

RAPPORT ANNUEL 1996
DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI
RESIDUS INERTES
ALUMINIUM PECHINEY
GARDANNE

Paris le 15 avril 1997

RAPPORT ANNUEL 1996 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI RESIDUS INERTES 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 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 (prochaine campagne en 1997) 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 (à effectuer avant le 31 décembre 1994).

* 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 boues 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. Ce projet d'étude sera soumis à l'avis du Comité Scientifique et présenté au plus tard le 31 décembre 1996. 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 boues 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	2005	2005	2010	2015
Quantité déposée en mer en millions de tonnes	1,04	0,5	0,33	0,31	0,25	0,18	0

Composition et rôle du Comité Scientifique

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) donne son avis sur les programmes en cours et à venir ;
- iii) produit un rapport annuel.

Rapport 1996

Les travaux entrepris en 1996 portent sur deux domaines bien distincts :

- I. Acquérir une meilleure connaissance du devenir en mer des Résidus inertes ;
- II. Rechercher les voies d'utilisation des Résidus Inertes de Bauxite.

I. 1. Evaluation à long terme par télédétection de la fréquence d'apparition de l'upwelling côtier de la région de Cassis (Rapport final de J.P. Durbec, novembre 1996).

L'objectif de cette étude est la détermination des ordres de grandeur des fréquences et des durées des remontées d'eaux froides dans le canyon de Cassidaigne, à proximité de Cassis, à l'aide de

deux approches (i) analyse statistique des données météorologiques et (ii) analyse de thermographies satellitaires (voir rapport annuel 1994-1995 du Comité Scientifique de Suivi).

Le rapport final : « Facteurs de remontée d'eaux profondes (Upwellings) dans le Canyon de la Cassidaigne » de 41 pages comporte cinq parties.

- i) Contexte de l'étude ;
- ii) Etude statistique des données météorologiques ;
- iii) Validation des hypothèses par thermographies satellitaires ;
- iv) Simulation numérique (CETIIS) ;
- v) Synthèse et discussion.

Le traitement statistique de données météorologiques de 1984 - 1994 de quatre stations météorologiques (Marignane, La Ciotat, Toulon et Pomégues) a confirmé l'intérêt particulier porté à la station Pomégues (absence de relief perturbateur et proximité de la zone étudiée) et de l'année 1992 comme situations les plus représentatives. L'année 1981, durant laquelle des remontées de boues rouges sur le plateau continental avaient été décelées, ne présente pas d'anomalie particulière.

En fonction des facteurs supposés d'initialisation des remontées d'eaux froides (vents de secteur localisés entre 250° et 10° correspondant au Mistral et vitesse $> 3 \text{ m. s}^{-1}$), le nombre d'upwellings est estimé à 50-60 par an, soit entre 4 et 5 par mois. Leur fréquence est plus importante en février, juillet-août et octobre-novembre. Toutefois, il semble raisonnable de retenir comme critère d'initialisation des upwellings, un Mistral soufflant au moins à $5-6 \text{ m. s}^{-1}$. Dans ces conditions 3 à 4 upwellings mensuels seraient générés avec une durée moyenne de 2 à 3 jours. De plus, il existe une décroissance régulière de la durée en jours de la potentialité d'upwelling ; cependant des upwellings d'une durée de 9/10 jours se produiraient au moins quatre fois par an.

Une banque de donnée d'images satellitaires correspondant aux périodes supposées de présence du phénomène d'upwelling a été mis en place ainsi qu'un système de traitement d'image. Les prises de vue ont été réalisées par les satellites météorologiques de type NOAA-AVHRR. Les images satellites ont été sélectionnées en fonction de quatre cas de figures (i) : Mistral de faible intensité ($2-3 \text{ m. s}^{-1}$) soufflant longtemps ; (ii) Mistral de forte intensité ($>10 \text{ m. s}^{-1}$) soufflant pendant une journée, (iii) Mistral d'intensité importante ($>6 \text{ m. s}^{-1}$) soufflant pendant plusieurs jours et (iv) mistral de faible

intensité ($<3 \text{ m. s}^{-1}$) pendant une journée. Sur l'ensemble des images analysées, les upwellings semblent détectables au bout de 2 à 3 jours de Mistral d'une intensité relativement forte (5-6 m. s^{-1}). L'apparition des upwellings n'est pas observée pour des périodes courtes de vents de forte intensité ($>10 \text{ m.s}^{-1}$ pendant une journée).

En conclusion, la confrontation de trois approches, statistique, modélisation et télédétection, suggère que les conditions les plus favorables à la remontée des eaux profondes dans le canyon sont induites par des vents de directions comprises entre 10° et 250° environ, d'une intensité supérieure à 5 m. s^{-1} et d'une durée supérieure à 12 heures, pour des écarts thermiques, en été, maximums de l'ordre de 3° à 4° C . Les résultats obtenus couplés aux hypothèses statistiques de distribution des vents permettent d'estimer le nombre d'upwellings à 3-4 par mois d'une durée moyenne de 2 à 3 jours. Lorsque le phénomène est établi et détectable à certaine période de l'année, il apparaît une structure type, de taille caractéristique sur les clichés infrarouge, en corrélation avec des conditions météorologiques caractéristiques. Il est alors possible grâce à la modélisation de quantifier les conditions générales de température et d'extension spatiale du phénomène par rapport à la côte. La question de la provenance des eaux remontant en surface lors des phénomènes d'upwelling demeure cependant à déterminer.

I. 2. Mesures courantologiques et sédimentologiques *in situ*. Travail réalisé par le Centre Océanologique de Marseille

Les objectifs de cette étude sont la description de la circulation dans la rade de Cassis aux échelles intéressant la dispersion des résidus inertes, à l'aide de mesures *in situ* des courants et de la température, et l'appréciation de la répartition des résidus dans la rade notamment lors d'événements météorologiques exceptionnels, à l'aide de pièges à sédiments.

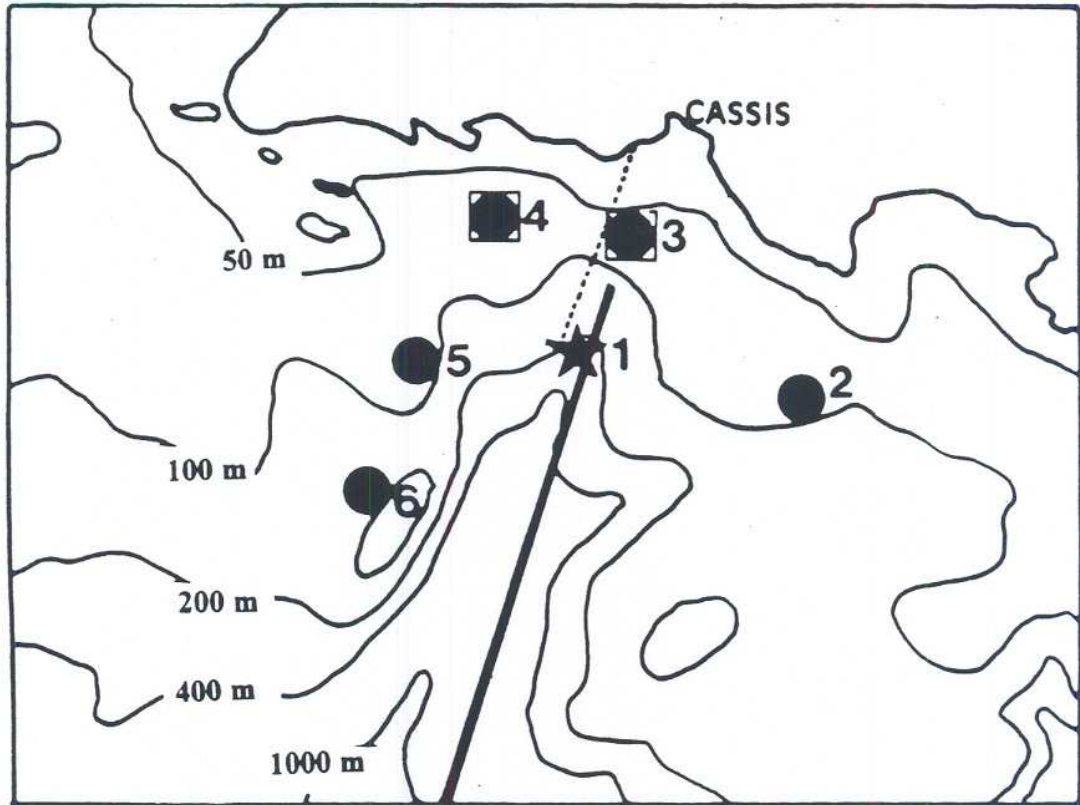
La campagne de mesures (TURBIN : TURBulence et INteractions) a duré un an avec deux immersions successives de six mois (leg 1 : fin avril 1995-mi-novembre 1995 ; mi-décembre 1995-fin mai 1996) des instruments de mesures suivants (Figure 1 : points d'immersion des appareils) :

- un profileur de courant à large bande autonome ADCP, permettant de mesurer et d'enregistrer 48 profils verticaux par jour, chaque profil comprenant 40 mesures sur toute la tranche d'eau du fond à la surface et une chaîne de thermistances à proximité du point de rejet des résidus inertes (station 1) ;
- cinq courantomètres sur le plateau continental de part et d'autre du rejet (stations 2 à 6) ;
- deux pièges à particules de type TECHNICAP PPS 5/2 placés à 10 m du fond (stations 3 : piège 1 et station 4 : piège 2) munis de 24 godets séquentiels permettant un échantillonnage hebdomadaire des particules (remise en suspension et sédimentation provenant de la colonne d'eau).

Deux mouillages (stations 7 et 8) complètent plus au large l'ensemble des appareils de mesures.

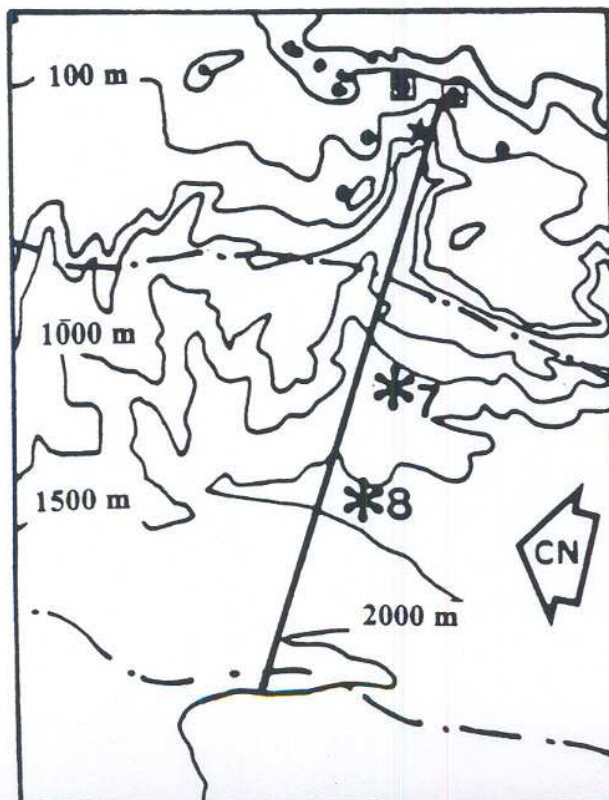
FIGURE 1

POINTS D'IMMERSION DES APPAREILS DE MESURES DANS LE CADRE DE L'OPERATION TURBIN; CN : COURANT NORD



TURBIN

avril 1995 - avril 1996



★ Acoustic Doppler Current Profiler (20-240 m) et Chaîne de thermistances (30-230 m)

● Courantomètre (à 5 m du fond)

□ Piège à sédiments (à 10 m du fond)

* Mouillages équipés de 7-8 courantomètres

/ Radiale d'hydrologie

L'opération de relevage-remise en place en novembre-décembre avait pour buts i) de s'assurer du bon fonctionnement des appareils et de récupérer une partie des mesures si l'un des mouillages devait, par la suite être perdu et ii) de remettre en 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 pendant le leg 1, du mouillage T6, chaîne de thermistance endommagée par un palangrier lors des deux legs.

Parallèlement des sorties hydrologiques ont été réalisées tous les 15 jours selon une radiale côte-large dans l'axe du canyon.

Pour ce qui concerne les mesures de courant obtenues avec les courantomètres classiques, pendant le leg 1, le capteur de vitesse n'a pas fonctionné normalement en T2 à partir de la mi-juin et en T6 à partir de juillet. Les mesures de l'ADCP ont été correctes pendant les deux legs. Les mesures de courant aux points T7 et T8 ne sont quasiment pas disponibles aux profondeurs 100 et 200 m aux deux points. Au cours de la deuxième immersion, le blocage du système sur le 18^{ème} godet du piège 1 (station 3) est responsable d'une accumulation de matériel piégé pendant plus d'un mois.

I. 2. 1. Caractéristiques de la circulation dans la baie de Cassis (Rapport de C. Alberola et de C. Millot, 29 pages + annexes, mars 1997).

Des résultats fondamentaux ont tout d'abord été obtenus à partir des mesures de courant effectuées près du fond à proximité du rejet. La forte variabilité temporelle des mesures atteste tout d'abord de la nécessité de faire, dans cette région particulièrement complexe comme dans d'autres d'ailleurs, des mesures en continu et pendant de longues périodes au moyens d'appareils autonomes fixés sur des mouillages. Les vitesses maximales, sur une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres au dessus du fond (replat vers 200-250 m), ont atteint des valeurs de près de 25 cm. s⁻¹ au printemps-été et de l'ordre de 35 cm. s⁻¹ en automne-hiver. Si la plupart de ces vitesses relativement élevées sont dirigées parallèlement aux isobathes locales, et dans un sens autant que dans l'autre, la dispersion est notable et des courants importants peuvent remonter la pente vers des profondeurs moindres. La similitude des mesures faites, de manière indépendante, tous les 5 m, atteste de leur signification.

Aucune corrélation n'existe manifestement entre ces événements de courant fort à proximité du rejet et les forts coups de vent. Compte tenu de l'importante variabilité saisonnière de ces événements et du rôle complexe de la stratification, il est probable comme cela avait été donné en hypothèse avant la campagne, que la circulation générale joue un rôle majeur. Mais le mauvais fonctionnement d'appareils pratiquement neufs de type MORS immergés dans les deux stations du large ne permet pas d'apporter de réponse définitive. Quoi qu'il en soit, et en l'état actuel de l'analyse, il est impossible de prédire les pointes de vitesse. Il convient de souligner par ailleurs que l'étude de la circulation générale et de ses

influences ne rentrait pas dans le cadre du contrat Péchiney mais a néanmoins permis, comme il l'a été directement confirmé par l'un des rapporteurs de notre demande au CIRMED, de bénéficier gratuitement et à la demande des bateaux de l'INSU.

Comme le montre la figure 2, la circulation moyenne présente une variabilité saisonnière on ne peut plus grande puisqu'elle suit les isobathes vers l'est au printemps-été et vers l'ouest en automne-hiver. Les mesures semblent difficilement pouvoir, non pas être mises en doute, mais dépendre de la topographie à une échelle horizontale de quelques dizaines de mètres (distance entre les points de mesure pendant les deux périodes d'immersion) car cette variabilité se retrouve à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du fond (là où les effets de la topographie sont atténués) et est la même au cours des deux mois de mai couverts par la campagne. Pour le moment, il n'existe aucune explication à proposer sans l'aide de la modélisation.

Des résultats essentiels ont ensuite été obtenus à partir des mesures de courant effectuées près du fond sur le plateau dans l'ensemble de la baie. La forte variabilité temporelle et spatiale confirme là aussi qu'il était nécessaire de faire les mesures telles qu'elles ont été faites. L'analyse visuelle d'un tel ensemble de données n'est pas une chose simple mais elle a confirmé que des schémas de circulation pouvaient être définis et que l'échantillonnage proposé était suffisant. De plus, des corrélations significatives existent entre la plupart des points voisins. Il convient donc de souligner avant tout la bonne adéquation entre les moyens mis en oeuvre et les résultats obtenus.

Dans toute la baie, on doit s'attendre à des vitesses maximales près du fond atteignant des valeurs de l'ordre de 30-40 cm. s⁻¹ au printemps-été et 40-50 cm. s⁻¹ en automne-hiver. Pendant cette deuxième période, les valeurs sont particulièrement élevées dans la partie externe de la baie, confirmant sans doute l'importance de la circulation générale dont on suppose qu'elle se rapproche alors de la pente continentale. Pour la plupart des points les vitesses maximales se produisent plutôt vers l'ouest mais la dispersion est grande.

Il n'apparaît sans doute pas à des non-spécialistes que l'analyse d'un tel ensemble d'enregistrements nécessite, pour être irréprochable et convaincante, des développements mathématiques relativement lourds. Il ne s'agit pas en effet de reporter, sur quelques cartes, les courants mesurés tel ou tel jour, mais bien de présenter une analyse statistique objective, c'est-à-dire ne faisant en rien appel à l'intuition et à la subjectivité. La décomposition en fonctions empiriques orthogonales complexes a ainsi démontré qu'il existait, tout au long de l'année, deux schémas principaux de circulation dans la baie (Figure 3). Comme on pouvait s'y attendre, la circulation est dirigée la plupart du temps plutôt parallèlement à la topographie, tantôt vers l'est et tantôt vers l'ouest. Le basculement d'un schéma à l'autre peut se faire rapidement et fréquemment. Aucune corrélation n'existe entre ces schémas de circulation sur le plateau (par des fonds inférieurs à 100 m) et la circulation en tête de canyon (fonds de 200-300 m).

FIGURE 2

Hodographes intégrés des courants horaires mesurés par l'ADCP en T1 pendant les deux legs à 75, 185, 195 et 205 m

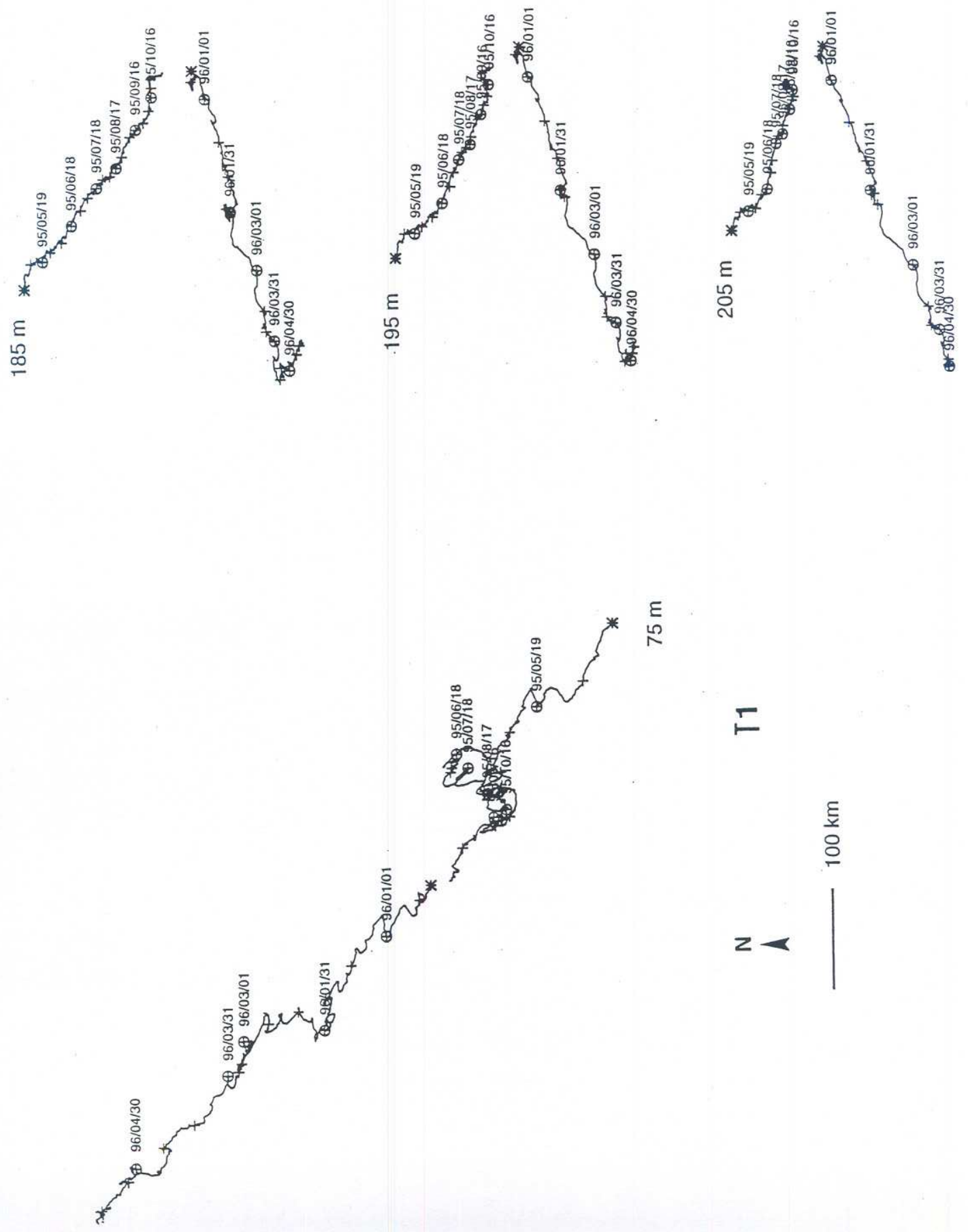
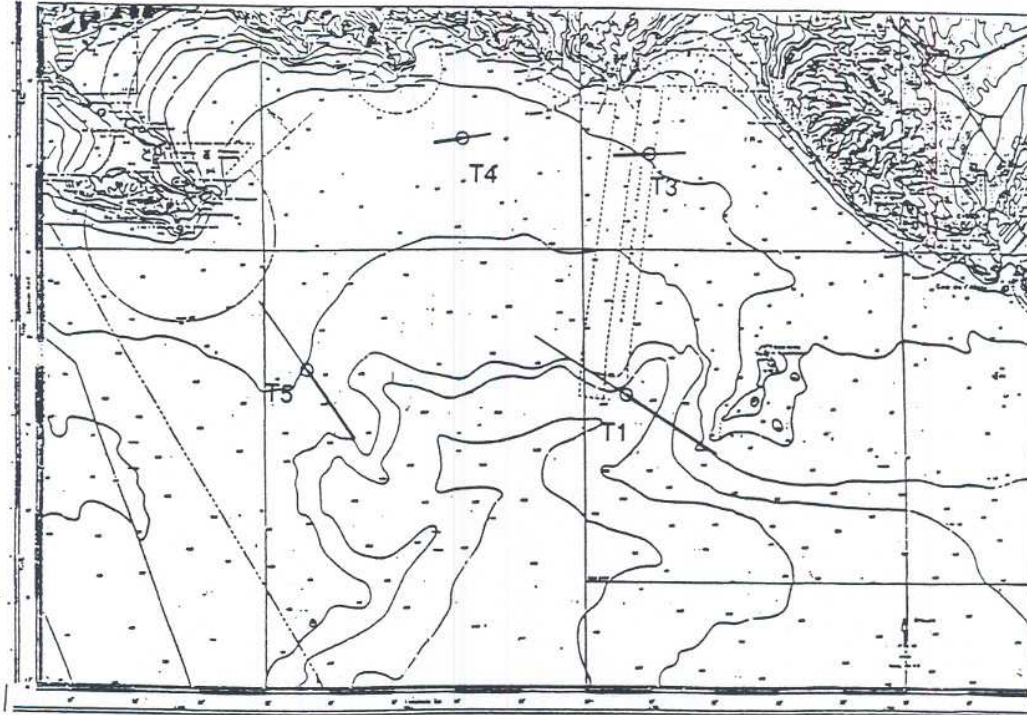
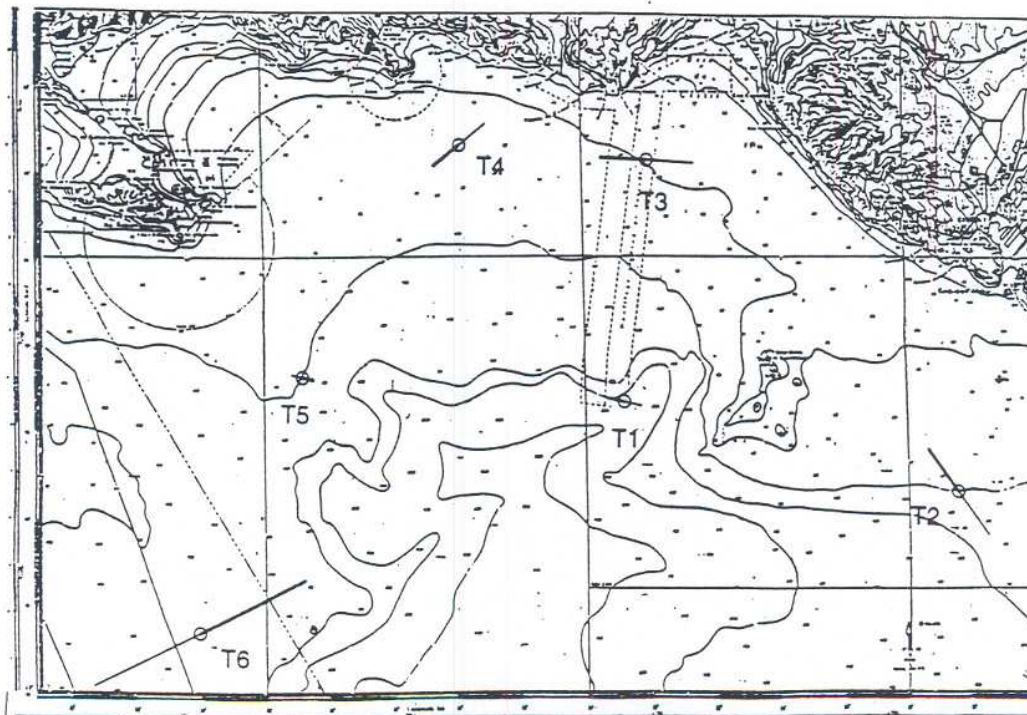


FIGURE 3

Schéma de circulation au printemps-été et en automne-hiver déduits des modes 1 et 2, le sens de l'écoulement associé à un trait épais (resp. fin) correspondant à une valeur positive (resp. négative) de l'amplitude modale E_U .

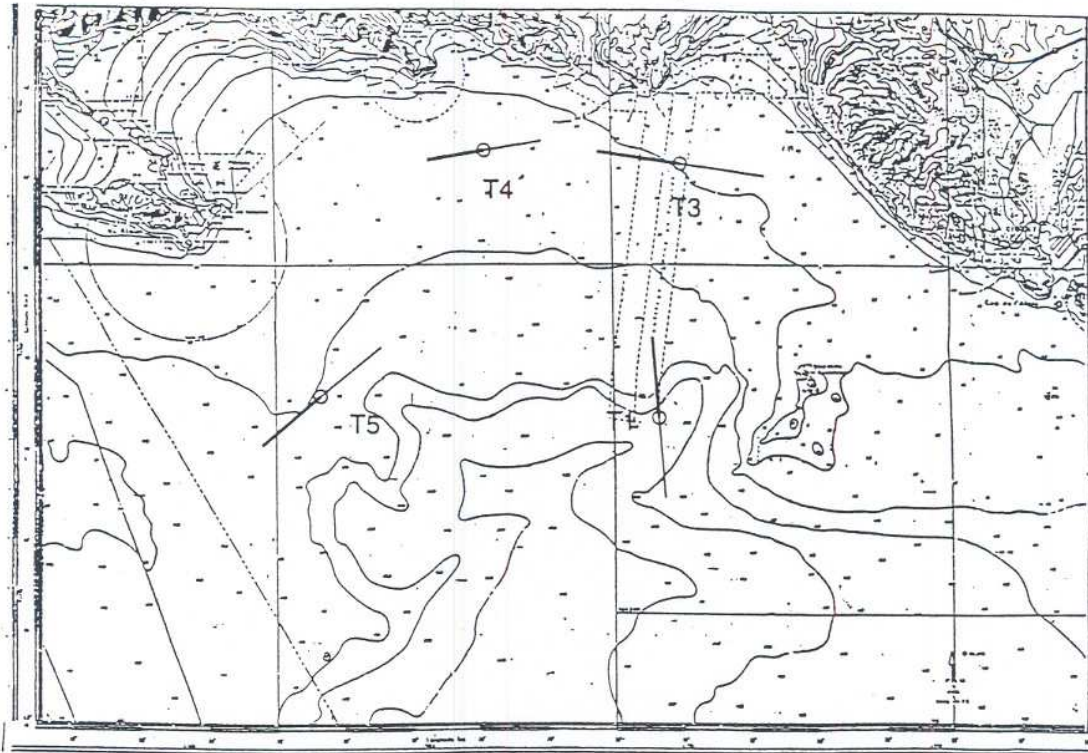


TURBIN Leg 1 EOF MODE 2

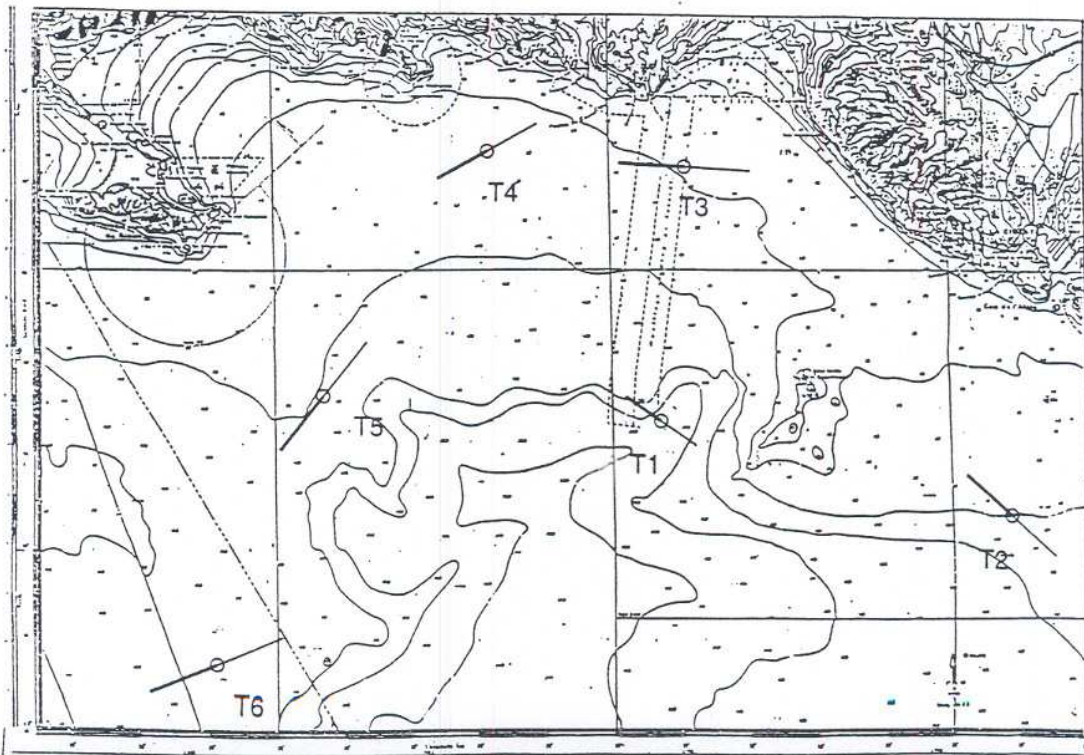


TURBIN Leg 2 EOF MODE 2

FIGURE 3 (Suite)



TURBIN Leg 1 EOF MODE 1



TURBIN Leg 2 EOF MODE 1

L'analyse a également montré que les régimes de vent (Mistral et Est) étaient corrélés avec l'un et l'autre de ces schémas, essentiellement lorsque la stratification dans la baie est faible (phénomène d'upwelling au printemps-été, tout le temps en automne-hiver). On peut donc raisonnablement prédire, la plupart du temps, les grandes lignes de la circulation sur le plateau en fonction des conditions météorologiques. Dans l'état actuel de notre analyse, compte tenu de la complexité des phénomènes (stratification, turbulences de petite échelle, variabilité spatio-temporelle), de l'influence probablement grande de la circulation générale, et sans l'aide de la modélisation, nous sommes incapables de prédire l'occurrence des pointes de vitesses mesurées.

Les résultats préliminaires (sans l'aide de la modélisation), déduits de l'analyse relativement sophistiquée qui a été faite à partir des données hydrodynamiques de la campagne TURBIN, répondent donc d'ores et déjà aux principales questions posées lors de l'établissement du contrat.

Commentaires : confronter les résultats de mesures avec les simulations du CETIIS et les conditions météorologiques. Les courants verticaux peuvent-ils renseigner sur les remise en suspension des sédiments ?

1. 2. 1. Campagne de piégeage de particules sur le plateau continental au nord du Canyon de Cassidaigne : analyse granulométrique et chimique (Rapport de A. Arnoux, mars 1997).

La tourelle sur laquelle sont fixées les godets des pièges est transportée au laboratoire, après repos au réfrigérateur pendant 24 h, la mesure du volume apparent du contenu des godets et les observations sur l'aspect, la couleur et l'odeur du matériel décanté ont été effectués. Des analyses microgranulométriques, des matières calcinables à 550 °C et des métaux : titane, vanadium, aluminium, fer, manganèse, chrome, plomb, cuivre et zinc, ont été exécutées. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus auparavant lors de campagnes réalisées dans la même région.

Les matériaux collectés dans les pièges sont d'origine très diverses : plancton et sédiment. Ce dernier peut provenir de matériel érodé provenant soit du bassin versant arrivant dans le milieu marin par ruissellement soit des fonds marins, de matériel remis en suspension ou enfin de rejets dont les boues rouges, et autres rejets de stations d'épuration ou d'activités industrielles ou portuaires. En définitive, le matériel piégé et analysé dans les pièges représente un mélange de composition très variable dans lequel la contribution des boues rouges ne sera possible à identifier que si l'on observe une évolution simultanée et proportionnelle équilibrée de l'ensemble des marqueurs de ce rejet comme cela s'observe dans les sédiments superficiels du talus continental.

Le volume de sédiment piégé apparaît très variable selon les semaines (de quelques ml à environ 125 ml : de 0 à plus de 25 g) ; le piège 1 dans l'est du canyon est plus riche que le piège 2 situé dans

l'ouest du canyon dans lequel les quantités de sédiments piégés sont très faibles voire nulles à l'exception des deux premiers godets de la première série.

Les sédiments récoltés au cours de la première série (avril-novembre 1995) est constitué de plancton, de vases et de floculats ; ceux de la seconde série (décembre 1995-mai 1996) correspondent à du sédiment noir réduit, les 15 premiers ne dégagent aucune odeur, par contre celle des trois suivants était franchement putride.

Durant la première série, les apports sont extrêmement fluctuants, de 0 à plusieurs g, la sédimentation supérieure à 10 g se fait par épisode bien individualisé de courte durée (juin 1995) d'autres plus longs (fin août à octobre 1995). Pendant la seconde série, la sédimentation devient permanente : les apports croissent depuis un minimum de 1,2 g fin décembre à un maximum de près de 27 g au début de mars 1996. La courbe d'accumulation (Figure 4) suggère l'existence d'un phénomène saisonnier dans la récolte des sédiments piégés. Il convient de remarquer qu'en cumulant les poids hebdomadaires déduits d'une courbe gaussienne théorique, on obtient une masse de 45 g voisine de celle trouvée dans le godet 18 ayant cumulé les apports pendant les cinq dernières semaines du suivi.

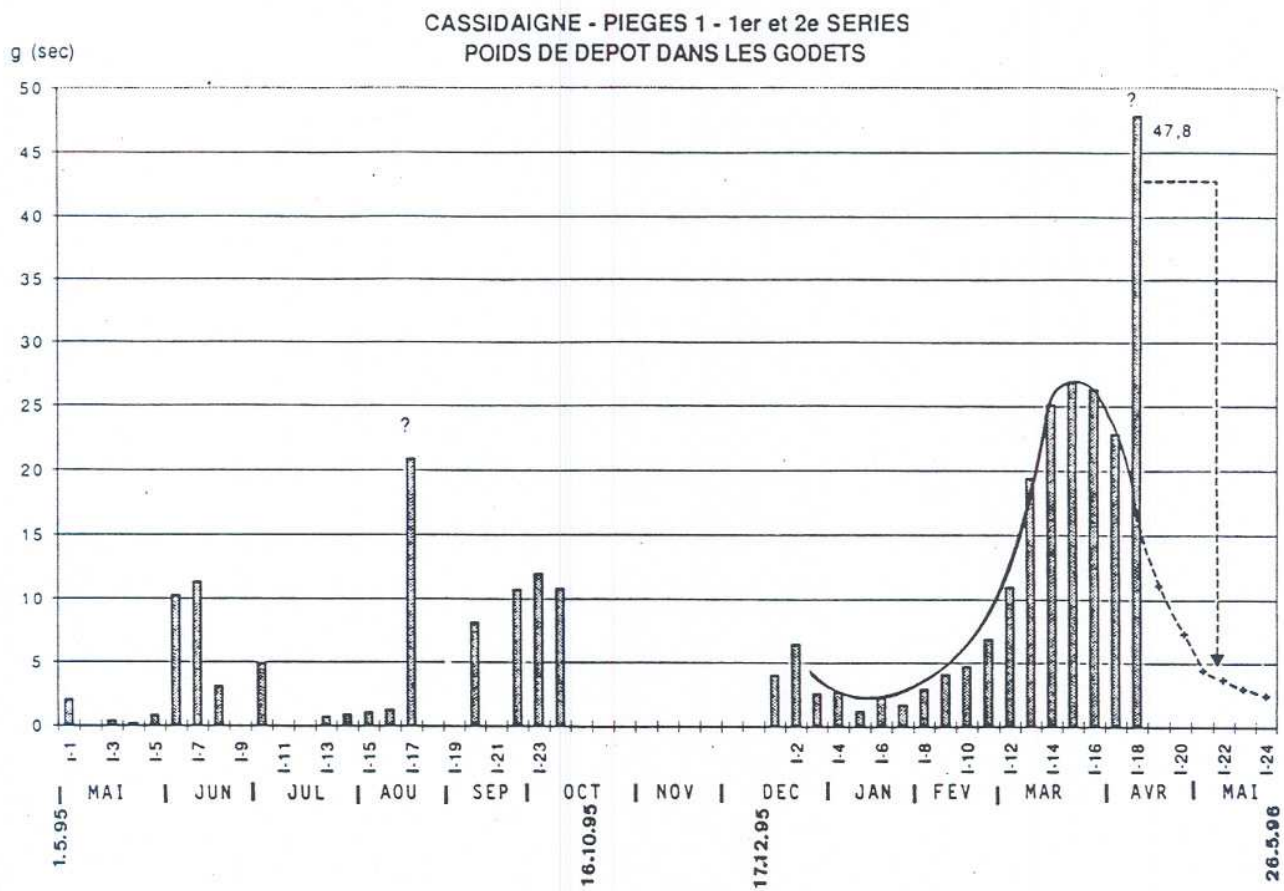
L'évolution microgranulométrique des dépôts piégés met en évidence le passage, par étapes successives, à des distributions différentes. Au début de la première série, le matériel est franchement grossier avec une dominance des particules supérieures à 100 μm . Ensuite les dépôts sont caractérisés par une distribution dans laquelle trois groupes s'individualisent : un dominant ($< 10 \mu\text{m}$), un intermédiaire compris entre 40 et 50 μm et un minoritaire nettement individualisé compris entre 200 et 300 μm . Au cours de la seconde série, le matériel est plus homogène avec un pic entre 10 et 20 μm et un épaulement bien marqué traduisant une contribution relativement importante des particules inférieures à 4 μm .

La matière calcinable peut atteindre 50 % du matériel récolté comme dans les trois premiers godets dans lesquels le matériel sédimenté est essentiellement représenté par des organismes planctoniques, dans les suivants les taux sont compris entre 25 et 30 %, dans les derniers de la première série et dans la seconde série aucune valeur n'excède 25 %.

L'analyse des métaux et en particulier des Ti, Va et Mn mesurées dans les sédiments piégés ne permet pas de conclure à une contribution des boues rouges, les données acquises et les rapports calculés ne conduisant pas à des conclusions significatives. Seul subsiste un doute durant les premières semaines de janvier étant entendu qu'il s'agirait d'une remontée d'un matériel déposé en tête de canyon et dans lequel la contribution des boues rouges serait modeste. Les acquis antérieurs obtenus lors de campagnes de prélèvements de 1983 à 1991 dans la région sud Cassidaigne donne également des valeurs de références par rapport à celles mesurées dans les pièges. Par exemple, il existe une auréole de concentration de titane décroissante au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'émissaire du canyon de Cassis. L'identité de composition des teneurs et des éléments mesurés dans les sédiments piégés et dans

FIGURE 4

Poids sec de dépôt par godet durant les deux séries d'immersion du pièges 1.



les sédiments avoisinants, notamment ceux de la grotte de Trémies s'ouvrant à 10 m de profondeur à l'extrémité ouest de la Baie de Cassis, témoigne d'une origine dont le titane industriel semble exclu.

Commentaires : l'origine du matériel piégé dans les collecteurs est à rechercher. Une interprétation des différences entre les deux pièges est également à fournir.

I. 3. Récifs artificiels : étude de la colonisation (Rapport de G. Harmelin, mars 1997).

Une étude basée sur des expérimentations en mer, menée à la demande des marins-pêcheurs, a été entreprise en 1995 selon deux volets :

1. Tester la résistance mécanique des matériaux dans des conditions d'immersion imposant des contraintes hydrodynamiques relativement fortes.
2. Tester l'aptitude des matériaux en tant que substrats de colonisation pour la flore et la faune marine.

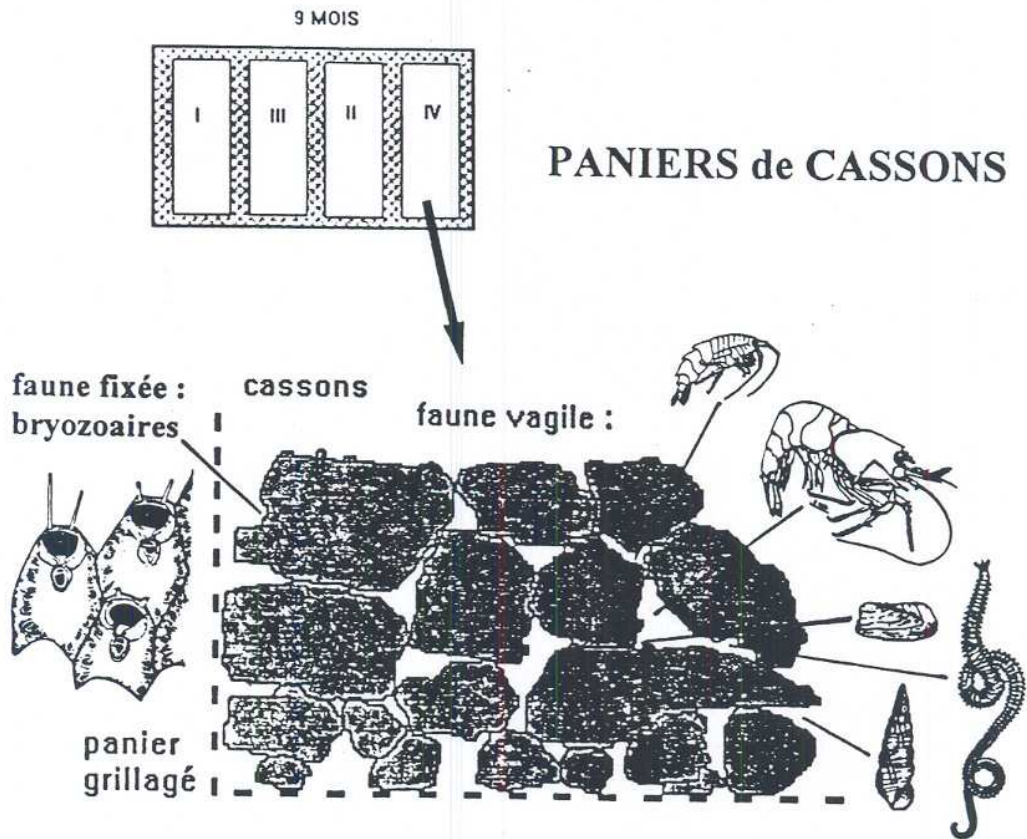
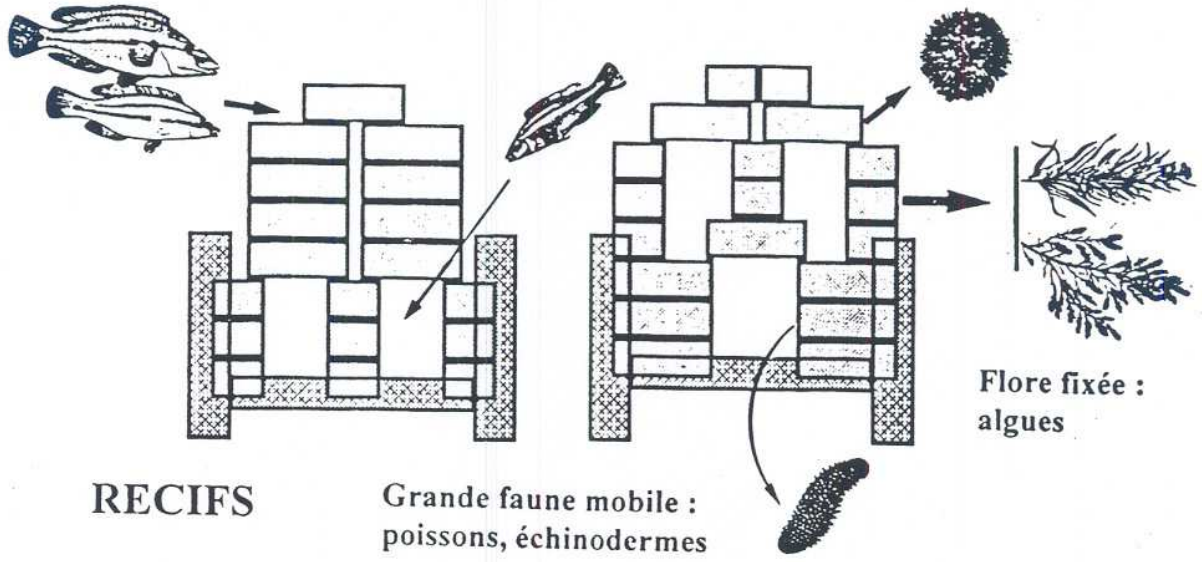
Cette expérimentation a été mise en place en février 1995 à une profondeur de 15 m dans la zone protégée de Carry-Le Rouet (concession de culture marine du Parc Régional Marin de la Côte Bleue) et s'est poursuivie jusqu'au début 1997. La partie concernant la résistance mécanique a été confiée à High-Tech et la seconde au Centre Océanologique de Marseille sous la responsabilité de Georges HARMELIN, Directeur de Recherche du Centre National de la recherche Scientifique.

Le principe général de l'expérimentation biologique était de tester si la colonisation par les organismes benthiques était similaire par sa nature et son intensité sur des structures fabriquées avec des matériaux Péchiney et sur des structures de référence, fabriquées en matériaux traditionnels, déjà utilisés pour des récifs artificiels. Pour être complète, cette évaluation de l'efficacité biologique sur substrats artificiels a pris en compte les poissons, les grands invertébrés mobiles comme les oursins, des petits invertébrés mobiles comme les crevettes et les vers annélides polychètes, et enfin la faune et la flore fixées sur les parois des récifs (Figure 5). Deux types de structure expérimentale ont été réalisées :

- i) Des petits récifs, conçus et réalisés par Péchiney-Gardanne, pouvant offrir à la fois des surfaces planes pour la flore et la faune fixées et leurs consommateurs (oursins) et des chambres ouvertes pouvant être occupées par des poissons et d'autres organismes mobiles. Huit récifs ont été immergés, deux répliques A et B, quatre matériaux : brique réfractaire, ciment, mélange Cerchar et mélange route. Le mélange Cerchar A a été enlevé au début de mai 1995 en raison de son effritement ; un second mélange Cerchar B a été immergé au cours de l'été. Le poids des récifs allait de 120 kg (mélanges Péchiney) à 205 kg (ciment) ; ils ont montré une très bonne tenue au fond malgré des tempêtes d'est.

FIGURE 5

Grandes catégories de colonisateurs utilisant les habitats fournis par les deux types de structures expérimentales.



ii) Des paniers de cassons, fragments des différents matériaux à tester. Leur accumulation, comparable à des éboulis de pierres, crée des interstices offrant des abris à la petite faune mobile et des surfaces à coloniser par la faune fixée (bryozoaires, vers annélides serpulides). Seize cassons (4 racks de 4 paniers) constitués des mêmes matériaux que les récifs ont été immergés en début d'expérimentation avec deux temps d'immersion cinq mois et neuf mois. Le mélange Cerchar B a été comparé au ciment pendant une période d'immersion de sept mois (août 1995-mars 1996) à partir de 8 paniers.

Les résultats sont disponibles dans le rapport final fourni en mars 1997. Il est résumé ci-dessous les principaux enseignements de cette expérimentation qui s'est déroulée sur près de deux ans et a nécessité 27 plongées.

* Trente deux espèces de poissons ont été observées dans ou à proximité immédiate des récifs. Il n'y a pas de différences significatives de composition de la faune et la fréquence de présence d'espèces entre les récifs fabriqués en mélange Péchiney « Route » et sur ceux de référence en Ciment (Figure 6). On observe les mêmes comportements de nidification et de prise de nourriture sur la couverture biologique des parois.

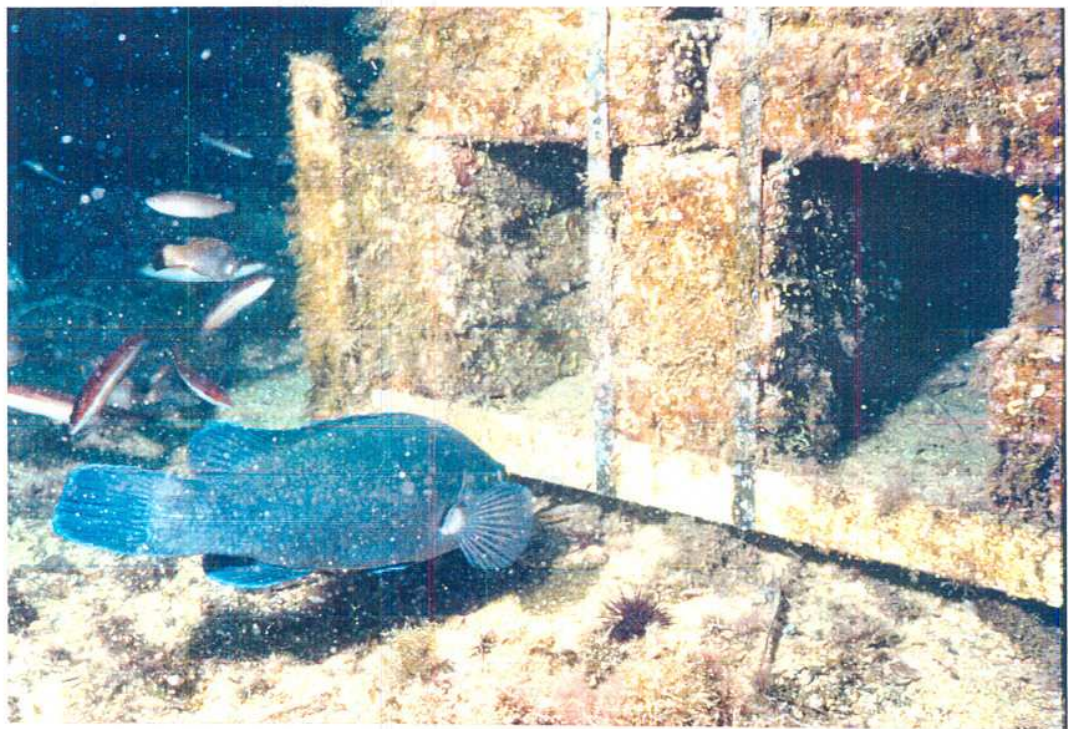
* La petite faune mobile est composée majoritairement de Crustacés, de Mollusques et de vers Polychètes qui vivent dans les interstices des amas de cassons. Elle est très riche dans tous les cas (15427 individus au total ont été comptés pour les trois séries d'immersion de 5, 7 et 9 mois). La richesse en espèces est légèrement inférieure dans les cassons du mélange route par rapport aux cassons de référence, mais ces différences ne sont pas significatives statistiquement. Elles pourraient être dues à la taille différente des cassons lesquels sont statistiquement plus grands chez les cassons route.

Le nombre des individus des trois principaux groupes zoologiques fréquentant les cassons (Crustacés, Mollusques et Polychètes) ne présentent pas de différences significative entre les différents types de cassons au bout de 9 neuf mois de colonisation. Toutefois, le nombre de mollusques comptés dans les cassons route est inférieur à celui des autres types de cassons, cependant cette différence est due à l'abondance plus forte du bivalve foreur *Hiatella* qui pourrait être restée incluse dans les cassons route.

La faune et la faune fixée est dominée par des grandes algues molles et des bryozoaires. La couverture d'algues molles, quantifiées à partir de macrophotographies des parois des récifs, s'est développée avec la même intensité, en particulier lors de la poussée printanière, sur les trois types de récifs (route, brique et ciment). Cette expansion des algues molles a masqué partiellement les autres composants de l'épibiose (principalement annélides serpulides, bryozoaires et algues calcifiées) ce qui rend peu fiable l'interprétation quantitative sur ceux-ci. La faune des bryozoaires établie sur les cassons est composée d'une quarantaine d'espèces. Elle présente un nombre d'espèces et un nombre de colonies plus faibles sur les substrats Péchiney que sur la brique ou le ciment. Cependant, ces différences

FIGURE 6

Récifs artificiels après un an et demi d'immersion



touchent peu les espèces dominantes. La microstructure des substrats, très fine pour le substrat route pourrait être la raison de cette différence. Toutefois il n'y a pas de différences de croissance des colonies des espèces dominantes sur les différents types de substrats.

En conclusion, le substrat route, fabriqué avec une teneur importante de R.I. offre des qualités convenables comme substrat pour la colonisation par les organismes marins. Sa couverture algale a montré une dynamique tout à fait comparable à celle des substrats de référence. Les poissons et les oursins ont fréquenté indifféremment tous les types de substrat testés. La petite faune mobile des interstices est très riche dans les cassons route et les différences de colonisation observés pour certaines catégories faunistiques pourraient être imputées à des différences de dimensions des interstices entre les cassons. La couverture souvent plus faible en bryozoaires fixés sur les cassons route est sans doute due à des différences de structure, mais ce phénomène observé à un stade précoce de la colonisation (9 mois) peut être considéré comme transitoire, la texture originelle des substrats étant modifiée au fil du temps par les organismes marins encroûtants calcifiés et devenant de plus en plus favorable à la colonisation.

Les tests de résistance mécanique des mélanges Cerchar et route ainsi que du ciment et brique réfractaire montrent une grande variabilité des résultats par rapport au temps, sans tendance particulière pour tous les éléments testés.

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

L'usine Aluminium Péchiney de Gardanne développe depuis plusieurs années toute une gamme de voies d'utilisation des résidus inertes de bauxite en s'étant fixée deux lignes de conduite :

(i) abandon de tout procédé qui produirait de nouveaux résidus nuisibles pour l'environnement ;

et (ii) recherche de projets et solutions techniques qui favorise un meilleur emploi quantitatif des résidus inertes.

En parallèle d'actions anciennes ou plus récentes rappelées ci dessous (voir aussi le tableau récapitulatif des emplois des Résidus Inertes) A.P. Gardanne a développé aux cours des deux dernières années trois projets qui méritent d'être commentés plus en détail.

II. 1. Rappel des actions en cours (voir tableaux récapitulatifs ci-après : Travaux et essais - Résultats de 1996 suivi des opérations en cours et figure 7 : route expérimentale, figure 7 : essai de couverture de la décharge d'Entressen, figure 8 : plantations à l'entrée de l'usine au printemps 1996).

TRAVAUX ET ESSAIS - RESULTATS DE 1996
SUIVI DES OPERATIONS EN COURS (suite)

HORTICULTURE	COUVERTURE DE DECHARGES
<p>↳ Après 2 ans</p> <ul style="list-style-type: none"> - Croissance végétale Très satisfaisante . Amélioration avec mélange de matières organiques <p>- Qualité eaux d'infiltration ph < 9,5 Cr < 0,001 Na > 150 mg/l</p> <p>- Rapport ECOTECHNOLOGIE Décembre 1996</p>	<p>↳ Expérimentation sur ENTRESSEN depuis Octobre 1995</p> <ul style="list-style-type: none"> - Développement végétal satisfaisant - Essai géotechniques <ul style="list-style-type: none"> . perméabilité 10⁻⁷ à 10⁻⁹ m/s . plasticité élevée . bonne tenue aux tassements . angle de frottement 37° <p>↳ Qualité des eaux de percolation</p> <p>Valeurs comparables à nos essais</p> <p>↳ Poursuite des contrôles par SCP jusque Juillet 1997</p>

TRAVAUX ET ESSAIS - RESULTATS DE 1996
SUIVI DES OPERATIONS EN COURS

ROUTE EXPERIMENTALE	RECIFS ARTIFICIELS
<p>⇒ Travaux réalisés été 1995</p> <p>⇒ Mise en service le 10 Juin 1996</p> <p>⇒ Essais environnementaux en cours chez ANTEA . rapport intermédiaire fin décembre 1996</p> <p>⇒ Eaux de percolation . résultat satisfaisants . éléments analyses inférieurs aux valeurs limites des rejets</p> <p>⇒ Essais mécaniques CETE programme autoroutier Décembre 1996</p> <p>⇒ Contrats ADEME - FIBM prolongation 1 an.</p> <p>⇒ Contrat coopération APRERI + 1 an</p>	<p>⇒ Après 1 an 1/2 immersion</p> <p>- Bonne tenue mécanique . mélange P4 (St Hilaire) . mélange Cerchar 5</p> <p>- Rapport Hightech Décembre 1996</p> <p>- Colonisation flore et faune très satisfaisante</p> <p>- Rapport COM Décembre 1996</p> <p>- Immersion de blocs de couche de forme</p> <p>⇒ Après 2 mois</p> <p>Rc = Rc to</p>
<p>Bon comportement remblai et couche de forme</p>	

FIGURE 7

Photo supérieure : route expérimentale de Bramefan en juillet 1196

Photo inférieure : essai de couverture de la décharge d'Entressen au printemps 1996.

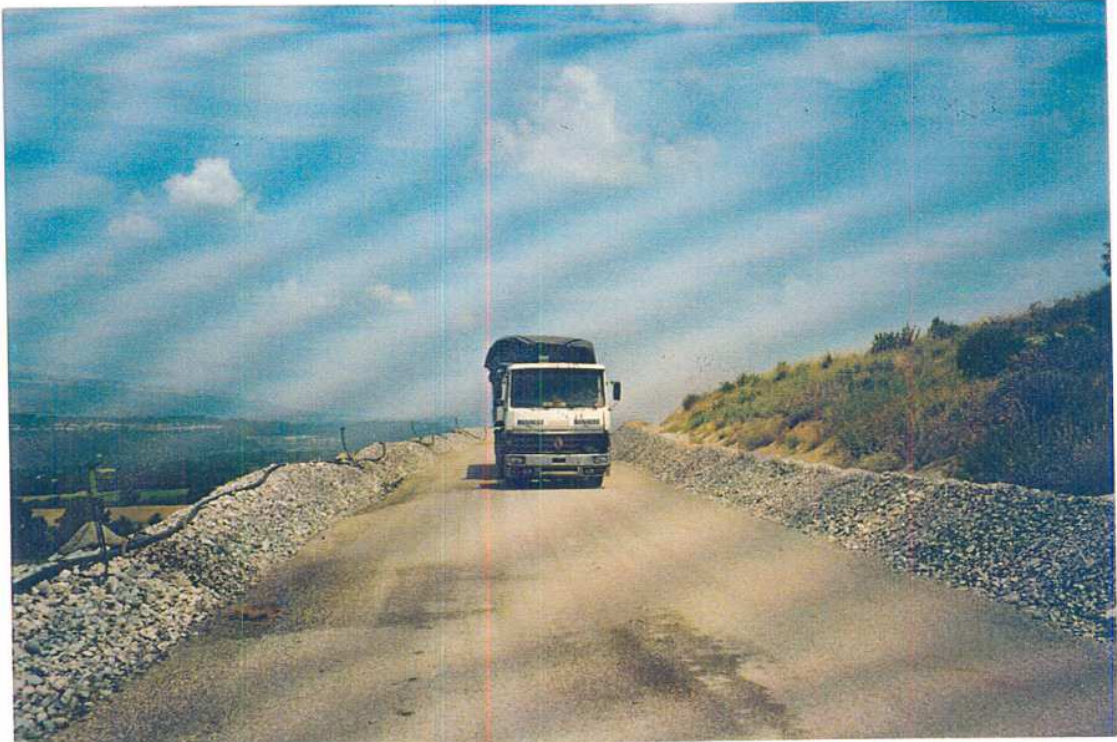


FIGURE 8

Horticulture : plantations à l'entrée de l'Usine Péchiney Gardanne au printemps 1996.



II. 2. Opérations engagées en 1996

II. 2. 1. Essais avec la Société PERASSO

Objectifs : Fabrication de bordures de jardins et de trottoirs (utilisation de 400 kg de résidus secs désagglomérés)

Résultats : Possibilité de remplacer jusqu'à 30 % en poids de ciment par des R.I.

II. 2. 2. Coulis d'injection pour étanchéité société BACHY

Objectifs : Etablissement d'un programme d'essais pour tester les possibilités d'injection, d'étanchéité et de consolidation (accord de collaboration et de confidentialité).

Résultats : Remplacement possible de la bentonite par des R.I. (apport pondéral jusqu'à 40 %) par utilisation du matériau en vrac type terre. Gain notable de la résistance à la compression du mélange Ciment + R.I. par rapport au mélange ciment + bentonite. Gain économique : sur la base de R.I. de 50 F / tonne sur la région de Marseille, le gain serait de l'ordre de 60 %.

II. 2. 3. Plateaux pour tirs aux pigeons d'argiles

Objectifs : utiliser des R.I. en remplacement de la calcite dans la fabrication de plateaux pour le Ball Trap. Essais réalisés avec le concours du CRVM de Nancy (accord de collaboration et de confidentialité).

Résultats : Résultats satisfaisants avec des mélanges de 85 à 90 % de R.I. et de 10 à 15 % de ciment. Il demeure des difficultés pour résoudre le problème de moulage (forme « Swing trap »).

II. 2. 4. Couverture de décharge

i) Terril du Défends - HBCM. Essai de couverture et de végétalisation courant novembre 1996 sur une surface de 2000 m² avec une utilisation de 2000 tonnes de R.I.

ii) Centre d'enfouissement technique de la ville de Gardanne. Accord de la DRIRE et de la DDE pour un essai pilote de couverture et végétalisation avec emploi de R.I. (surface de 7000 m² avec une utilisation de 10000 tonnes de R.I.). Rédaction d'un protocole entre AP/SEMAG/ONYX. Possibilités de subventions de l'Agence de l'Eau (début des travaux au 1er semestre 1997).

II. 2. 5. Divers

Publication d'une brochure « L'emploi des Résidus Inertes, un enjeu pour demain ».

Projet BRITE EURAM avec INSA Lyon déposé à Bruxelles, non retenu.

III. Travaux non réalisés

Par rapport à l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994, la recherche des effets sur l'activité de pêche n'a pas été encore entreprise ; cette étude n'a pas pu être réalisée depuis 1994, faute d'avoir pu définir la stratégie d'échantillonnage avec les pêcheurs. Cette campagne doit se faire impérativement de concert avec les pêcheurs. Une réunion devait être organisée initialement au cours du premier semestre 1996 entre les pêcheurs, les Affaires Maritimes, IFREMER, A.P. Le chef de quartier des A.M. pourrait être l'organisateur de cette concertation qui devrait avoir lieu impérativement en 1997.

IV. Programme de recherches 1997

IV. 1. Emplois des résidus

D'autres voies d'emplois sont également en cours d'études, notamment : (i) stabilisation de résidus urbains, (ii) utilisation des R.I. dans les coulis, et (iii) remblayage de travaux souterrains. A terme plusieurs milliers de tonnes des Résidus Inertes pourraient être utilisés.

Les perspectives 1997 seront engagées en respect de l'engagement de progrès auprès du Ministère de l'Environnement et en privilégiant les actions régionales et les domaines d'application à de gros tonnages.

IV. 1. 1. Environnement continental : couvertures et réhabilitation de décharges

Décharge de Gardanne (1,5 ha de couverture sur une épaisseur de 1 m, soit un tonnage de R.I. de 22000 tonnes).

Décharge d'Entressen (1 ha de couverture sur une épaisseur de 0,70 m, soit un tonnage de R.I. de 10000 tonnes), problème de coût du matériau à fournir. En 1998 et 1999 : de 30000 à 50000 tonnes de R.I. pourraient être utilisés.

Terrils des HBCM (couverture et réhabilitation de 6 ha, perspectives d'utilisation de 50 % de R.I. soit de 30000 à 40000 tonnes).

Décharge d'Arles. Contact à prendre avec la mairie.

IV. 1.2. Environnement sous-marin

Réalisation de 100 à 200 tonnes de blocs de R.I. pour immersion à partir d'un mélange couche de forme (R.I. + 10 % de Cendres Volantes).

IV. 1.3. B.T.P.

Coulis d'injection pour étanchéité et comblement de cavités souterraines : poursuite des essais avec la Société BACHY (mélanges ciment + R.I.). Programme d'essais avec EDF pour la mise au point d'un mélange R.I. + Cendres Volantes.

Bâtiment : maintien des contacts avec PERASSO (développement commercial) et avec COVERLAND (utilisation de R.I. en 1997).

IV. 2. Autres études

IV. 2. 1. Extension des R.I. et évolution de la macrofaune benthique

Conformément à l'article 5.1 de l'arrêté du 24 mai 1994 et notamment de l'article 5-1-1 : Suivi de l'extension du dépôt et de son épaisseur par prélèvements de sédiments ou tout autre méthode adaptée qui pourrait être mise au point. 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 références. Ces opérations seront réalisées tous les cinq ans ; la première campagne sera reconduite en 1997 et devra être terminée avant le 31 décembre 1997.

La campagne aura lieu en septembre 1997 sur le N.O. de l'IFREMER le Suroît (même saison que les échantillons précédents) avec le carottier USNEL. Outre les 12 stations échantillonnées en 1991 ; l'emprise vers l'ouest et vers le sud-est, pour connaître l'extension maximale du dépôt, sera réalisée sur des stations bathyales et des stations du plateau continental. Soit deux stations vers 100 m sur le plateau continental, et deux stations bathyales (1000 et 2000 m au sud du Planier et deux stations profondes vers 2000 m vers le sud-est).

La composition faunistique de la macrofaune sera étudiée seulement sur des stations témoins ; le Carbone Organique, la proportion des particules fines et les analyses géochimiques (Ti, Cr, Va, Mn) seront déterminées dans chaque station pour identifier la signature des R.I. Un plan détaillé de la campagne devra être disponible pour le premier semestre 1997.

IV. 2.2. Toxicité des boues

Conformément à l'article 2-2 de l'arrêté du 1 juillet 1996, le service d'Ecotoxicologie de la Faculté de Pharmacie de Nantes (Responsable Dr J.C. Amiard), après avoir été sollicité par le Président du C.S.S., a fait une proposition d'études sur l'évaluation de la biodisponibilité et l'évaluation de la bioaccumulation du Cr et du Va.

Les commentaires du C.S.S de fin novembre 1996 sur la première proposition sont résumés dans les recommandations. Cependant, comme il avait été convenu lors de cette réunion, un Comité Scientifique de Suivi restreint mais élargi à deux experts extérieurs de l'IFREMER a été convoqué le 3 février 1997 afin d'examiner la seconde proposition du service d'écotoxicologie de la Faculté de Pharmacie de Nantes : Etude de l'effet d'un effluent sur le milieu marin.

Cette proposition de programme de recherches comporte en fait trois parties :

- Evaluation de la biodisponibilité à l'aide de test *in vitro* ;
- Evaluation de l'écotoxicologie globale d'un effluent liquide ;
- Evaluation de l'écotoxicologie globale des sédiments en place.

Après une analyse détaillée de la nouvelle proposition, il a été retenu de privilégier en 1997 l'étude de toxicité globale à partir de sédiment prélevé en place (à recueillir au cours de la mission en mer de septembre 1997). L'étude de bioaccumulation devra être entreprise en 1998. Le couplage de cette opération avec la campagne de prélèvement en mer apparaît indispensable compte tenu de la possibilité d'échantillonner du sédiment dans de nombreuses stations avec un engin approprié aux prélèvements profonds de sédiment très fins.

Le C.S.S. prend les décisions ci dessous :

La proposition finale du programme « Evaluation de l'écotoxicologie globale des sédiments en place » devra être déposée le 31 mars 1997 ; elle devra s'intégrer à la campagne de prélèvement et inclure les étapes suivantes :

Echantillonnage 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.

Echantillonnage de sédiment dans au moins cinq 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 :

Test microtox à partir de sédiment provenant de l'ensemble des stations échantillonnées au cours de la campagne.

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 l'ensemble des stations échantillonnées au cours de la campagne.

Test sur développement larvaire (oursin, huître ou moule) à partir de sédiment provenant de l'ensemble des stations échantillonnées au cours de la campagne.

Spéciation du Chrome et du Vanadium à partir de sédiment des trois stations de l'axe du chenal.

Les premiers résultats devront être disponibles pour la réunion du Comité Scientifique de Suivi de novembre 1997 et les résultats finaux pour la fin du premier trimestre 1998.

Recommandations du Comité Scientifique de Suivi

Le Comité Scientifique de Suivi souligne la diversité des voies d'études entreprises par A.P. sur le devenir en mer des R.I. et sur l'emploi des R.I. Le C.S.S. approuve le bon déroulement des études qui sont le plus souvent novatrices et réalisées à une échelle suffisamment grande. De même, les durées des travaux et des expérimentations sont suffisamment longues pour donner des résultats significatifs. Enfin le C.S.S. apprécie la qualité de l'information fournie pour analyser les travaux entrepris.

Le C.S.S. apprécie que les recommandations proposées en 1995 aient été suivies d'effets dans :

- * la mise en place de témoins dans les essais agronomiques ;
- * l'augmentation du nombre d'éprouvettes immergées dans l'action Récifs artificiels afin d'étudier la variabilité inter-échantillons ;

- * l'analyse des événements météorologiques de 1981 ;
- * l'organisation de la campagne 1997 au début de l'automne.

Le C.S.S. recommande :

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 inertes.

L'obtention d'un complément d'information sur le protocole utilisé dans le projet d'études de biodisponibilité ainsi que des précisions sur l'échéancier. Il demande le report de l'étude de bioaccumulation en 1998 ; en revanche, une étude de toxicité globale à partir de sédiment en place (à prélever au cours de la mission en mer de septembre 1997) et d'effluent prélevé à la sortie de l'usine de Gardanne, préalablement mis en équilibre en eau de mer, devra être conduite dès 1997. Le fil conducteur et les étapes du programme devront également être précisés.

La tenue, dès le début de 1997, d'une réunion de concertation (pêcheurs, Affaires Maritimes, IFREMER, A.P) pour finaliser une étude dans le milieu sur les effets pêche. Le C.S.S. souhaite qu'un de ses membres participe à cette réunion. La campagne de prélèvements devra se faire impérativement de concert avec les pêcheurs. Le chef de quartier des Affaires Maritimes pourrait être l'organisateur de cette concertation.

La poursuite des travaux de recherches d'emploi des RI et le passage pour certains d'entre eux à une phase d'utilisation industrielle après avoir obtenu les autorisations d'utilisation (routes, récifs artificiels, ...).

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'assistant plus au C.S.S.

Paris le 15 avril 1997

Jean-Claude DAUVIN

Professeur du Muséum National d'Histoire Naturelle

Président du Comité Scientifique de Suivi