RAPPORT ANNUEL 1997 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI

RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE

ALUMINIUM PECHINEY

GARDANNE

WIMEREUX le 27 avril 1998

RAPPORT ANNUEL 1997 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE ALUMINIUM PECHINEY 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 Péchiney 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 Péchiney 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 bioaccumulation 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 :

							2015
Quantité déposée en mer en millions de tonnes	1,04	0,5	0,33	0,31	0,25	0,18	0

Composition du Comité Scientifique au 1 janvier 1997 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. Il est composé de six membres : Président : Professeur Jean-Claude Dauvin (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) ; 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 Yves Henocque (Centre IFREMER-Toulon), Professeur Michel Leveau (Université de Méditerranée) et Monsieur Georges Stora (Chargé 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 les Résidus Inertes ;
- ii)
- ii) donne son avis sur les programmes en cours et à venir;
- iii) produit un rapport annuel.

Rapport 1997

Les travaux entrepris en 1997 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 des Résidus de Traitement de Bauxite.

I. 1. Simulation de la circulation et des dépôts par modélisation numérique (Rapport du CETIIS)

Le rapport se décompose en trois parties :

- i) évaluation du modèle à partir des données satellitales AVHRR;
- ii) évaluation du modèle à partir des données courantologiques de la campagne TURBIN;
- iii) étude de la remise en suspension des résidus

Dans les trois parties, il a été choisi une fenêtre de comparaison étroite et un nombre de comparaison assez limité mais permettant d'illustrer les principales conditions environnementales rencontrées.

Les comparaisons entre les simulations de la répartition des températures de surface avec celles déduites des images AVHRR ne sont pas satisfaisantes dans la mesure où le panache d'eau refroidie par l'upwelling côtier est beaucoup moins vaste que ne laissait supposer l'analyse des images satellitales. Les images AVHRR pourraient cependant exagérer l'étendue de la zone de refroidissement due à l'upwelling. Cette hypothèse demeure toutefois à vérifier.

Le modèle reproduit le schéma de circulation de la baie de Cassis en période de mistral, cependant les vitesses du courant semblent sous-estimées par le modèle eu égard aux mesures effectuées lors de la campagne TURBIN. Une meilleure connaissance des vitesses réelles des vents soufflant sur le plan d'eau serait nécessaire pour améliorer la simulation.

Les vitesses des courants au fond apparaissent en général trop faibles pour éroder les sédiments tapissant le fond du canyon et permettre une remise en suspension des résidus déposés sur le fond. Cependant une reprise des effluents sortant de l'émissaire n'est pas à exclure. Elle pourrait être à l'origine des dépôts sur le plateau continental en conditions hivernale lors de fort mistral (milieu non stratifié). Les teneurs induites sur le plateau continental seraient alors faibles.

La lecture de ce rapport suggère les questions suivantes :

De quelle profondeur proviennent les eaux qui remontent en surface lors de la formation des upwelling ?

Quels sont les effets réels des forts vents d'est?

A partir de quelle vitesse du courant, les particules déposées sur le fond pourraient être remises en suspension ?

Les mesures réalisées pendant la campagne TURBIN ont-elles vraiment servi à caler le modèle ? La simple comparaison mesure / modèle n'apparaît pas satisfaisante pour le moment, le dépouillement complet de la campagne TURBIN est-elle susceptible d'améliorer le modèle ?

Autant de questions qu'il conviendra de résoudre avant d'entreprendre toute nouvelle étude sur le couplage mesure/simulation.

I. 2. Transport et dispersion par la circulation marine des produits rejetés dans le Canyon de Cassis (Synthèse réalisée par le COM, le LHMA et le CETIIS sur l'ensemble des travaux réalisées depuis 1995 à la demande du CSS).

Du fait de leur densité moyenne (environ 3), les produits déversés dans le canyon de Cassis ont tendance à s'écouler en profondeur à des vitesses de plusieurs dizaines de cm. s⁻¹, dans le sens de la plus grande pente, sous la forme d'un courant dit de turbidité que l'on peut comparer à une avalanche permanente de particules fines relativement dense. Une partie de ces produits tend à diffuser au sein de la masse d'eau : i) sous l'effet de la turbulence naturelle de cet écoulement et des frottements turbulents avec l'eau de mer relativement immobile et cela, dès la sortie du conduit et tout au long de leur écoulement, ii) après remise en suspension par les courants marins supérieurs à quelques cm.s⁻¹ depuis l'ensemble du cône de déjection.

Les remontées d'eaux profondes dans le canyon de la Cassidaigne ont été mises en cause dans le transport sur le plateau continental des résidus rejetées en profondeur. L'importance de ce phénomène d'« upwelling » dans la survenue d'une telle pollution dépend bien entendu de sa fréquence, de sa durée et de son étendue. Les études à caractère complémentaire entreprises par le COM, le LHMA et le CETIIS dans la baie de Cassis ont eu pour principaux objectifs :

- i) d'évaluer à long terme par télédétection la fréquence de l'upwelling côtier de la région de Cassis ;
- ii) de décrire la circulation dans la rade de Cassis aux échelles intéressant la dispersion des résidus et d'appréhender les moteurs de cette circulation ;
- iii)- de modéliser à partir des données in situ les courants et la dispersion des résidus sous l'effet de l'upwelling dans un premier temps ;

iv)- de mettre en évidence et de quantifier le transport de résidus sur le plateau continental

I.2.1. Evaluation à long terme par télédétection de la fréquence d'apparition de l'upwelling côtier de la région de Cassis

Un « upwelling » est un phénomène complexe qui se traduit par un mouvement de convection d'eaux plus ou moins profondes, donc plus denses et généralement plus froides. Ces eaux froides souvent riches en sels nutritifs, viennent compenser le départ des masses d'eaux plus chaudes de surface entraînées au large par le vent. L'upwelling survient en un site donné lorsque le vent souffle dans une direction parallèle ou perpendiculaire à la côte avec une intensité assez élevée. Les facteurs qui régissent le phénomène sont essentiellement :

- les conditions météorologiques (intensité et direction du vent) ;
- les conditions courantologiques locales ;
- la configuration du site;
- la stratification en masse volumique de la colonne d'eau

Les objectifs de l'étude étaient :

- i) l'estimation de la fréquence, de la durée moyenne et de l'emprise spatiale de l'upwelling de Cassis
 - ii) la quantification des variations saisonnières et inter-annuelles de ces estimations.

Le gradient de température et le mouvement vertical de la colonne d'eau qui accompagnent un upwelling permettent de le détecter par la mesure *in situ* des températures de surface et d'estimation des courants. Cependant la mise en place *in situ* de sondes et de capteurs permettant ces enregistrements demande une infrastructure importante. De manière complémentaire, l'imagerie satellitale permet d'obtenir une vue synoptique de la température de surface, avec un échantillonnage temporel satisfaisant. C'est donc par cette voie, associée à l'étude des données météorologiques autour du site, qu'a été abordée cette étude.

Pour effectuer un suivi régulier et précis de l'upwelling de Cassis, il fallait disposer d'un satellite passant une à deux fois par jour au dessus du site. Le capteur devait avoir une forte sensibilité dans l'infrarouge et une résolution permettant de quantifier l'extension de l'upwelling.

Les images qui ont été utilisées sont des scènes fournies par le capteur AVHRR embarqué sur les satellites NOAA11 et NOAA12 (Figures 1 et 2). Ce capteur (5 canaux) opère dans des longueurs d'onde allant du proche infrarouge à l'infrarouge -0,58 à 12,5 mm- et est donc particulièrement adapté à la mise en évidence des différences de température de surface de la mer. Les traitements

GOLFE DU LION: 19 AOÛT 1991

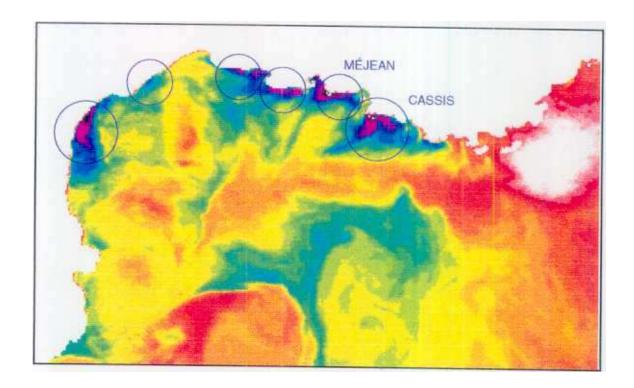


Figure 1. Localisation par image AVHRR des principaux upwellings du Golfe du Lion (image traitée par CHEVROT, COM-OSU)

2 SEPTEMBRE 1992

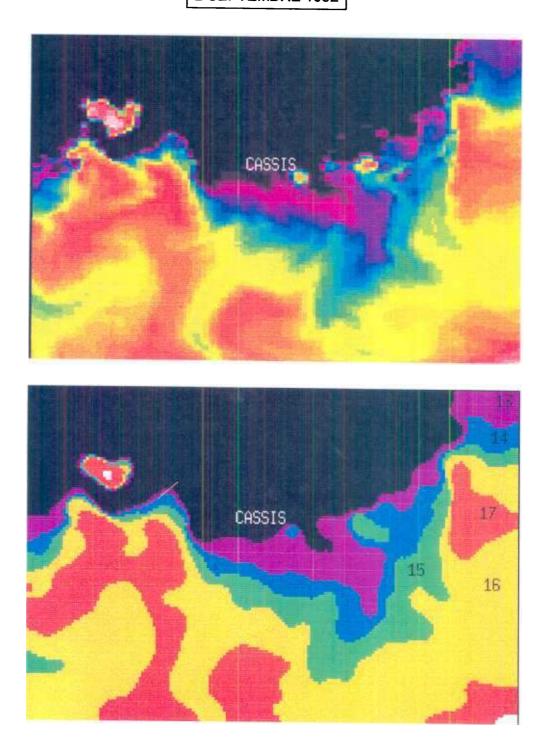


Figure 2. Images AVHRR de la surface de la mer et températures estimées

nécessaires pour que ces images soient interprétables ont été effectués à l'aide du logiciel MIDAS (Munich Image Data Analysis System) diffusé par l'ESO (European Southern Observatory).

Il a été collecté grâce à Méteo-France, des données météorologiques enregistrées en huit stations autour du site de la Cassidaigne. La configuration géographique de ces stations météorologiques a conduit toutefois à considérer la station de Pomègues située au large (et donc protégé par aucun relief) comme la station la plus représentative des conditions météorologiques sur le Canyon de la Cassidaigne.

L'étude des fréquences des intensités et des directions du vent sur une période de dix ans (1984-1994) a permis de mettre en évidence une relative stabilité interannuelle. Dans l'ensemble, le régime des vents reste pratiquement le même d'une année à l'autre. S'il existe pour chaque année, une variation saisonnière évidente, celle-ci n'est cependant pas marquée. La direction et l'intensité minimum du vent pour lesquelles on pouvait observer, sur une image satellitale au moins de la série utilisée, la signature thermique de l'upwelling ont été déterminées.

Pour des raisons évidentes de coûts il a été choisi de limiter l'étude à une année type pour laquelle était disponible une série importante de thermographies sous des conditions météorologiques variées. A l'aide de méthode d'analyse de données multivariées (classification, analyse en composantes principales), l'année 1992 a été sélectionnée.

Pour cette même année il a donc été acquis une centaine de scènes fournies par le capteur AVHRR.

D'autre part, un modèle numérique tridimensionnel aux équations primitives de Navier-Stokes (Modèle OPA7 du Laboratoire d'Océanographie Côtière de Paris) a été mis en oeuvre par le CETIIS pour simuler le phénomène d'upwelling. Les simulations ont été réalisées en se basant sur des champs moyens de vent obtenus à partir des données météorologiques et construits par notre équipe. A ces champs de vent étaient associées les thermographies satellitales prises aux mêmes dates.

Pour la première fois il a été possible par ce procédé de quantifier les conditions d'apparition de l'upwelling de Cassis. Celui-ci survient et est détectable pour des vents dont la direction est supérieure à 250-280 degrés ou est inférieure à 10 degrés, soufflant avec une intensité supérieure à 5 à 6 m.s⁻¹ pendant au moins une demi-journée. Ce seuil est nettement supérieur à celui de 3 m.s⁻¹ proposé dans les travaux antérieurs basés uniquement sur de données courantologiques fragmentaires.

En se basant sur ces estimations et sur le régime des vents, il a été estimé que la fréquence de l'upwelling de Cassis est d'environ 3 à 4 par mois, sa durée moyenne étant de l'ordre de 2 à 3 jours.

Pour le printemps 1981, période où des remontées de résidus ont été notées, les critères précédents ne permettent pas de mettre en cause l'upwelling.

Bien qu'effectuées dans un cadre assez restrictif quant à l'initialisation des champs de vents et aux hypothèses régissant le modèle (la vitesse verticale est considérée comme nulle en surface en tout point du domaine : toit rigide), les simulations ont confirmé la validité des résultats obtenus.

L'utilisation de trois approches différentes - l'analyse des données, météorologiques, les thermographies satellitales, la simulation numérique- montre la fiabilité des estimations.

I.2.2. Caractéristiques de la circulation dans la baie de Cassis (opération TURBIN)

La région de Cassis occupe une situation particulière, à l'extrémité du plateau continental du golfe du Lion, car elle est en effet tant sous l'influence directe des vents de nord-ouest et d'est, qui sont le principal forçage de la circulation sur le plateau du golfe du Lion, que de la circulation générale. Celleci longe la pente continentale, et donc pratiquement la côte lorsque le plateau est absent, comme vers la Côte d'Azur. De plus, la topographie tourmentée de la région (Banc des Blauquières, canyon de Cassis) joue certainement un rôle important. On doit donc s'attendre à ce que le régime des courants y soit particulièrement complexe.

Le Mistral génère, dans la région de Cassis, un upwelling susceptible d'entraîner une remontée d'eaux profondes favorisée par la présence du canyon. La stratification joue un rôle fondamental dans la circulation des masses d'eau sous l'effet du vent car, en présence d'une thermocline saisonnière, la couche supérieure glisse facilement sur la couche inférieure. Le courant à des profondeurs supérieures à ~ 50 m doit donc répondre plus difficilement à l'effet du vent quand le milieu est stratifié que quand il est homogène. Par ailleurs, la circulation générale (le courant Nord), dont la largeur est de 30 à 50 km, influence l'ensemble de la zone côtière lorsqu'il n'y a pas de plateau continental. Particulièrement en hiver, ce courant devient instable et forme des méandres, dits de méso-échelle (quelques heures / jours et quelques kilomètres / dizaines de kilomètres), qui peuvent être relativement cambrés et se déplacent vers l'aval à 10-20 km/jour. Localement, le courant ne s'écoule donc plus parallèlement à la côte et il peut, sans doute, momentanément pénétrer dans le canyon et la baie de Cassis. De surcroît, ce courant interagit avec les irrégularités topographiques de la pente continentale et génère des turbulences d'échelle spatio-temporelle sensiblement plus petite que celle des méandres. Ces divers phénomènes à méso-échelle sont difficilement prévisibles.

La variabilité saisonnière et à méso-échelle des phénomènes imposait de recueillir des séries temporelles pendant au moins une année, ce qui ne pouvait se faire qu'en déployant un certain nombre d'instruments sur des mouillages. Les mesures devaient évidemment être particulièrement fines à proximité du point de rejet. Compte tenu de la topographie, les différents instruments (un ADCP et une chaîne de thermistances) ont été mouillés sur un replat (entre 220 et 250 m) à quelques centaines de mètres dans l'est du rejet (la partie du replat située à l'ouest du rejet ne convenant pas aux pêcheurs qui y travaillent). La circulation dans la baie devait être définie à partir des enregistrements fournis par 5 courantomètres classiques, nombre estimé nécessaire et suffisant en considérant la dimension de la baie et l'échelle spatiale des phénomènes. Le positionnement des appareils a été réalisé en fonction de la mise en oeuvre d'un modèle thermo-hydrodynamique décrivant les principaux phénomènes de circulation

dans la baie de Cassis. Compte tenu des objectifs de l'étude, les courantomètres ont été placés aussi près du fond que possible, parfois surmontés d'un piège à sédiments.

Pour mieux comprendre l'influence de la circulation générale, et bien que ces mesures ne soient pas prises en charge par le contrat, deux mouillages ont été mis en place dans le courant Nord (sur des fonds de ~ 1500 m et 2000 m). Chaque mouillage supportait 7-8 courantomètres classiques à des profondeurs nominales de 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500 et 2000 m, alignés dans le prolongement du canyon. De plus, des profils CTD ont été collectés tous les 15 jours de juin 1995 à février 1996, en 14 stations (0-700 m) suivant une radiale partant du point de rejet jusqu'à ~ 50 km dans le sud-ouest. Soulignons que ces mesures complémentaires ont augmenté l'intérêt scientifique de l'étude, et ont ainsi permis de bénéficier des bateaux de l'INSU pour l'ensemble de l'opération TURBIN.

Il a ainsi pu être collecté des séries temporelles de courant et de température pendant plus d'un an, de fin avril à mi-novembre 1995 (leg 1) et de mi-décembre 1995 à fin mai 1996 (leg 2). L'opération de relevage-remise en place avait pour buts i) de s'assurer du bon fonctionnement des appareils et de récupérer une partie des mesures si l'un ou des mouillages devaient, par la suite, être perdus et ii) de remettre en parfait état (fouling, corrosion) les appareils et l'accastillage. La difficulté de travailler dans une zone côtière où se développe une intense activité de pêche a été illustrée par un certain nombre d'incidents (déplacement d'un mouillage, disparition de bouées de surface, chaîne de thermistances endommagée). De même, des courantomètres neufs n'ont pas fonctionné correctement pendant le leg 1 sur le plateau et d'autres ont rapidement cessé de fonctionner au large. Le manque de mesure dans les couches superficielles du courant Nord ne permettra pas de prouver l'influence, suggérée être particulièrement importante en hiver, de la circulation générale sur la circulation en tête du canyon et dans l'ensemble de la baie.

Les résultats ont été obtenus à partir d'une analyse visuelle des enregistrements, de calculs de corrélations et de l'utilisation de fonctions empiriques orthogonales complexes. Même si la variabilité spatio-temporelle a été, comme prévu, relativement importante, le nombre de points de mesure s'est avéré suffisant pour répondre à la question principale qui était de définir les principaux schémas de circulation en tête de canyon et sur le fond de la baie.

A proximité du rejet, des vitesses maximales de 35-40 cm.s⁻¹ sont relativement fréquentes sur le fond en période hivernale. Bien que dirigées le plus souvent le long des isobathes, elles peuvent aussi l'être vers la partie haute de la pente. Elles se manifestent sur plusieurs dizaines de mètres, voire sur toute l'épaisseur d'eau, et peuvent être particulièrement intenses près du fond. En été, les maximas sont plus faibles, souvent de 10-20 cm.s⁻¹, plus rarement de 20-25 cm.s⁻¹. Ces pointes de vitesse, d'une durée de quelques heures / jours ne sont manifestement pas dues au vent mais, très probablement et même si il n'a pu être prouvé aux phénomènes de moyenne échelle (méandres, turbulence) associés à la circulation générale. Elles sont donc difficilement prévisibles.

Dans la baie, par des fonds inférieurs à ~ 100 m, des vitesses maximales de 30-55 cm.s⁻¹ se

rencontrent fréquemment en automne-hiver; ces vitesses sont de 20-40 cm.s⁻¹ au printemps-été. L'évolution des courants dans le temps et l'espace est souvent complexe, mais des schémas de circulation relativement simples semblent être corrélés avec le vent : le Mistral entraîne un transport globalement vers l'est et le vent d'Est un transport globalement vers l'ouest. Ceci étant, une partie importante des fluctuations est certainement induite par les phénomènes à méso-échelle associés à la circulation générale. Ces pointes de vitesse sont donc difficilement prévisibles.

1.2.3. Simulation de la circulation et des dépôts par modélisation numérique

Aux fins d'étudier les conditions de remise en suspension et de transport par les courants des résidus déversées dans le canyon de Cassis, une phase de modélisation "hydrodynamique" a été entreprise par la société CETIIS dans le but de mieux appréhender la dynamique océanique côtière dans la zone d'étude. Il s'agissait, en particulier, de cerner l'importance respective des différents forçages (vent, circulation générale) et d'apprécier la variabilité spatiale et temporelle des courants.

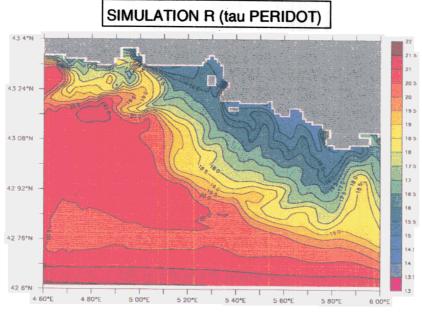
Les fruits de cette étude ont, en partie, contribué à mettre en place la campagne de mesure Turbin dont les objectifs assignés étaient (i) de comprendre les interactions entre la circulation au large et les courants côtiers; (ii) d'évaluer sur le terrain la dispersion spatio-temporelle des résidus.

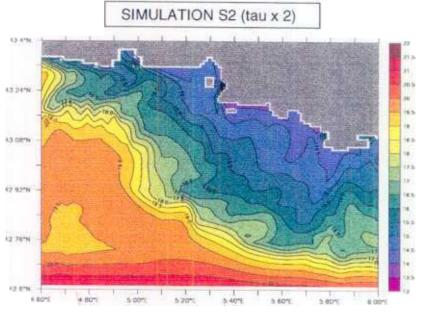
Dans un second temps des études ont été entreprises afin de réaliser des simulations à caractère réalistes afin d'établir des pronostics sur la dispersion en mer des résidus. Un prélude essentiel à une telle exploitation des modèles numériques est leur évaluation. Les données acquises durant la campagne turbin et à partir du traitement des images AVHRR ont largement contribué à cette évaluation.

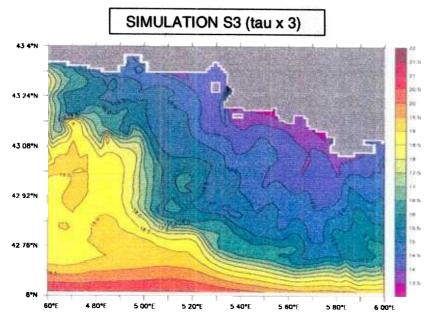
La comparaison avec les données AVHRR montre que le modèle reproduit correctement en situation de Mistral la localisation des principales zones de refroidissement ainsi que la vitesse de diminution de la température à proximité des côtes, en liaison avec l'occurrence de phénomènes d'upwelling. En outre, pendant les périodes de Mistral où les signatures thermiques des images AVHRR ne traduisent pas de phénomènes d'upwelling (vitesses inférieures à 3 m.s⁻¹), le modèle présente des gradients très faibles à la côte. En revanche, le modèle semble sous-estimer l'intensité de l'upwelling. Des analyses qui ont montré la forte sensibilité du modèle aux profils verticaux de température et aux tensions de vent permettent de supposer la responsabilité de la définition de ces paramètres dans les disparités constatées entre simulations et mesures (Figure 3).



13







Fugure 3. Sensibilité de la température de surface à la force du vent en situation d'upwelling.

Danrès les comparaisons établies avec les données courantométriques de la campagne TURBIN le modèle peut être crédité reproduction correcte des schémas de circulation période de Mistral à échell locale. En revanche les valeurs absolues des vitesses du rant sont estimées par le modèle. Une différence qui pourrait être partie attribuée choix opéré pour la définition du vent forçage du modèle. Le modèle demeu toutefois outil efficace pour prévoir la dispersion mer des résidu inertes qui est dépendante lan qua itatif de la direction de la itesse relative des courants que de leur vitesse absolue.

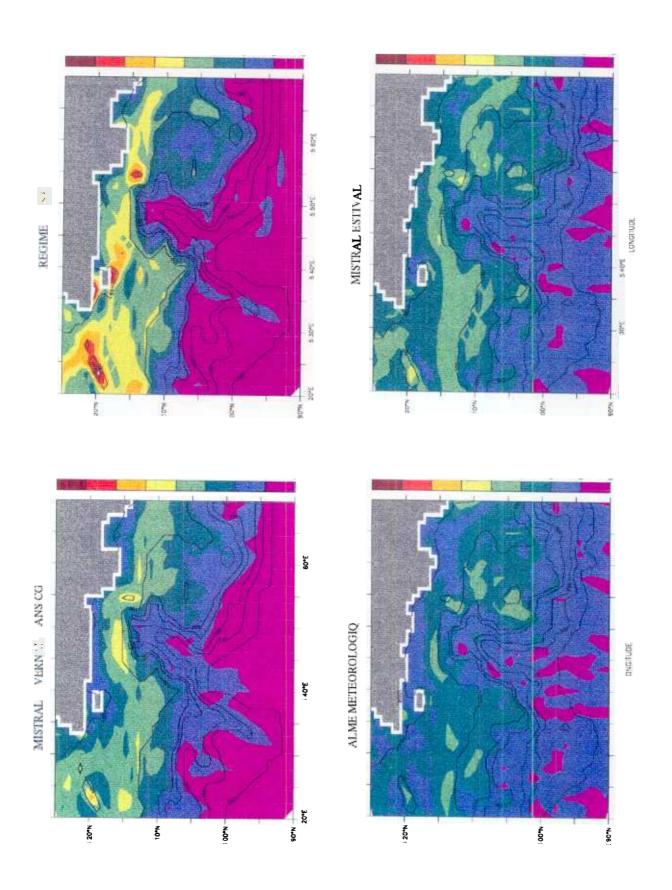
L'étude de la dispersion des résidus inertes est scindée deux volets. Le premier volet de modélisation doit évaluer les fonds sédimentaires du canvon sont sceptibles être mobilisés par les courants marins via rocessu éros. En partant de hypothèse qu les résidus ont été manière une autre remise suspension, le second volet destiné calculer leur dispersion.

Les itesses maximales exercant le fond sont, juel que soit le scénario idéré. relativement faibles excèdent pas deçà des valeu critiques érosion des sédiments cohésifs (Figure 4). donc improbable que les fonds sédimentaires du canyon soient fortement mobilisés par les courants marins induits par le On relève cependant des différences entre les différents scénarios. Alors que la conditi 'Est génère des vitesses maximales (de ordre de cm.s le plateau continental, sont les régimes de Mistral faisant intervenir la circulation générale qui sollicitent le plus fortement les fonds grande profondeur (> 200 tradu la forte dynamisati des rants dans le canyon ind ite par les phénomènes upwelling et par les interactions operant la circulation générale la topographie du canyon.

La dispersion des particules fines relarguées dans la masse la de émissaire est étudiée selon 'hypothèse qua git 'un processus continu La concentration la sortie de émissai donc imposée la durée de la insulation.

La dispersion des traceurs est calculée dans les situations suivantes (i) régime de Mistral en milieu stratifié période estivale), (ii) régime de Mistral milieu non-stratifié (période hivernale iii) régime de vent. Est. On relève comme principale conclusi de expériences que la présence le plateau continental de résidus serait possible situation de fort Mistral exerçant sur un milieu non stratifié. Les teneurs induites niveau du plateau sont néanmoins faibles (Figures et 6)

Ces conclusions doivent être tempérées dans la mesure des écarts constatés entre simulations et observations et compte tenu du nombre réduit de scénarios étudiés regard de la diversité affichée par la dynamique côtière Méditerranée.



□ tion desi Vitesse de rotteme su le nd m/s) pou iff rents scé ra a CG Ci cul tio Figure 4.

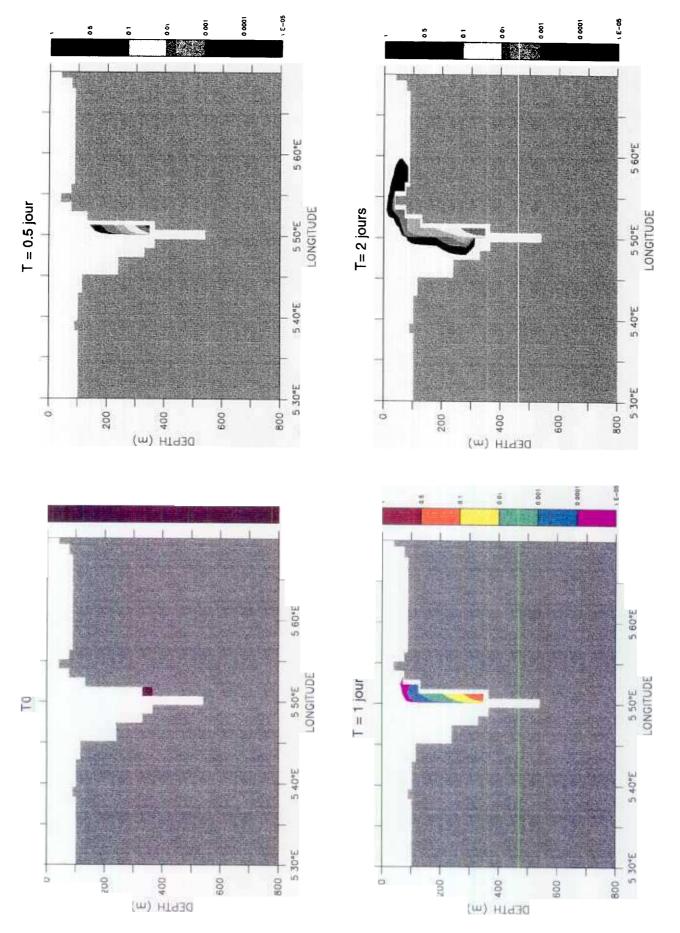
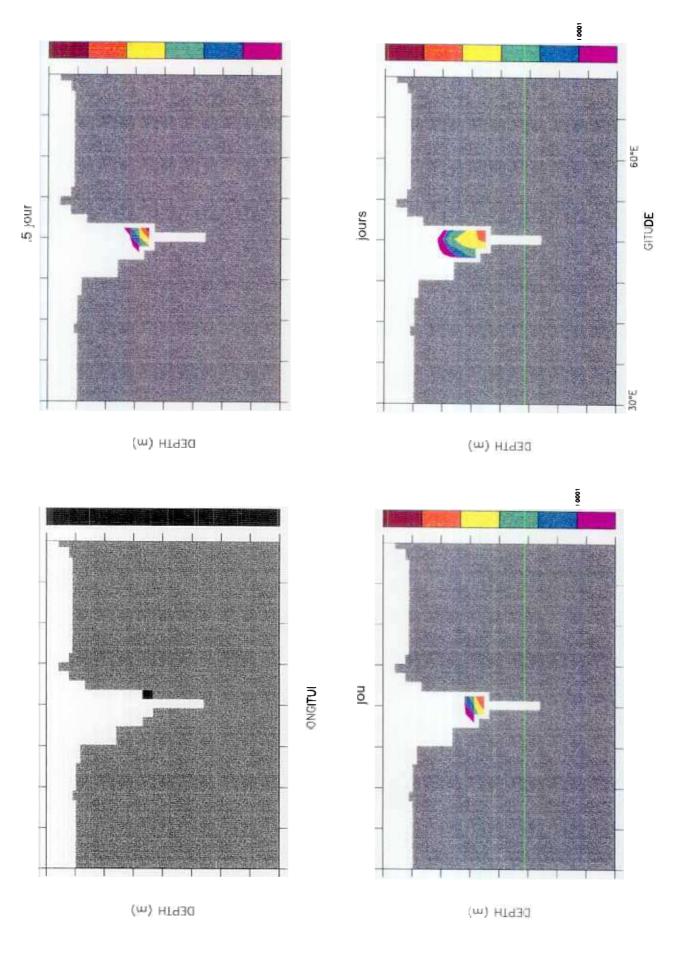


Figure 5. Dispersion en mer des rejets de l'émissaire en situation de Mistral hivernal (coupe Z1)





I.2.4. Etude du piégeage des particules sur le plateau continental

Lors des campagnes Turbin de mai à octobre 1995 et de décembre 1995 à mai 1996, deux mouillage mis en place ont été équipées de pièges à particule. Ces pièges disposant de godets à renouvellement hebdomadaire automatique, se trouvaient de part et d'autre de la tête du canyon l'un au large de la baie de Cassis, au dessus d'un fond de 80 m, et l'autre au Sud Est du Cap Morgiou, à -90 m. Chaque série a permis la collecte de 24 échantillons stabilisés par du formol.

Les déterminations réalisées sur le contenu des godets comportent la mesure du volume apparent après 24h de repos au réfrigérateur, la détermination de l'aspect des dépôts et l'analyse de la fraction inférieure à 1 mm (poids sec par godet, microgranulométrie, matières calcinables, Titane, Vanadium, Aluminium, Fer, Manganèse, Chrome, Plomb, Cuivre, Zinc).

La structure des pièges permet de capter non seulement les particules en trajet vertical, en voie de sédimentation, mais également celles suivant une trajectoire plus horizontale, en cours de transit. La nature et l'origine des matériaux collectés dans les pièges est très diversifiée. (plancton, matériel minéral provenant de l'érosion du bassin versant ou des fonds marins, de la remise en suspension de sédiments plus ou moins profonds et des rejets, nombreux et abondants dans ce secteur : résidus de traitement de bauxite, émissaire de Cortiou, activités industrielles et portuaires locales).

Le matériel analysé représente un mélange dont la constitution qualitative et quantitative se modifie non seulement en fonction de l'origine, mais aussi des fluctuations des phénomènes générateurs des particules et du milieu qui en assure le transfert. La contribution des résidus est de ce fait très difficile à apprécier.

Le fonctionnement des pièges est très contrasté en fonction de leur position et en fonction du temps. Seul le piège le plus proche de la baie de Cassis a permis de collecté des particules.

Au cours de la première série, 6 godets sur 24 sont restés vides, 8 ont recueilli environ l g de particules et 6 plus de 10 g avec un maximum de 20,9 g. L'alternance de faibles et fortes sédimentation, durant cette période, témoigne de l'intensité et de la fugacité de certains apports de matières solides d'abord biologiques, puis devenant de plus en plus vaseux. La sédimentation (supérieure à 10 g par semaine) se fait par épisodes bien individualisés, certains de courte durée (juin 95), d'autres plus durables (fin août à octobre 95).

La deuxième série se caractérise par une sédimentation permanente et de plus en plus abondante de vases anormalement noires et putrides, aspect vraisemblablement lié à un artefact méthodologique. Les apports passent par un minimum (1,2 g) en fin décembre 95 et janvier 96 avant de remonter rapidement et passer par un maximum à 26,9 g début mars 96.

En période estivale, les apports sont généralement très faibles, voire nuls, mais des épisodes de courte durée (orages, upwelling) peuvent entraîner une sédimentation importante (jusqu'à 21g en deux semaines, début juin 95). La contribution des organismes planctoniques est souvent importante.

Avec la baisse du régime pluviométrique en période hivernale et l'épuisement des effets de chasse provoqués par les précipitations brutales automnales, les taux de sédimentation passent par des valeurs minimales en janvier. En fin de période hivernale et début du printemps, le gonflement progressif des cours d'eau du secteur oriental amène des quantités croissantes de matériel provenant de zones de plus en plus éloignées du bassin versant, ce qui doit se traduire par des variations dans la composition minéralogique et chimique des particules piégées. Les dépôts présentent un aspect de vases.

Le retour progressif à un débit d'étiage entraîne une diminution progressive des flux qui reviennent, en fin de cycle, à des valeurs minimales, comparables à celles du début de la campagne.

Composition des dépôts : sur toute la durée du cycle annuel de prélèvement, on passe d'un dépôt grossier dans lequel dominent des particules supérieures à $100~\mu m$, riche en organismes planctoniques à un matériel s'enrichissant progressivement en fraction fine dans laquelle dominent d'abord, en période automnale, des particules d'environ $10~\mu m$, auxquelles vient s'associer une fraction beaucoup plus fine, inférieure à $4~\mu m$.

La présence de matières organiques est appréciée par calcination à 550°C. Les taux passent de plus de 50 % dans les trois premiers godets, puis sont compris entre 25 et 30 %. Durant la deuxième moitié du cycle, aucune valeur n'excède 25 % (minimum 14 %). Aucune relation ne semble exister avec le poids de matériel piégé. Par contre, le taux des matériaux calcinables diminue avec l'éloignement des sources de MES et l'intensité des phénomènes de lessivage des bassins versants.

L'analyse des métaux met en évidence un contraste marqué entre les deux séries de prélèvements, avec des valeurs nettement plus fortes pour la deuxième. Les fluctuations ne semblent pas obéir à une règle précise de mai à octobre 1995. Par contre, elles sont beaucoup plus progressives et régulières de décembre 95 à avril 96, période durant laquelle deux pics de concentrations s'individualisent pour la plupart des métaux, sans qu'ils soient nécessairement superposés.

Le Titane présente un intérêt tout particulier puisqu'il constitue le traceur le plus sensible et le plus spécifique de l'impact des résidus dans le secteur soumis à leur influence. Cependant, le choix d'une valeur de référence et l'interprétation des résultats sont très difficiles compte tenu des teneurs de référence trouvées dans des zones non soumises à leur impact (100 et 250 mg.g.-¹) et l'éventail des taux dans les dépôts (22 à 262 mg.g.-¹).

Par ailleurs, aucun rapport systématique n'existe entre les concentrations métalliques et le poids de matériel particulaire collecté. Les dépôts résultent donc du mélange d'apports de différentes origines. Toutefois, dans certains cas, comme, par exemple, durant l'épisode de forte sédimentation de mars-avril

1996, cette relation paraît exister et témoigner de la contribution croissante d'un matériel caractérisé par les métaux (Mn, Cr, Ti, Cr et plus modestement Al).

Il parait peu probable que l'apport de résidus puisse être envisagé lors de la première période de piégeage, c.à d. de mai à octobre 95. De même, au cours de la période suivante marquée par des taux de sédimentation à évolution régulière et un apport très abondant entre février et avril 96, l'intervention de métaux (Manganèse, Cuivre) sans relation avec les résidus de l'industrie de l'aluminium, ainsi que l'absence fréquente de concordance des rapports intermétalliques, ne permet pas de conclure à une contribution manifeste du rejet industriel. Tout au plus, pourrait-on envisager cette éventualité durant les premières semaines de la seconde période, c.à d. en janvier 96, étant entendu qu'il s'agirait dans ce cas d'une remontée d'un matériel déposé en tête de canyon et dans lequel la contribution des résidus reste modeste.

Comparaison du matériel prélevés avec les sédiments de la grotte des Trémies : la grotte des Trémies s'ouvre à - 10 m de profondeur, à l'extrémité ouest de la Baie de Cassis, à proximité de l'emplacement d'un des deux collecteurs de particules mis en place pour notre étude. Elle constitue un piège pour les particules transitant dans ce secteur, dans une couche d'eau située au dessous de -10 m. Bien que les modalités de capture dans l'espace et dans le temps ne soient pas les mêmes, il a été comparé la composition du matériel déposé en fond de grotte avec celle d'un dépôt recueilli durant la période de sédimentation maximale du mois de mars 96. A l'exception du manganèse, dont l'enrichissement dans le matériel ancien de la grotte est à mettre sur le compte d'un phénomène de vieillissement, l'identité de composition entre ces deux types de dépôt témoigne d'une communauté d'origine dont le titane industriel semble exclu.

En conclusion, dËs leur arrivée en mer, les résidus de l'industrie de l'aluminium se partagent entre un nuage de matériel fin et un autre relativement plus grossier s'écoulant dans l'axe du canyon. L'expansion du premier se fait préférentiellement vers l'Ouest du secteur où son dépôt est privilégié par l'existence de sillons profonds entaillant le talus continental. Une faible partie remonte vers la tête du canyon, sans dépasser toutefois les fonds de 100 m au delà desquels la distinction des apports traditionnels et des résidus devient très difficile. En effet, les déterminations faites sur des sédiments prélevés dans des zones non soumises à l'impact des résidus, montrent que le titane (considéré comme le marqueur le plus spécifique des résidus) peut trouver son origine à l'Est de Cassidaigne.

La distribution des dépôts dans les pièges mis en place traduit, soit l'intervention de facteurs transitoires tels que des épisodes orageux susceptibles de provoquer des apports intenses mais provisoires, soit le transport saisonnier de flux particulaires en relation avec les variations de débit des cours d'eau aboutissant au littoral méditerranéen, à l'Est du secteur de Cassidaigne.

La composition chimique des dépôts varie en fonction de ces origines plus ou moins lointaines dont la diversité s'exprime par des rapports de métaux peu constants.

Compte tenu de cette grande variabilité et de la difficulté que l'on éprouve différencier les indicateurs de l'apport de résidus de traitement de bauxite et les constituants des autres particules transitant dans secteur, n'est pas possible de conclure impact de résidus industriels dans la partie du domaine littoral où ont été placés les pièges.

La seule période où présenterait l'éventualité d'une remontée par action d'un upwelling se situe décembre 95, période pendant laquelle la composition du matériel piégé présente des analogies avec la fraction fine (<63 μm) des sédiments superficiels prélevés dans des fonds de -200 -100 m. Nord du canyon Cet épisode est de courte durée, l'apport quantitatif global, faible et la contribution des boues, discrète.

2. Conclusions générales

Les travaux complémentaires entrepris, visant déterminer l'upwelling de Cassis pouvaient entraîner les résidus inertes rejetés tête du Canyon vers des profondeurs moindres, particulier vers la côte fond de la baie, ont permis de quantifier la fréquence de upwelling, de déterminer échelle annuelle les caractéristiques de la circulation dans la baie de Cassis et élaborer modèle de circulation des courants et de dispersion des résidus dans le milieu

Evaluées partir des données AVHRR et des données acquises in situ, les simulations du modèle de circulation des d'eau dans le canyon de Cassidaigne montre que modèle décrit de manière relativement réaliste

les phénomènes d'upwelling dans leur phase de déclenchement

les schémas de circulation mettant place proximité du fond sur le plateau continental période de Mistral.

Les analyses de sensibilité conduites lors de cette étude ont pu mette évidence 'importance 'il d'acquérir des informations précises sur les conditions de vent et la stratification en densité.

Par ailleurs modèle montre que compte tenu des vitesses de frottement estimées pour différents scénarios de simulation, semble peu probable que les courants du canyon soient en d'en éroder les sédiments. En plaçant malgré tout dans 'hypothèse d'une remise suspension immédiate des particules fines la sortie de l'émissaire, l'éventualité d'une remontée de résidus de traitement de bauxite sur le plateau continental n'est pas exclue dans des conditions de Mistral fort en milieu homogène. Les concentrations apportées restent cependant extrêmement faibles. Bien que des conditions extrêmes aient été testées, (vents forts, tailles de particules fines), compte tenu du nombre réduit de scénarios étudiés regard de la diversité affichée par la dynamique côtière en Méditerranée d'autres simulations sont entreprendre.

Bien qu'à proximité du rejet, des courants de l'ordre de 35-40 cm.s⁻¹ dirigée vers la partie haute de la pente, ont pu être observés *in situ* en période hivernale et malgré l'apparition potentielle fréquente d'upwellings induits par le vent (3 à 4 par mois), l'analyse des dépôts présents dans des pièges à particules sur le plateau continental, ne permettent pas à l'échelle annuelle de conclure à un transport significatif de résidus inertes par les courants dans le secteur étudié.

La courantologie du secteur de Cassis ne détermine pas automatiquement la remontée des rejets de Gardanne. Le caractère exceptionnel de transport des résidus sur le plateau continental tel qu'on a pu l'observer en 1981 n'est pas seulement imputable de ce fait aux upwellings du canyon de Cassis.

I.3. Campagne ALPESUR à bord du N.O. Le Suroît

La campagne s'est déroulée du 14 au 16 septembre 1997 à bord du N.O. Le Suroît. Les conditions météorologiques n'ont pas été un obstacle au bon déroulement des opérations. Cependant le plan d'échantillonnage a dû être modifié en raison des interdictions d'intervention sur certains points, liés à la présence d'activités militaires dans la zone d'étude. Un total de 18 stations ont été échantillonnées au lieu des 20 prévues initialement (U02 et U12 ont été supprimées). De plus en raison du temps limité par les autorités militaires pour effectuer les travaux dans la zone, un seul prélèvement au carottier USNEL (au lieu de deux dans les autres stations) a été effectué dans les stations suivantes : U17, U18, U19, U20, U21 et U22. Au total 32 carottes ont pu être réalisés sur les 18 stations d'échantillonnage. Le tableau 1 réalisé par HIGH-TECH Environnement dans son rapport de supervision de la campagne donne les principales caractéristiques des stations d'échantillonnage ainsi que les identifications visuelles des résidus de traitement de bauxite.

A partir de cet ensemble de stations, huit ont été sélectionnées pour des études écotoxicologiques. Les travaux de tri et d'identification de la faune retenue sur un tamis de 250 μm est en cours et devrait être disponible en 1998.

I.4. Programme « Ecotoxicologie »

Suite à l'examen de projets soumis le C.S.S., réuni le 3 février 1997 en comité restreint, avait pris les décisions suivantes pour la proposition finale du programme « Evaluation de l'écotoxicologie globale des sédiments en place» : i) échantillonnage au cours de la campagne ALPESUR de sédiment dans au moins trois stations de l'axe du chenal du canyon dans la zone d'écoulement maximal des résidus dont une à proximité immédiate du rejet, une au niveau du goulet de rétrécissement du canyon et une troisième au delà du goulet, et ii) échantillonnage de sédiment dans au moins cinq

Tableau 1. Echantillonnage et position des stations de la campagne ALPESUR

Notation:

Station = Libellé de la station de prélèvement.

Position initiale = Position du prélèvement escompté.

Nb de prélèv. = Nombre de prélèvement programmé.

Position 1, 2 et 3 = Position du prélèvement 1, 2 ou 3 effectué sur la station.

Numéro d'ordre = Numéro d'ordre chronologique de station.

La position est donnée comme suit :

Latitude Nord (en ° - ') Longitude Est (en ° - ') Profondeur en mètre

Remarque : La position a été enregistrée au moment de l'enregistrement du déclenchement de benne.

Station	Position initiale	Nb de prélèv.	Position 1	Position 2	Position 3	Note	Numéro d'ordre
U02	42 50,00 05 32,56 2085	2				ANNULE	
U03	43 07,43 05 25,74 200	2	43 07,33 05 25,90 216	43 07,32 05 25,96 235			2
U04	43 06,20 05 33,00 200	2	43 06,17 05 32,98 210	43 06,14 05 32,96 210			1
U05	42 59,40 05 31,80 750	2	42 59,40 05 31,82 740	42 59,40 05 31,79 740			17
U06	43 02,40 05 21,00 600	3	43 02,40 05 20,97 570	43 02,37 05 21,01 580	43 02,38 05 21,00 600		7
U07	43 00,10 05 19,20 1070	3	43 00,07 05 19,25 1020	43 00,09 05 19,24 1020	43 00,08 05 19,21 1020		6
U08	42 57,40 05 14,00 1570	3	42 57,36 05 14,05 1540	42 57,42 05 14,03 1540	42 57,40 05 14,00 1540		8

Station	Position initiale	Nb de prélèv.	Position 1	Position 2	Position 3	Note	Numéro d'ordre
U09	42 51,10 05 16,86 2000	2	U09a 42 50,95 05 17,06 1875	U09b 42 50,49 05 17,49 2040		nouveaux points U09a et U09b	12
U10	42 49,20 05 22,00 2150	2	42 49,17 05 21,95 2115	42 49,21 05 21,96 2115			13
U11	42 46,20 05 41,00 2220	2	42 46,17 05 40,91 2215	42 46,17 05 41,11 2215			16
U12	42 49,00 05 47,00 2280	2				ANNULE	
U13	43 00,70 05 45,60 1000	2	43 00,73 05 45,57 960	43 00,68 05 45,60 975		fond à gravier	18
U15	43 11,10 05 32,00 80	2	43 11,03 05 32,12 73			sédiment de mauvaise qualité	3
U16	43 11,20 05 28,00 90	2	43 11,20 05 27,98 92	43 11,22 05 27,99 92			4
U17	43 09,00 05 13,00 80	2	43 08,99 05 12,99 90			Assez de matériel pour l'étude	5
U18	42 50,00 05 02,06 1000	2	42 50,04 05 02,04 1245			1	9
U19	42 45,00 05 10,00 1800	2	42 45,04 05 10,00 1775				11

Station	Position initiale	Nb de prélèv.	Position 1	Position 2	Position 3	Note	Numéro d'ordre
U20	42 40,00 05 00,00 1500	2	42 39,97 05 00,00 1535				10
U21	42 40,00 05 35,00 1800	2	42 40,02 05 34,86 2200			décalage du point (câble)	14
U22	42 40,00 05 45,00 2300	2	42 40,00 05 45,01 2315				15

L'échantillonnage pour l'étude toxicologique (D. Ribera) a été effectué sur les 8 stations suivantes :

Les échantillons prélevés pour l'étude toxicologique sont conservés en double en vue d'une contre expertise sur certains essais.

VII - <u>Identification visuelle des résidus inertes</u>

Le tableau suivant présente les résultats de l'identification visuelle des résidus inertes sur chaque station de prélèvement :

Station	Présence de résidus inertes Contrôle visuel 1997	Présence de résidus inertes Contrôle visuel 1991
U03	Néant	Echantillons brunâtres
U04	Néant	Néant
U05	Néant	Néant
U06	Couche très fine sur toute la surface	Vase beige-rougâtre avec quelques grains rouge
U07	Couche très fine sur toute la surface	Vase beige-rougâtre avec passées rouges
U08	Traces fines sur toute la surface	Vase beige-rougâtre - 1 cm de boue rouge
U09a	Trace infime	U09 - 1cm de vase sableuse rougeâtre
U09b	Néant	U09 - 1cm de vase sableuse rougeâtre
U10	Trace infime	5 mm de vase sableuse rougeâtre
U11	Taches dispersées	Vase brun-rougeatre avec quelques grains rouges
U13	Néant	Néant ,
U15	Néant	
U16	Néant	
U17	Néant	
U18	Légères taches	
U19	Très légères traces	
U20	Néant	
U21	Couche 1,5 cm sur toute la surface	
U22	Trace infime	- N

stations bathyales vers 2000 m selon une radiale ouest-est dans et de part et d'autre de la zone d'écoulement maximal des résidus.

Réalisation des tests et analyses suivants :

- * Test microtox à partir de sédiment provenant de huit des stations échantillonnées.
- * Test AFNOR T90-307 sur la toxicité aiguë vis-à-vis du bar *Dicentrarchus labrax* à partir de sédiment des trois stations de l'axe du chenal.
 - * Test Ames à partir de sédiment provenant de huit des stations échantillonnées.
- * Test sur développement larvaire (oursin, huître ou moule) à partir de sédiment provenant de huit des stations échantillonnées au cours de la campagne.
- * Test Spéciation du Chrome et du Vanadium à partir de sédiment des trois stations de l'axe du chenal.

Cette partie du rapport du CSS 1997 donne successivement la synthèse des travaux d'écotoxicologie réalisés sous la co-ordination de Monsieur Ribera, les informations données par Monsieur Galgani lors de la réunion du Comité Scientifique de Suivi en Comité restreint du 31 mars 1998, puis le contenu de la discussion du CSS qui s'est engagée à l'issue des deux exposés

I.4.1. Rapport de synthèse des études toxicologiques réalisées sur les échantillons de sédiments marins collectés pendant la campagne ALPESUR

I.4.1.1. Préambule

Ce rapport fait la synthèse des résultats acquis sur les sédiments marins collectés durant la campagne ALPESUR. Il ne remplace en rien les rapports effectués par chaque partenaire du projet. Les objectifs de cette étude sont de déterminer le potentiel toxique des échantillons de sédiments collectés durant la campagne ALPESUR, sédiments recevant les effluents de l'usine de Gardanne.

I.4.1.2. Introduction

Suite à la réunion du Comité Scientifique de Suivi du 3 février 1997, il a été décidé de rajouter aux études sur la répartition géographique des résidus de traitement de bauxite et sur l'évolution de la macrofaune benthique des étude de toxicité. Ces études devaient permettre l'évaluation écotoxicologique des sédiments en place. Ces sédiments devaient être collectés, pour trois d'entre eux, dans l'axe du chenal dans la zone d'écoulement maximal des résidus dont un prélèvement étant à proximité immédiate du rejet. Les autres échantillons devaient être prélevés dans cinq stations bathyales selon une radiale ouest-est de part et d'autre de la zone d'écoulement maximal des résidus.

Les prélèvements ont été réalisés durant la Campagne ALPESUR qui s'est déroulée du 14 au 16 septembre 1997. Huit prélèvements ont eu effectivement lieu selon le plan d'échantillonnage et la position géographique précise des échantillons est indiquée dans le rapport de supervision de la campagne (source High-Tech Environnement).

Le tableau 2 présente les principales caractéristiques des échantillons dont l'identification par observation visuelle de la présence de résidus inertes. Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un carottier USNEL. En raison des quantités importantes d'échantillons nécessaires pour la réalisation des tests, il n'a pas été permis de travailler sur la couche superficielle du sédiment où sont principalement localisées les traces de résidus inertes. Il a été décidé de collecter les échantillons dans les premiers 10 à 15 centimètres supérieurs qui correspondent à la partie biotique du sédiment. Les mesures de toxicité permettront donc également d'évaluer le risque pour la faune endogée.

Le sédiment ainsi collecté a été homogénéisé manuellement avant d'être conditionné dans des flacons ou sacs en polyéthylène. Les échantillons ont été conservés au froid (+4°C) jusqu'à leur traitement dans les différents laboratoires.

Tableau 2. Nomenclature et caractéristiques des échantillons

échantillon	profondeur	présence de résidus inertes (observation visuelle)
U05	740 m	néant
U06	580 m	couche fine sur toute la surface
U07	1020 m	couche fine sur toute la surface
U08	1540 m	traces fines
U09	2040 m	néant
U10	2115 m	traces infimes
Ull	2215 m	taches dispersées
U18	1245 m	légères taches

4.1.3. Travaux réalisés

Quatre types de tests toxicologiques ont été réalisés mettant en jeu des bactéries, un échinoderme et un poisson marin. Cette palette d'organismes devrait permettre d'évaluer l'effet des sédiments (1) sur les principaux phyla et (2) le niveau de risque (aiguë ou génotoxique).

Parallèlement à ces essais, une analyse de la spéciation du chrome et du vanadium dans les échantillons de sédiments a été entreprise.

Le lieu d'exécution de ces tests ainsi que les échantillons analysés sont rapportés dans le tableau 3.

Tableau 3. Nature, lieu d'exécution et échantillons analysés

Tests	lieu d'exécution				écha	ntillon				
		effluent sec	U05	U06	U07	U08	U09	U10	U11	U18
Test de létalité sur le loup	INERIS, Verneuil en Halatte			x	x	х				
test de létalité sur bactérie	ADEC Tox, Bordeaux	x	x	x	x	x	X	X	x	x
test de génotoxicité	Lab. Toxicologie, Un. Bordeaux I, Talence		х	х	x	x	х	х	x	x
test de développement embryonnaire sur l'oursin	LPTC, Un. Bordeaux I, Talence		х	x	x	x	х	х	X	X
spéciation du chrome et du vanadium	Lab. Chimie Analytique et Marine USTL Villeneuve d'Ascq			х	X	x				

Principes des tests et résumé des méthodes employées

* Détermination de la dose létale 50% chez Dicentrarchus labrax

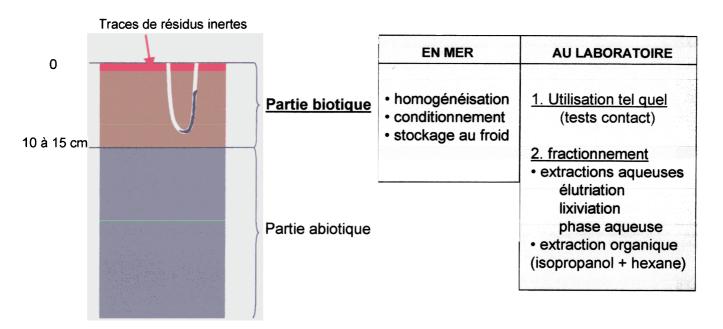
Le test AFNOR T90-307 (juin 1985) a pour objectif de déterminer la concentration létale induisant 50% de morts (CL50) sur le loup : *Dicentrarchus labrax*. Les expositions ont été effectuées soit par ajout de quantités croissantes de sédiment dans les aquariums, soit par élutriation du sédiment. La période d'exposition atteint 7 jours.

* Inhibition de la luminescence de la bactérie Photobacterium phosphoreum

Le test Microtox consiste à mesurer l'effet des effluents sur la luminescence de la bactérie marine *Photobacterium phosphoreum* (test microtox). Ce test permet d'évaluer la toxicité aiguë des effluents aqueux urbains ou industriels, des lixiviats et des eaux douces ou marines. Il est normalisé (AFNOR, août 1991, Norme T90-320). Ce test consiste à déterminer, dans des conditions définies, la concentration de l'échantillon qui, en 5, 15 et si nécessaire 30 mn, inhibe 50 % de la luminescence (CE50) produite par une suspension de bactéries. Ce test est conçu pour analyser des substances liquides ou en solution. Le sédiment n'a donc pas été testé directement Ces échantillons ont donc subi un protocole d'extraction qui a consisté à préparer une phase aqueuse (protocole de lixiviation) et une phase organique (protocole d'extraction organique) (Figure 7).

Figure 7.

Evaluation de la toxicité Nature et préparation des échantillons



* Test de développement larvaire chez Paracentrotus lividus

Ce test est issu d'une simplification de la méthode ASTM (1989). Ce test est applicable directement sur des effluents ou sur des sédiments. Les gamètes d'oursin ont été collectés par déclenchement. Oeufs et sperme sont ensuite mis en contact. Au bout d'1 nm, "l'efficacité" de la fécondation est vérifiée pour chaque lot en observant l'existence d'une membrane de fécondation. Des lots d'oeufs fécondés ont été exposés à des concentrations croissantes de sédiment et de surnageant (issus d'un protocole de lixiviation). Les oeufs sont ensuite fixés au formol et les embryons anormaux sont dénombrés.

* Test de mutation génique sur Salmonella typhimurium (test d'Ames)

Très récemment et en vue d'évaluer le pouvoir génotoxique des contaminants présents dans un sédiment, des protocoles de mutagenèse ont été adaptés à partir du test de mutation génique sur Salmonella typhimurium. Le résultat de ces tests informe directement sur le niveau de risque génotoxique de la contamination d'un milieu. La technique employée est conforme à la norme OCDE 471. Cette norme ayant été créée pour l'évaluation des substances chimiquement définies solubles, comme pour le test microtox, il a été préparé deux extraits (aqueux et organique) pour chaque échantillon de sédiment. De plus deux souches de salmonelles ont été testées (TA98 et TA100).

* Spéciation du chrome et du vanadium

Les teneurs en aluminium, calcium, chrome, cuivre, fer, manganèse, magnésium, nickel, vanadium et fer ont été déterminées dans l'effluent sec (résidus de traitement de bauxite) et certains échantillons de sédiments marins. Des essais de spéciation par la méthode des extractions séquentielles ont été également réalisées. Parallèlement des essais de remobilisation du chrome et du vanadium en eaux douces et eaux de mer ont été effectués.

I.4.1.4. Résultats

Détermination de la dose létale 50% chez Dicentrarchus labrax

Deux types d'essais ont été réalisés : 1- des essais de contact "sédiment/colonne d'eau "pour des volumes de 15 et 50 l (phases 1 et 2) ; 2- un essai sur le surnageant après élutriation (phase 3). Les doses testées sont : phase 1 : 0, 1, 10, 50 et 100 g de sédiment/m dans 15 l ; phase 2 : 0 et 100 g de sédiment/l dans 50 l et phase 3 : 0 et test du surnageant. La charge biotique est de 5 poissons par dose. Les observations ont eu lieu à 6h, 1, 2, 3 et 7 jours.

Bilan: Aucun mort à aucune dose dans aucune des 3 phases et pour 7 jours d'exposition.

<u>Conclusion</u>: Ce test n'a pas permis de mettre en évidence de toxicité aiguë des sédiments pour le poisson *Dicentrarchus labrax*.

Inhibition de la luminescence de Photobacterium phosphoreum

Deux types d'essais ont été réalisés après application de protocoles d'extraction sur les échantillons de sédiment : essais sur la phase aqueuse et sur la phase organique. Cinq concentrations ont été testées pour chaque phase : 0 ; 11,.36 ; 22,73 ; 45,45 et 90,91 % de la concentration maximale obtenue. Chaque essai a été tripliqué. Les observations ont été enregistrées après 5, 15 et 30 mn d'incubation.

<u>Bilan</u>: Les extraits aqueux des sédiments n'ont pas montré de toxicité vis-à-vis de *Photobacterium* phosphoreum alors que la fraction issue de l'effluent sec était fortement toxique. Les résultats obtenus sur les extraits organiques des sédiments ont été positifs pour les échantillons U06, U07 et U08. Cette observation n'est toutefois pas significative en terme de toxicité.

<u>Conclusion</u>: Ce test n'a pas permis de mettre en évidence de toxicité aiguë des sédiments pour la bactérie <u>Photobacterium phosphoreum</u>.

Tests de toxicité pour la reproduction : développement larvaire chez Paracentrotus lividus

Deux types d'essais ont été réalisés : essais sédiment contact et essais sur surnageant après lixiviation. Les doses testées sont pour le sédiment contact : 0, 0.5, 1, 2.5 et 5 g de sédiment/l et pour le surnageant : 0, 1, 5, 10, 25, 50 et 100 % de surnageant. La durée de l'exposition est de 48 h.

<u>Bilan</u>: Les pourcentages d'anomalies étant tous inférieurs à 70%, il est impossible de calculer des CE50 (concentration effective induisant 50% d'anomalies embryonnaires). Pour le test contact, le maximum d'anomalies est observé pour la station U06 (38.9%). Pour le test sur le surnageant ce maximum n'est que de 20.1% pour la station U08.

<u>Conclusion</u>: Selon l'échelle de Quiniou (1995), les échantillons peuvent être considérés comme faiblement toxiques (moins de 30% d'anomalies) ou moyennement toxiques (de 30 à 50 % d'anomalies).

Tests de génotoxicité : mutation génique sur Salmonella typhimurium

Deux types d'essais ont été réalisés après application de protocoles d'extraction sur les échantillons de sédiment : essais sur la phase aqueuse et sur la phase organique. Cinq concentrations ont été testées pour chaque phase : 0, 12.50, 25, 50 et 100% d'échantillon dans l'essai. Chaque essai a été réalisé avec et en l'absence de système d'activation (+/-S9).

Bilan: tous les essais sont négatifs.

<u>Conclusion</u>: Les extraits des sédiments n'ont pas permis de mettre en évidence de potentiel mutagène pour les souches TA98 et TA100 de Salmonella typhimurium.

Spéciation du chrome et du vanadium

Les méthodes employées qui sont spécifiques de la chimie analytique ne sont pas détaillées.

Essais sur le résidus de traitement de bauxite

* Teneurs en métaux

Les résidus inertes contiennent essentiellement du fer, de l'aluminium et du calcium (204.9, 43.2 et 42.3 g/kg respectivement). Les teneurs en chrome, vanadium et manganèse sont également élevées (1.6, 1.07 et 0.94 g/kg).

* Analyses séquentielles

Cette technique permet d'évaluer les risques en décomposant les teneurs en métaux en fraction échangeable (pouvant atteindre la sphère biologique) et fraction liée. Hormis pour l'aluminium et le nickel, les autres métaux dosés sont essentiellement localisés dans les fractions non-échangeables. Les teneurs en chrome dans la fraction F1 (échangeable) sont toutefois de l'ordre de 5%.

* Remobilisation en eaux douces

Au maximum 0.02% du chrome contenu dans les résidus passe en solution. Ce chrome dissous est constitué majoritairement de chrome sous le degré d'oxydation VI). Environ 4 % du vanadium contenu dans les résidus est soluble. Au bout de 15h le vanadium et le chrome solubilisés sont réabsorbés. Cette réabsorption pourrait être liée à un artefact de l'expérience.

Remobilisation dans l'eau de mer :

Dans les conditions de cet essai, 0,1% du chrome contenu dans les résidus est solubilisé. C'est l'état d'oxydation (VI) qui est largement dominant. Les quantités de vanadium libérées dans l'eau de mer sont moins importantes (au maximum 1%) que celles mesurées en eaux douces.

Essais sur les sédiments marins

* Teneurs en métaux dans les échantillons

Comme pour les résidus inertes le fer, l'aluminium et le calcium sont majoritaires (de l'ordre de 20, 45 et 100 g/kg respectivement). Le magnésium est également en quantités importantes (de l'ordre de

12 g/kg). Les autres métaux sont à des teneurs beaucoup plus faibles. La répartition des métaux entre les échantillons analysés (U06, U07, U08 et U11) montrent que généralement les concentrations augmentent de U06 à U08. Les teneurs pour U11 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées à U06.

* Spéciation du chrome et du vanadium

Entre les différents sédiments, on observe peu d'évolution pour le chrome et le vanadium, sauf pour le vanadium au point U06 qui montre des quantités non négligeables dans la fraction carbonatée (échangeable).

<u>Conclusion</u>: Les résidus inertes contiennent essentiellement du fer, de l'aluminium et du calcium ainsi que du chrome, du vanadium et du manganèse en quantités moindres. L'analyse séquentielle des résidus inertes montre que, sauf pour l'aluminium et le nickel, les métaux dosés sont essentiellement localisés dans les fractions non-échangeables. Les teneurs en chrome dans la fraction échangeable sont toutefois de l'ordre de 5%. Les essais de remobilisation ont montré que le chrome est peu soluble dans l'eau douce ou l'eau de mer. Toutefois, cette partie en solution est essentiellement sous l'état d'oxydation (VI). Par contre, Le vanadium est susceptible de passer en solution à des quantités plus importantes. Cette « solubilisation » pourrait être réversible. Les teneurs en chrome et vanadium dans les sédiments sont supérieures à celles observées en baie de Seine. Toutefois, selon les recommandations de l'Agence de l'Eau Artois Picardie, ces sédiments seraient considérés comme faiblement contaminés en chrome. Les essais de spéciation montrent que le chrome et le vanadium sont essentiellement localisés dans les fractions non-échangeables.

I.4.1.5. Conclusions

Au niveau génotoxicité, il n'a pas pu être mis en évidence d'effets mutagènes des sédiments marins. Au niveau toxicité aiguë, seul le test de développement larvaire a permis de mettre en évidence un effet des sédiments collectés durant la campagne ALPESUR. Cet effet est toutefois modéré. Les autres tests sur le loup et la bactérie sont négatifs (Figure 8). Au niveau de l'analyse des métaux, le fer, l'aluminium, le calcium et le magnésium sont majoritaires dans les échantillons de sédiments. Les autres métaux (dont le chrome, le vanadium, le cuivre ou le nickel) sont à des teneurs

Fig re 8.

Evaluation de la toxicité Principaux résultats

conclusions	ué sur le bar ax)	uë sur bactèrie rosphoreum)	ment larvaire (seutement toxique (seutement pour le test confact)	ité non mutagéne	Fraction echangeable en fable quantité
Type de test	tests de foxicité aigué sur le bar (Dicentrarchus labrax)	tests de toxicité aiguë sur bactérie (Photobacterium phosphoreum)	tests de développement larvaire sur l'oursin	tests de mutagenicité	tests de spéciation

beaucoup plus faibles. Les concentrations les plus élevées ne sont pas mesurées à U06 (sortie de l'émissaire) mais au point U08 (positionné dans le canyon mais éloigné de la zone d'émission).

D'autres dosages chimiques sont nécessaires pour i) confirmer que l'effet sur le développement larvaire de l'oursin est bien lié à la présence de résidus inertes et non à celle d'autres xénobiotiques (établissement de courbes doses réponses) et ii) évaluer le niveau de contamination des sédiments du canyon (en les comparant aux niveaux de métaux mesurés dans un endroit « propre »).

I.4.2. Informations fournies par F. GALGANI

L'IFREMER a organisé, en 1995, une campagne dans la région de Marseille/Cassidaigne afin de prélever des sédiments pour tester leur toxicité. Des prélèvements ont été faits à proximité du débouché de l'émissaire Péchiney dans le canyon de Cassidaigne. Sur ces derniers le test Microtox a révélé des effets positifs à partir de sédiment contact ; de plus, les tests de développement larvaire de moule ont révélé des effets positifs (fortes mortalités). Des effets positifs révélant des effets toxiques ont pu être également montrés sur des cultures d'algues phytoplanctoniques. En revanche, le test d'Ames est négatif.

Une seconde campagne, initialement programmée en 1997 et qui n'a pas pu avoir lieu, est prévue en 1999 dans toute la zone comprise entre Marseille/Toulon et la Corse.

I.4.3. Discussion

L'écotoxicologie est une science jeune et il existe une grande variabilité d'approche et de tests. Ceci rend souvent difficile toute conclusion définitive. Une liste (non exhaustive) de variables pouvant influencer les résultats et leur interprétation est donnée ci-après :

- 1) stratégie d'échantillonnage : sites dans ou en dehors d'un panache (représentativité des stations en relation avec la gamme de concentrations possibles).
- 2) caractéristiques des stations : granulométrie, teneurs en métaux, en contaminants, ... distribution verticale des variables.
- 3) provenance des sédiments testés : premiers centimètres, couche anoxique,...
- 4) type de contaminants et biodisponibilité des contaminants.
- 5) type de matrice utilisées : sédiments, eau interstitielle, organismes vivants,....
- 6) types de tests utilisés et sensibilités des tests selon les organismes utilisés (en particulier le test du bar est peu sensible ; en revanche, ceux avec des larves d'invertébrés sont beaucoup plus sensibles).
- 7) type d'expériences réalisées et manière dont ont été menés les tests.

- 8) sensibilité des tests en fonction : des cibles, adduits d'ADN, tumeurs, effets sur la morphologie des organismes,...
- 9) interprétation des tests, et la répresentativité des résultats vis à vis des effets réels sur le milieu.

Il faut signaler ici que dans le cas des résidus de traitement de bauxite, qu'aux effets chimiques peuvent également s'ajouter des effets mécaniques. Dans certaines situations, il ne pourrait y avoir que des effets mécaniques.

Il conviendrait donc d'avoir des réponses opérationnelles : limite des tests, variabilité,... valeur des tests par rapport aux peuplements en place dans le milieu. Les effets mécaniques sont-ils prépondérants sur les effets chimiques ? Il convient en fait de réduire les incertitudes.

L'écotoxicologie est un domaine où il n'existe pas de réglementation, il faut s'orienter vers la fourniture d'une information aussi fiable que possible pour s'acheminer vers une prise de décision.

L'extension maximale des dépôts dans la plaine bathyale n'est pas connue, et cette information devient nécessaire pour évaluer l'étendue des effets biologiques. En effet, l'exemple du déversement en mer des résidus de traitement de bauxite est un cas d'école : source identifiée, évaluation des rejets, connaissance de la qualité des rejets, nombreux travaux réalisés en mer et en modélisation. Il reste cependant à mieux connaître et à mieux évaluer les effets biologiques de ces rejets pour arriver à une cartographie des « risques ». De même, il n'y a pas de bonne connaissance sur les éventuelles interactions entre le sédiment et la colonne d'eau : transport particulaire ou dissous.

II. Recherches des voies d'utilisation des Résidus Inertes de Bauxite

Opérations engagées avant 1997

II. 1. Route expérimentale de Bramefan

Cette opération pilote s'est terminée en 1997 : les résultats sont encourageants, mais des problèmes subsistent : mise en œuvre délicate nécessitant du matériel adapté et forte concurrence des granulats.

Rapport de décembre 1997 « Utilisation des Résidus et techniques routière, chantier expérimental de Bramefan » par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées du Centre d'Etudes techniques de l'Equipement de 80 pages disponible.

L'expérimentation menée montre qu'il est possible de réutiliser les résidus de traitement de bauxite en technique routière, en faisant appel à un liant de nature hydraulique qui a été dans le cas de la route expérimentale de Bramefan un sous produit de l'activité industrielle locale : les cendres volantes de la centrale thermique de Gardanne. Il convient cependant de maîtriser les teneurs en eau du mélange en particulier la teneur en eau minimale et prendre un certain nombre de précautions d'utilisation.

Au niveau environnement, le matériau ne présente pas de relargage après lixiviation supérieure aux critères spécifiés. En revanche, il serait nécessaire en phase chantier de prévoir pour le transport et la mise en œuvre, des précautions élémentaires (arrosages) pour éviter toute pollution par envolement de matériaux par forte chaleur et par fort vent et quelques merlons pour éviter des transports colorés lors des pluies torrentielles.

Le projet de couverture d'un hectare a été reportée en raison d'un appel d'offre infructueux. en 1997.

II.2. Récifs artificiels

Cette opération pilote s'est terminée avec la remise du rapport COM sur la colonisation en mars 1997. Résultats positifs dans la mesure où il y a identité de peuplement entre les récifs artificiels construits avec des matériaux contenant des résidus de traitement de bauxite et des témoins sans résidus de traitement de bauxite (voir le rapport 1996 du CSS).

II.3. Horticulture

Poursuite des essais sur l'usine entrepris en 1994 : pas d'anomalie sur la croissance des végétaux. Il est conclu de manière synthétique que l'utilisation des résidus de bauxite en tant que support agronomique est possible à condition de prendre quelques précautions pour leur mise en œuvre. Les incidences d'une telle utilisation sur l'environnement semblent limitées. Il est proposé à partir de la fin de l'automne 1997 la suppression de l'arrosage d'une rangée sur deux et la poursuite du contrôle de la percolation des eaux.

Il a été entrepris un essai de végétalisation d'une plate forme expérimentale en septembre - octobre 1995 afin de mettre au point une technique fiable et reproductible d'utilisation des résidus de traitement de bauxite en tant que matériau de couverture pour réaménagement de la décharge d'Entressen (ville de Marseille). Après deux ans d'essais les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'utiliser les résidus de traitement de bauxite en tant que matériau de couverture, à conditions toutefois de suivre les précautions techniques adaptées aux caractéristiques physico-chimiques des matériaux.

Sur le plan géotechnique, les matériaux se sont comportés de façon satisfaisante puisque les phénomènes d'érosion et d'entraînement des particules fines ont été limités. Sur le plan de la végétalisation, les résultats sont plus contrastés avec des semis de graminées qui ont donné de bons résultats et des plantations d'arbres et d'arbustes qui ont donné des résultats médiocres. Des enseignements ont pu être tirés : il est préférable de laisser passer un laps de temps suffisant entre la mise en place des matériaux et les plantations d'arbre de façon à favoriser à la fois la stabilisation de la couverture et le lessivage d'une partie de la soude résiduelle. Une étape de revégétalisation transitoire avant un aménagement définitif est préconisée.

II.4. Coulis d'injection pour étanchéité société BACHY

Contrôle de la stabilité chimique par le CRVM de Nancy

II.5. Palettes pour tir aux pigeons d'argile

Des difficultés dans la recherche d'opérateurs susceptibles de réaliser une machine pour construire les disques.

Opérations engagées en 1997

II.6. Extraction

Mise en place de lagunage permettant de préparer à la fois jusqu'à 18000 t de résidus de traitement de bauxite

II.7. Environnement

II.7.1. Horticulture

Poursuite de la surveillance et des contrôles des plantations réalisés sur le site Aluminium Péchiney Gardanne depuis avril 1994. Un essai de validation d'une éventuelle utilisation des résidus de bauxite en tant que matériau constitutif d'un support agronomique destiné à être végétalisé et planté de pied de lavande dans le cadre d'aménagements autoroutiers a été mené de mars 1996 à juin 1997 (Figure 9). En outre, il a également été testé le rôle que pouvait avoir les résidus de traitement de

ŀ

bauxite dans l'inhibition de la germination des graines de plantes adventices, limitant de ce fait les travaux ultérieurs de désherbage.

Malgré la pauvreté du milieu nutritif et les faibles précipitations de l'hiver et du printemps 1997, l'état végétatif des lavandes est satisfaisant; l'inhibition de germination des plantes adventices a pleinement joué son rôle : le terrain est indemne de toute mauvaise herbe.

II.7.2. Récifs artificiels

Proposition au Président du Comité Local des Pécheurs des Bouches du Rhône d'une opération pilote d'immersion de 100 à 200 t de blocs fabriqués à partir de résidus de traitement de bauxite et de cendres.

II.7.3. Couverture de décharge

Décharge de la Malespine à Gardanne : projet pilote sur 8000 m² sur un mètre d'épaisseur, mise au point du projet, essais préalables par SIMECSOL, établissement du cahier des charges, demande de subventions auprès de l'Agence de l'eau et du FIBM.

Décharge d'Entressen: soumission en 1998 à l'appel d'offre.

Digue de Camargue : offre financière réalisée, le syndicat demande à revoir l'offre A.P.

Autres contacts : SOMEDIS, Lafare les Oliviers ; Déchets services, Les Pennes Mirabeau, Couvertures des décharges des villes de Martigues et de la Ciotat.

II.8. Matériaux de construction

II.8.2. Collaboration avec les Ciments d'Obourg (travaux en cours entre l'INSA de Lyon et A.P.). Travaux en cours sur l'utilisation des résidus de traitement de bauxite dans les bétons

La démarche développée par l'équipe URGC-Matériaux pour évaluer les possibilités de valorisation d'un résidu industriel est présentée selon l'organigramme de la figure 10. Trois voies de valorisation ont été explorées.

- i) l'utilisation sous forme de boues dans les mortiers de rembourrage et les coulis d'injection ;
- ii) l'emploi, après séchage, comme additions dans les bétons ;
- iii) la transformation des résidus en colorant, après séchage, calcination et sélection granulométrique.



Planche 1: l'essai moment de sa mise place (en mai 1996)



Planche 2: l'essai après une année (en juin 1997)

Figure 9.

VALORISATION DES DECHETS DANS L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION

démarche générale

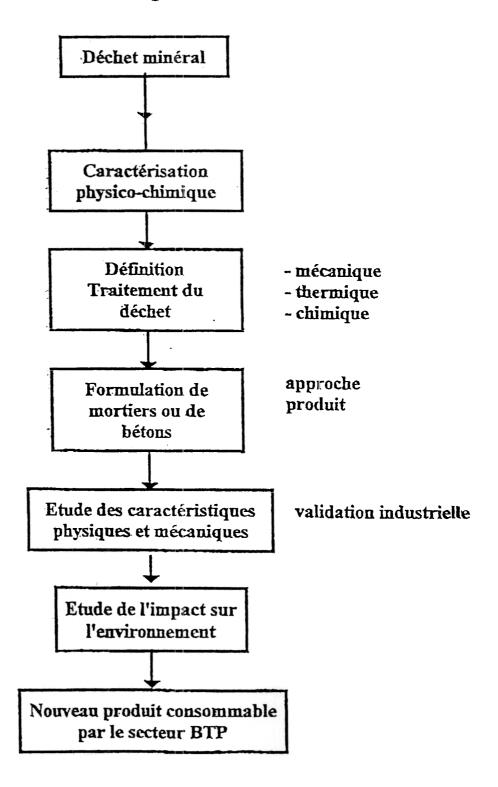


Figure 10.

Les marchés visés sont respectivement : i) le comblement des cavités et la consolidation des sols ; ii) les bétons de dallage autonivelants et les bétons à haute performance et iii) la voirie et le mobilier urbain, les briques et tuiles béton.

Les essais de filtration réalisés au filtre presse montrent que les boues de résidus peuvent remplacer les boues de bentonite dans les formulations de mortiers de rembourrage et de coulis d'injection. Dans les bétons à haute performance, les résidus peuvent se substituer aux fumées de silice. Cependant le frein à leur emploi est la couleur des bétons obtenus. De plus, les volumes susceptibles d'être utilisés sont faibles. Le marché visé actuellement est celui des bétons fluides et autonivelants dans l'application des dallages. En visant un taux de pénétration de 10 % de la production de bétons fluides (8,5 millions de mètres cubes) le marché potentiel annuel est estimé à 85000 t. Concernant les colorants, le tonnage utilisé dans les produits béton est supérieur à 5000 t/an. La palette de couleurs la plus employée est le rouge, l'ocre, le brun et le noir. Le prix de la tonne est compris entre 6400 et 8000 F.

Des essais industriels de bétons colorés ont été réalisés sur des murs antibruits. Des échantillons de bétons désactivés effectués en laboratoire ont montré qu'après calcination dans la plage de température 650-750 °C, les résidus pouvaient se substituer aux colorants classiques.

Des études complémentaires sont en cours pour développer des colorants pouzzolaniques à partir des résidus avec pour objectif : i) colorer le béton et ii) limiter les efflorescences du béton.

II.8.2. Essais avec EDF de préparation de coulis par mélange de résidus de traitement de bauxite et de cendres volantes

L'étude a fait l'objet d'un rapport de 29 p et de 6 annexes. Le document fait le point de la première partie de l'étude sur la recherche d'une formulation de remplissage de cavité avec un coulis, mélange de cendres LFC de Gardanne groupe 4 et de résidus de traitement de bauxite de Aluminium Péchiney. Il a été établi un cahier des charges et présenté les résultats de l'étude en laboratoire de la préformulation. Une pré-formulation d'environ 250 kg/m³ de cendres, de 440 kg/m³ de résidus de traitement de bauxite et 760 l/m³ d'eau semble répondre aux spécifications concernant l'aspect injectabilité et résistance. En conclusion de cette phase, pour respecter le cahier des charges et être conforme aux contraintes d'environnement, un ajout de 40 à 60 kg/m³ de ciments semble cependant nécessaire. La deuxième partie de l'étude visant à valider une formulation nominale sera réalisée en 1998. L'aspect lixiviation et durabilité seront plus particulièrement étudiés durant cette phase.

II.8.3. Coulis d'injection pour étanchéité et comblement de cavités souterraines : poursuite des essais avec la Société BACHY (mélanges ciment + résidus de traitement de bauxite)

Les essais de stabilité chimique des coulis se poursuivent et donnent satisfaction.

II.8.4. Vente de 750 t. de résidus de traitement de bauxite à la société COVERLAND en 1997

II.9. Divers

Essais de granulation chez LAFARGE.

Présentation de l'emploi des résidus de traitement de bauxite au congrès ICSOBA à Milan.

Participation au Forum des Energies à Gardanne : présentation d'un stand sur l'emploi des résidus de traitement de bauxite

III. 1. Recommandations du Comité Scientifique de Suivi sur les travaux entrepris en dehors du programme écotoxicologie

Le Comité Scientifique de Suivi souligne une fois de plus la diversité des voies d'études entreprises par A.P. sur le devenir en mer des résidus de traitement de bauxite et sur leur emploi. Le C.S.S. félicite Aluminium Péchiney pour le bon déroulement des études réalisées en 1997 notamment l'organisation de la campagne de prélèvement ALPESUR, le lancement des études écotoxicologiques et les nombreux projets d'utilisation des résidus de traitement de bauxite dont certains viennent d'être présentés.

Le CSS apprécie que les recommandations proposées en 1996 aient été suivies d'effets dans :

- i) l'analyse conjointe des résultats acquis *in situ* (pièges et mesures courantologiques) avec la modélisation des courants et les travaux sur les conditions météorologiques pour préciser les conditions de remise en suspension des sédiments et des résidus de traitement de bauxite.
 - ii) et la recherche de nouvelles voies d'utilisation des résidus de traitement de bauxite

Le CSS recommande:

Un complément d'étude dans la simulation de la circulation et des dépôts par modélisation numérique au niveau :

- i) des phénomènes d'alternance mistral/vents d'est;
- ii) d'essais de simulation de la dispersion des dépôts en injectant les rejets à une profondeur de 500 et de 1000 m en prolongeant fictivement l'émissaire;

iii) des effets de la granulométrie, de la dimension et de la forme des particules sur leur remise en suspension.

L'utilisation d'autres sédiments piégés en Méditerranée Occidentale par d'autres chercheurs est recommandée pour mesurer les métaux contenus dans ces sédiments afin d'accroître les connaissances sur l'extension maximale des résidus et avoir des niveaux de base des contaminants métalliques dans des sédiments en dehors du panache du canyon de la Cassidaigne. Il est notamment demandé de se mettre en relation avec les chercheurs de l'Observatoire Océanologique de Villefranche sur mer.

La poursuite des travaux de recherches d'emploi des résidus de traitement de bauxite en particulier ceux relatifs aux bétons et aux pigeons de ball trap et le passage pour certains d'entre eux à une phase d'utilisation industrielle après avoir obtenu les autorisations d'utilisation (routes, récifs artificiels, ...). Une étude plus approfondie sur le séchage et la calcination des résidus devrait être entreprise.

L'intérêt que présente les résidus de traitement de bauxite comme barrière géochimique et comme accélérateur interne de sédimentation devrait être valorisé.

L'organisation en mars prochain d'un CSS restreint pour examiner les résultats obtenus dans les études d'écotoxicologie ; deux experts externes de l'IFREMER devront être invités.

La présence d'un membre de l'IFREMER au sein du C.S.S. M Henocque, nommé par arrêté préfectoral du 30 octobre 1995, n'assiste plus au C.S.S.

Addenda: Mr Henri FARRUGIO, chef du laboratoire « Ressources halieutiques » du centre IFREMER de Séte a été nommé membre du CSS le 23 février 1998 par Monsieur le Préfet des Bouches du Rhône.

III.2. Recommandations du Comité Scientifique de Suivi sur les études écotoxicologiques

En raison d'une campagne d'essais militaires, le programme initial n'a pas pu été entièrement respecté lors de la campagne ALPESUR, en particulier la demande de prélèvements en trois stations dans l'axe du chenal; ce qui n'a pas permis d'échantillonner l'ensemble des stations programmées. Cette absence de prélèvements grève beaucoup l'interprétation des résultats.

Comme il est souvent le cas dans les études écotoxicologiques, les travaux réalisés et les résultats acquis sont sujets à discussion par rapport à leur interprétation et à leur extrapolation. Il est en effet difficile de faire le lien entre les résultats des tests et ce qui se passe dans le milieu dans des conditions environnementales réelles.

Le C.S.S. a eu une connaissance tardive de l'ensemble des travaux réalisés lors de cette étude écotoxicologique, cependant l'exposé de M. D. RIBERA et le complément d'informations fourni par

M. F. GALGANI, IFREMER Nantes permet de faire des remarques et des recommandations selon trois questions :

- i) les études réalisées permettent-elles de répondre aux objectifs posées en 1997 ?
- ii) quelle est la situation actuelle des connaissances sur l'écotoxicologie des résidus de traitement de bauxite ?
- iii) quelles sont les études qu'il conviendrait d'entreprendre pour compléter les résultats acquis ?

L'absence de sédiments témoins pour certains tests ou essais rend difficile l'interprétation des résultats présentés. De même, il eut été plus intéressant de prendre, pour tester les effets toxiques, uniquement la couche superficielle des sédiments (3 cm) plutôt que les 15 premiers centimètres. Ce choix a cependant été justifié par le fait que c'est toute cette couche sédimentaire qui est colonisée par la macrofaune.

II.2.1. Les études réalisées permettent-elles de répondre aux questions posées en 1997?

Hormis les remarques mentionnées plus haut, les travaux écotoxicologiques demandés par le C.S.S. ont été réalisés.

Le test microtox est négatif, cependant bien que l'utilisation du surnageant pour ce test soit correcte, elle correspond à une situation particulière qui n'est pas nécessairement optimale. Avec un test à partir de sédiment contact, l'IFREMER conclut à un effet positif pour des sédiments prélevés à proximité de l'émissaire dans l'axe du chenal.

Les résultats du test bar ne donne pas lieu à commentaire.

Le test d'Ames est négatif, ce résultat confirme celui de l'IFREMER sur l'absence de génotoxicité des sédiments sur la base des tests et des techniques utilisés.

Le test sur le développement larvaire montre qu'il y a des effets sur les larves de l'oursin Paracentrotus lividus. Ce résultat est conforme et va dans le même sens que ceux obtenus par l'IFREMER sur trois cibles : des larves de moules, d'huîtres et d'oursins. Le fait que les sédiments des stations 11 et 18, situées à 45 km de l'émissaire, présentent une toxicité vis à vis des larves d'oursins, suggère qu'il puisse y avoir une étendue importante des rejets se révélant toxiques pour des larves d'invertébrés. Cependant, l'absence de sédiment témoin sans contaminant, ne permet pas de statuer sur le caractère physique ou chimique des effets.

En l'absence de sédiment témoin de référence non influencé par les résidus de traitement de bauxite, les résultats sur la spéciation du Cr et du Va, sont difficiles à interpréter en particulier l'appréciation de leur biodisponibilité dans les sédiments analysés. Il peut être souligné qu'il n'y a pas

de relation de cause effet entre la contamination rétallique des sédiments et la toxicité appréciée par le test de développement larv des oursins

III.2.2. Quelle est la situation actuelle des connaissances 'écotoxicologie des résidus de traitement de bauxi

Les résultats disponibles l'ensemble des études effectuées depuis des nombreuses années suggèrent que existe trois zones

première zone azoïque située le long du canyon macrofaune endogée où pour le moment pas information complète écotoxicité des sédiments Des espèces de macrofaune substrat dur sont cenendant présentes dans des sites protégés grottes, surplombs, mêmes situés proximité de émissaire. Des expériences in situ réalisées dans le golfe de ont montré la possibilité de colonisation des résidus de traitement de bauxite par des espèces de macrofaune. Un calcul simplifié conduit à estimer la surface de cette première zone milliers d'hectares est suggéré qu puisse avoir vieillissement des résidus depuis émissaire jusqu'à la partie d'extension maximale des résidus dont connaît pas encore actuellement la limite

deux ême zone de faibles dépôts dans laquelle été mise évidence jour des effets le développement larvaire des oursins

iii) une zone externe touchée seulement par diffusion des rejets, dont connaît pas 'extension l'éventualité d'effets toxiques le développement larvaire invertébrés

Pour le moment existe pas informations éventuels effets toxicologiques le plancton des résidus sous fome particulaire sous forme dissoute suite la dissolution de certains métaux. La couche d' suprabenthique où les suspension pourraient être maximales pourrait être la plus sensible

Les données existantes sur la composition de lichtyofaune du canyon de Cassidaigne devraient être complétées, avec étude du contenu stomacal des poissons dominants, de façon évaluer 'il existe des perturbations dans les chaînes trophiques III. 2.3. Quelles sont les études qu'il conviendrait d'entreprendre pour compléter les résultats acquis ?

Les études complémentaires en écotoxicologie à mener devraient s'attacher :

i) à étudier conjointement la composition de la macrofaune et la toxicité des sédiments à partir de tests de toxicité pour la reproduction et microtox (test à partir de sédiment contact) dans une zone où il existe un fort gradient depuis l'axe central du canyon où les dépôts sont importants vers une zone

périphérique sans contamination par les résidus de traitement de bauxite. Le nombre de stations pourrait

être de l'ordre de la dizaine.

ii) à étudier les possibilités de relargage de Cr et Va des sédiments vers la colonne d'eau.

Parallèlement à ces deux études, le C.S.S. recommande des études pour connaître l'extension maximale de la zone touchée par les résidus de traitement de bauxite et sur la réalisation d'une nouvelle

étude comparative de la composition de l'ichtyofaune du Canyon de la Cassidaigne par rapport à celles

d'autres canyons méditerranéens situés à proximité.

Wimereux lè 27 avril 1998

Jean-Claude DAUVIN

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

Président du Comité Scientifique de Suivi