le domaine des sols (augmentation de l'angle  $\phi'$  -33°- et diminution de la cohésion  $c' - 10\text{kPa}$ -) et restent compatibles avec les pentes envisagées qui sont de l'ordre de 22° au maximum. La perméabilité reste stable et est comprise entre  $1.10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$  et  $8. 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$  c'est à dire de 15 à 100 fois supérieure à la perméabilité requise par l'arrêté préfectoral.

Concernant les paramètres chimiques, on note une dépendance assez nette de l'augmentation de concentration de quelques éléments dans les lessivats avec les

volumes de précipitations, ce qui est a priori logique compte tenu du produit : matériau fin (granulométrie moyenne de 8  $\mu\text{m}$ ) lessivable lorsqu'il n'est pas couvert (transport solide fonction des pentes). Les conditions de terrains mises en place pour le suivi chimique sont par ailleurs pénalisantes par rapport à celles du pilote et aux produits potentiellement issus de celui-ci car la zone test n'a pas été recouverte de terre végétale et de bauxaline se trouve donc directement soumise aux intempéries. Malgré cela, les charges des eaux et des lixiviats en éléments polluants pour l'environnement restent très modestes ; en effet, les concentrations moyennes annuelles restent toujours inférieures aux seuils de rejets admis et retenus pour ce pilote.

Enfin, le résultat du bilan hydrique réel calculé à partir des mesures de volumes sur une année est très proche de celui du bilan hydrique théorique tiré des données météo France (différentiel de 2 % seulement). Ce résultat montre a posteriori que la zone test a été correctement conçue et peut donc être considérée comme représentative du site.

En conclusion, il convient de retenir que la bauxaline est un produit facilement et utilement mis en œuvre en couverture de CET ou de décharge brute, moyennant quelques précautions de mise en place (teneur en eau, compactage,...) ainsi que la finition de la couverture par une couche sommitale de terre végétale ayant une double fonction : celle de substrat pour les plantes herbacées et celle de couche protectrice limitant largement les lessivations durant la période d'installation de la végétation (l'érosion devient quasiment nulle une fois que le site est colonisé par les herbes). Cette couche limitera le transport solide (couleur rouge des eaux) et d'éventuelles mises en solution d'éléments contenus tant dans la bauxaline que dans les bauxites brutes.

## Perspectives 2000

En raison des grandes quantités de Baux Aline à utiliser, il est proposé de privilégier les axes d'utilisations importantes sans valeur ajoutée. Parmi celles ci figurent, les réhabilitation des décharges, les coulis d'injection pour le comblement de cavités souterraines et les travaux publics. Dans la même temps, il sera développé les domaines d'utilisation avec valeur ajoutée : filière couleur, bétons spéciaux et les matériaux de construction. Dans les deux cas, il existe des difficultés liées au fait que dans l'esprit des clients potentiels, la bauxaline demeure un 'Résidu Industriel'. Le coût de transport demeure pénalisant et le soutien des collectivités et administrations reste faible. Plusieurs actions sont à mener en 2000 : renforcer la prospection commerciale et les études de marché ; faire reconnaître la bauxaline et la comparer avec les produits concurrents ; susciter un soutien actif des collectivités et des administrations concernées.

L'utilisation prévisionnelle de bauxaline dans le cadre des engagements d'Aluminium Pechiney sont les suivants (sur la base de 650 KT d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : 2001 : 14 KT, 2002 : 26 KT, 2003 : 38 KT, 2004 : 50 KT (rappel 1998 : 25 KT et 1999 seulement 1KT).

### Bilan global et projet de programme pour l'année 2000

A la fin de l'année 1999, il peut être fait le constat suivant sur l'utilisation de la bauxaline en tant que support agronomique et matériau d'aménagement des centres d'enfouissement technique (CET).

Les résultats des différents types d'essais et d'expérimentations réalisés à ce jour ont mis en évidence des propriétés spécifiques de la bauxaline permettant d'envisager son utilisation dans différentes conditions en substitution à d'autres matériaux, dans des conditions intéressantes au niveau économique et limitant les impacts néfastes sur le plan environnemental.

Quelques opérations conduites en grandeur réelle (planche d'essai d'Entressen et aménagement du CET de la Malespine notamment) ont permis de

déterminer les modalités de mise en œuvre du produit tout en confirmant son intérêt.

En revanche, le bilan des efforts de prospection commerciale sont plus nuancés : si l'inventaire précis des situations d'usage montre que les débouchés potentiels sont réels et à la mesure des enjeux sur le plan quantitatif, il est constaté qu'aucune opération a pu être réalisée durant l'année 1999. Pourtant, dans le même temps, des options ont été prises par les maîtres d'œuvre de ce type d'opérations sur des quantités significatives de bauxaline. De plus, il est constaté que les projets sont suffisamment nombreux pour tenir les plannings d'usage de bauxaline fixés par l'administration à court et à moyen terme.

Il peut donc penser que si sur le plan de la caractérisation et l'expérimentation, la démarche a été tout à fait cohérente, les efforts conduits dans le domaine de la commercialisation n'ont pas été réalisés de façon totalement satisfaisante sur le plan méthodologique dans le sens où :

L'approche commerciale n'a pas probablement pas suffisamment pris en compte la connaissance de produits concurrents de la bauxaline.

L'inventaire a concerné en priorité les maîtres d'œuvre potentiels et seulement accessoirement les situations d'usage précises.

Durant l'année 2000, l'effort portera essentiellement sur les aspects suivants :

- i) réalisation d'une véritable étude de marché ;
- ii) poursuite et approfondissement de la prospection commerciale ;
- iii) mise en place d'une veille technologique et d'une expertise technique aux opérations et projets ;
- iv) le suivi des essais en place sera limité à leur entretien courant permettant simplement de conserver leur rôle de 'vitrine' et au suivi de l'évolution des substrats et des eaux de drainage.

## Recommandations 1999 du Comité Scientifique de Suivi

Le Comité Scientifique de Suivi souligne une fois de plus la diversité des voies d'études entreprises par A.P. notamment sur l'emploi de la bauxaline. Le C.S.S. approuve Aluminium Pechiney sur le déroulement des études réalisées en 1999 et les nombreux projets d'utilisation de la bauxaline qui ont été présentés lors de la réunion annuelle du CSS du 17 décembre 1999. Les documents et dossiers fournis par AP permettent au CSS de faire une analyse critique des travaux entrepris.

A l'examen des résultats présentés et en fonction des discussions qui ont suivi, le CSS recommande :

- i) que soit réalisée dès 2000 une comparaison des résultats acquis à la fois sur les traceurs métalliques et la macrofaune des stations échantillonnées lors de la campagne ALPESUR avec d'autres données de Méditerranée Occidentale obtenues soit dans l'est du canyon de la Cassidaigne (région de Nice - Toulon) soit dans l'ouest du Canyon de la région du Golfe de Marseille à la frontière espagnole ;
- ii) d'attendre le rapport sur les résultats des tests d'écotoxicologie avant de se prononcer sur les travaux futurs sur la côte d'écotoxicologie ;
- iii) que Aluminium Pechiney poursuive sa recherche de voie de valorisation de la bauxaline ; l'intérêt que présente la bauxaline comme barrière géochimique et blocage de certains métaux et dans les bétons auto-nivellants devraient être valorisés par des contacts avec des industriels afin que soit possible l'utilisation à grande échelle de la bauxaline dans cette voie dans les deux prochaines années ; de même la voie de couverture de décharge doit être intensifiée ;
- iv) que soit élargi les capacités d'analyse du Comité Scientifique de Suivi dans le domaine de la valorisation industrielle de la bauxaline ;
- v) qu'Aluminium Pechiney réalise un Résumé Technique du Rapport Annuel 1999, le CSS se chargeant de la relecture de ce « Digest ».

Wimereux le 15 avril 2000

Jean-Claude DAUVIN

Professeur de l'Université des Sciences et Technologies de Lille 1

Président du Comité Scientifique de Suivi