

RAPPORT ANNUEL 1998

DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI

RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE
(BAUXALINE)

AP GARDANNE

WIMEREUX le 22 février 1999

RAPPORT ANNUEL 1998 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE (BAUXALINE) AP GARDANNE

Réglementation des installations classées

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

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

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

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

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

L'article 2-2 de l'arrêté du 1 juillet 1996 complétant l'arrêté 24 mai 1994 indique « La société Aluminium Pechiney proposera au service chargé de la police des eaux et à l'inspecteur des Installations classées un programme d'étude relative à la toxicité des résidus et notamment à leur persistance, accumulation, interaction et effet sur l'écosystème marin. Une attention particulière sera portée sur la 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.

Rapport 1998

Les travaux entrepris en 1998 portent comme les années précédentes sur deux domaines bien distincts :

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

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

Etudes granulométrique et chimique des sédiments dans le secteur du canyon de Cassidaigne campagne ALPESUR 1997 (Rapport A. ARNOUX).

I. Préambule

Sur le plan chimique, les données existantes proviennent de deux campagnes effectuées l'une en 1991 de part et d'autre du canyon de Cassidaigne, et l'autre de piégeage de particules entre mai 1995 à mai 1996, ces données peuvent être comparées à celles plus anciennes (1983) acquises par le LHMA.

Sans revenir sur les résultats de ces différentes études qui figurent dans des rapports détaillés, seront retenues les principales conclusions qui justifient la réalisation de la dernière campagne. Le rejet de l'usine de Gardanne est constitué par un matériel très fin représenté par plus de 90 % de particules inférieures à 10 μm et plus de 40 % inférieures à 2 μm de couleur rouge. Il est essentiellement constitué de dérivés métalliques (Fer, Aluminium, Titane, Chrome, Vanadium, Manganèse, Plomb, Cuivre). Indépendamment des concentrations absolues de ces métaux dans le rejet, il est plus significatif de comparer ces teneurs avec celles communément décelées dans les sédiments de ce secteur. Ce rapport permet d'établir une hiérarchie permettant de choisir parmi eux des traceurs ou indicateurs de la présence de résidus de traitement de bauxite dans les prélèvements analysés. Le titane, le chrome et le vanadium présentent les rapports les plus élevés : le titane, avec un rapport de 231, semble être l'indicateur le plus spécifique (Tableau I). Toutefois, au dessous d'une concentration en titane de 300 à 250 $\mu\text{g.g}^{-1}$ dans le sédiment total, la différenciation avec des apports naturels ou étrangers au rejet Pechiney, devient aléatoire.

Tableau I. Rapport des concentrations en métaux entre le rejet usine et les sédiments du milieu récepteur.

	REJET USINE	MILIEU RECEPTEUR	RAPPORT REJET/MILIEU
METAUX	$\mu\text{g.g}^{-1}$	$\mu\text{g.g}^{-1}(\text{min.})$	
TITANE	32415	140	231
VANADIUM	1815	56	32,4
CHROME	717	36,4	19,7
FER	184500	22600	8,16
PLOMB	94,5	22,6	4,18
ALUMINIUM	76095	18954	4,01
CUIVRE	38,3	36	1,06
MANGANESE	351	729	0,48

II. Campagne ALPESUR 97

II.1. Objectifs et présentation de la campagne

Il ressort des résultats des campagnes antérieures à 1996 que certains indécisions persistent et nécessitent un complément de recherches concernant plus particulièrement :

- i) la propagation des particules, aussi bien au Sud qu'à l'Est, dont les limites n'ont pas été atteintes au cours de la campagne de 1991,

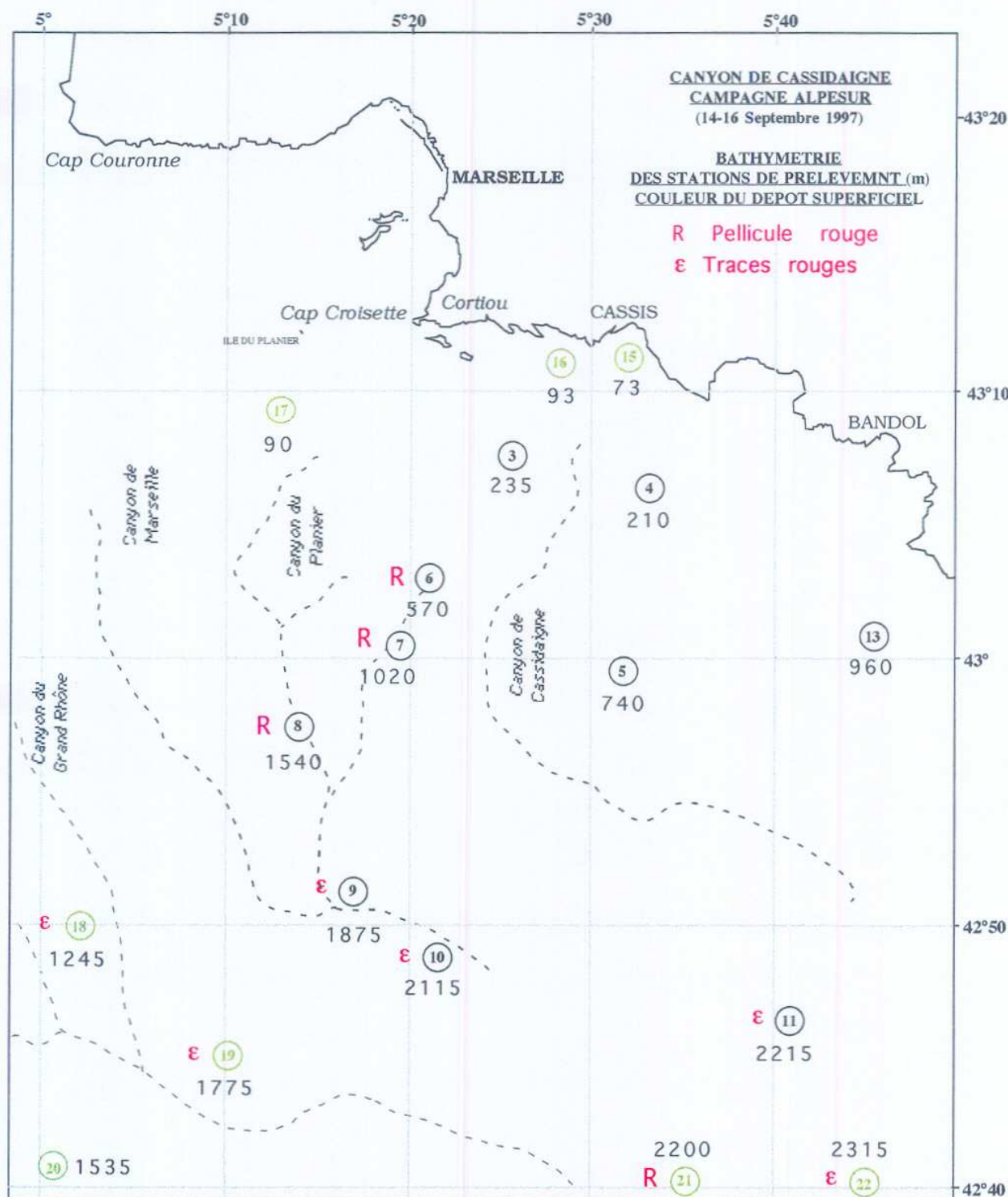


Figure 1. Campagne ALPESUR 1997. Position des points de prélèvements, bathymétrie et aspect du dépôt superficiel.

- ii) la validité des critères d'identification de la présence de résidus de traitement de bauxite qui doit être confirmée ou précisée afin d'éviter des confusions avec d'autres apports sans relation avec le rejet industriel.
- iii) l'évolution éventuelle de la qualité des dépôts superficiels entre 1991 et 1997 dans les zones soumises à la sédimentation des résidus de traitement de bauxite.

Tableau II. Situation et aspect des prélèvements, campagne ALPESUR 1997

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	PROFONDEUR	ASPECT - RESIDUS VISIBLES
PU 03	43° 07 32	05° 25 96	235	Néant
PU 04	43°06 17	05°32 98	210	Néant
PU 05	42°59 40	5°31 82	740	Néant
PU 06	43°02 40	5°20 97	570	Couche très fine sur toute la surface
PU 07	43°00 07	5°19 25	1020	Couche très fine sur toute la surface
PU 08	42°57 36	5°14 05	1540	Traces fines sur toute la surface
PU 09	42°50 95	5°17 06	1875	Traces infimes
PU 10	42°49 17	5°21 95	2115	Traces infimes
PU 11	42°46 17	5°41 11	2215	Taches dispersées
PU 13	43°00 73	5°45 57	960	Néant
PU 15	43°11 03	5°32 12	73	Néant
PU 16	43°11 20	5°27 98	92	Néant
PU 17	43°08 99	5°12 99	90	Néant
PU 18	42°50 04	5°02 04	1245	Légères taches
PU 19	42°45 04	5°10 00	1775	Très légères traces
PU 20	42°39 97	5°00 00	1535	Néant
PU 21	42°40 02	5°34 86	2200	Couche 1,5cm sur toute la surface
PU 22	42°40 00	5°45 01	2315	Traces infimes

Une nouvelle campagne de prélèvements s'est déroulée les 16 et 17 septembre 1997 à partir du N/O Le NOROIT dont l'équipement permet un positionnement très précis des stations et la manipulation d'engins de grande taille.

Le programme initial prévoyant 20 stations de prélèvement, a du être réduit à 18 en raison de l'interdiction d'accès à certaines zones, imposée par la Marine Nationale. Les principales données et observations concernant les prélèvements sont rassemblées dans le tableau II. La position de ces stations est représentée sur une carte (Figure 1), en représentant par des couleurs différentes :

i) les 10 stations communes aux deux campagnes : 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 13

ii) les 8 nouvelles stations situées :

* au Nord, sur des fonds inférieurs à 100 m : stations 15 et 16 au dessus de la tête du canyon de Cassidaigne, station 17, plus occidentale, au Sud de l'île de Planier.

* au Sud, sur des fonds de 1200 à 1800 m dans la partie orientale (stations 18, 19, 20) et de 2200 à 2315 m au sud du canyon.

Il a été tracé sur cette carte le trajet des principaux canyons (Cassidaigne, Planier, Marseille, Grand Rhône). Il est intéressant de constater que les stations 6, 7, 8, 9 et 10 se situe dans le domaine du canyon de Planier, et les stations 18, 19 et 21 dans celui du canyon du Grand Rhône.

II.2. Prélèvements et échantillonnage

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une benne USNEL qui permet de collecter et de remonter, sans trop de perturbation, une carotte sédimentaire de grande dimension. Dès l'arrivée sur le pont du navire, l'eau surnageante est éliminée, et trois tubes en Plexiglas de 6 cm de diamètre et 20 cm

de hauteur sont enfoncés dans une moitié de la carotte. La partie superficielle est ensuite échantillonnée sur l'autre moitié, par raclage sur une épaisseur d'environ un centimètre à l'aide d'une spatule en matière plastique.

Le contenu des carottes secondaires est ensuite refoulé vers la partie supérieure des tubes à l'aide d'un piston et recueilli par tranches de 3 cm, la première (0-3 cm) incluant donc du matériel superficiel. L'échantillon de chaque niveau (0-3, 3-6, 6-9 cm) est obtenu par mélange des tranches correspondantes provenant des 3 carottes secondaires. En définitive, chaque station fournit quatre échantillons qui sont conservés au congélateur à - 20°C, dans des sacs en polyéthylène.

II.3. Analyses

Les résultats de cette campagne devant être comparés à ceux des différentes études antérieures, il a été conservé les mêmes techniques analytiques dont la description a été faite dans les rapports antérieurs. Seuls sont rappelés ici que les principes généraux.

Granulométrie. Les fractions les plus grossières, c. à d. supérieures à 2 mm, 2 à 1 mm et 1 mm à 500 µm sont déterminées par tamisage par voie humide et pesée après dessiccation à 100 °C. La fraction inférieure à 500 µm fait l'objet d'une analyse microgranulométrique laser (MASTERSIZER MALVERN) permettant la détermination de 32 classes de taille de particules entre 0,5 et 500 µm.

Chimie. Sur chaque échantillon, les métaux Al, Fe, Ti, V, Cr, Mn, Pb, Cu et Zn sont mis en solution par digestion de la fraction inférieure à 2 mm dans l'eau régale à 120°C pendant deux heures, sous réfrigérant à reflux. Après filtration, le dosage est réalisé soit par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme air-acétylène (Mn, Pb, Cu, Zn), en flamme protoxyde d'azote-acétylène (Al, Cr), soit par spectrométrie d'émission ICP (Ti, V), soit par spectrométrie d'absorption moléculaire (Fe). En complément de ce programme, et tenant compte de la finesse des particules contenues dans le rejet, il a été effectué les mêmes déterminations chimiques sur la fraction inférieure à 20 µm isolée par tamisage par voie humide et ultrasons d'une partie de l'échantillon de surface.

II.4. Bilan de la campagne 1997

II.4.1. Couleur des sédiments

L'essentiel des observations lors de l'arrivée du sédiment sur le pont est sommairement présenté dans le tableau I et sur la carte des stations de prélèvement (Figure 1). Aucune trace n'est perceptible dans les échantillons 3-4-5-13-15-16-17 et 20. Par contre, dans les autres, une distinction peut être faite entre deux types de stations :

i) celles dans lesquelles une couche uniforme, plus ou moins épaisse, recouvre toute la surface du prélèvement : les stations 6-7-8, regroupées dans le sillon du canyon de Planier le plus proche du canyon de Cassidaigne, la station 21 située à la limite sud du domaine exploré : elle s'individualise par la présence d'une couche relativement importante, de l'ordre de 1,5 cm. Rappelons qu'une quantité notable de matières en suspension rouges a pu être isolée de l'eau surnageant le sédiment contenu dans la benne USNEL.

ii) celles dans lesquelles des traces ou des taches sont dispersées, soit à la surface du dépôt, soit sous forme de petits nodules inclus dans la partie superficielle du prélèvement. Cette absence d'uniformité concernant des stations relativement éloignées du point de rejet ou des couloirs d'écoulement dans lesquels s'accumulent les résidus. Elle pourrait témoigner, soit d'apports intermittents, soit, plus vraisemblablement, de phénomènes de transferts ou de remaniements se produisant aux dépens d'un film superficiel très fin. La remise en suspension peut être assurée par la circulation des masses d'eau transitant d'Est en Ouest dans cette zone et, plus particulièrement, au pied du talus continental.

Si, d'une manière générale, la couleur rouge confirme la validité de ce critère pour l'identification des rejets, il est assez paradoxal de ne pas la déceler à la station 3, proche du débouché

de l'émissaire et présentant, comme il sera vu par la suite, des caractères indiquant un impact des résidus de traitement de bauxite dans ce secteur. Vraisemblablement, cette absence de couleur rouge caractéristique pourrait être mise sur le compte d'un mélange plus homogène des résidus avec le sédiment autochtone. De même, elle n'a pas été observée sur les prélèvements effectués plus au Nord, sur le plateau continental (stations 15-16 et 17), ainsi que sur les stations situées à l'Est du canyon (stations 4-5 et 13).

En résumé, la couleur peut constituer un bon indice de la présence de résidus de traitement de bauxite, ou de la nature des phénomènes de dispersion, mais au delà d'un certain taux de dispersion dans la colonne sédimentaire, ce seul critère physique devient insuffisant.

II.4.2. Granulométrie

Les types granulométriques vont du sédiment vaseux typique à des dépôts grossiers riches en matériel détritique, en passant par des types intermédiaires caractérisés par une distribution bimodale. Dans ceux-ci, les proportions respectives des classes granulométriques principales sont représentatives de phénomènes de divers ordres liés, soit à la sédimentation sélective de particules, soit à l'action des courants balayant cette zone, soit à des phénomènes d'écoulement ou entraînement classiques dans une région à forte pente et entaillée par de nombreux canyons.

Fraction $> 500 \mu\text{m}$: Il apparaît clairement et logiquement que les stations les plus proches de la côte et situées sur ou en bordure immédiate du plateau continental (stations 15-16-17-4-3 et 13) sont, à des degrés divers, les plus riches en matériel grossier qui peut représenter, dans le cas extrême (station 17, 0-3 cm), près de 50 % du sédiment total. Les autres stations toutes situées au dessous de - 500 m présentent, à l'exception de la station 13, proche du cap Sicié, des taux de $F > 500 \mu\text{m}$ inférieurs à 5 %. Cette fraction est même absente aux stations 5-6-7 et 9.

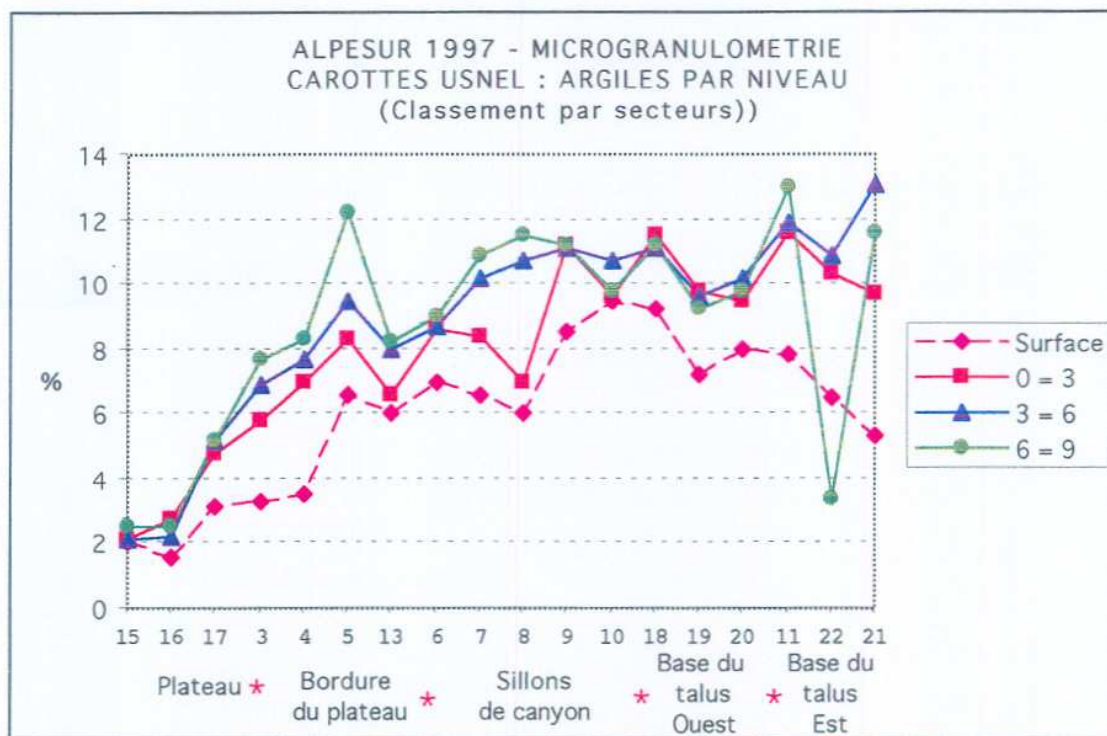


Figure 2. Argiles dans la fraction $< 500 \mu\text{m}$ des différents niveaux des carottes.

Fraction < 500 μm : Schématiquement, et en désignant par les lettres s-a-b-c les différents niveaux depuis la surface jusqu'à la base de la carotte, une distinction peut être faite entre :

i) les échantillons franchement vaseux (stations 5-6-7-8-18 a et b)
 ii) les échantillons à distribution bimodale présentant un mode inférieur à 8 μm et des proportions plus ou moins importantes de particules supérieures à 100 μm (stations 3-4-9-10-11-13-18-19-20-21-22 et 17 a et b)

iii) les échantillons à fraction > 100 μm dominante (stations 15-16-17 s et c -21 a - 22 c).

En outre, et d'une manière générale, une diminution sensible de la fraction inférieure à 10 μm s'observe dans tous les échantillons de surface. Les modifications les plus importantes concernent la fraction argileuse qui subit une diminution importante en surface par rapport aux niveaux inférieurs des carottes. Pour mieux illustrer ce phénomène, les stations ont été classées en fonction de leur situation par rapport à la topographie du site depuis le plateau continental jusqu'à la plaine abyssale (Figure 2).

Sur le plateau, l'hydrodynamisme important empêche la rétention de fines à tous les niveaux, le dépôt est grossier à tous les niveaux. La station 10 située à 2115 m, à l'extrémité du canyon de Planier, dans une zone à plus faible pente, s'individualise par un taux élevé et uniforme d'argiles entre la surface et la base de la carotte. En revanche, toutes les autres stations jalonnant le Sud de la zone d'étude présentent un taux de fines relativement élevé et du même ordre de grandeur (approximativement 9 à 12 %) dans les 3 niveaux des carottes. Seule la surface s'appauvrit. Etant donné que la couche 0-3 cm ne s'individualise pas des niveaux inférieurs, il est logique de penser que la diminution observée en surface ne concerne qu'une couche extrêmement fine dont le changement de composition granulométrique n'influence pas les trois premiers centimètres de la carotte. Cependant, c'est à ce niveau que se trouve déposé le matériel récent auquel participe d'éventuels apports de résidus de traitement de bauxite.

Dans la plaine, une distinction nette apparaît dans les modalités de remaniement sédimentaire entre l'Ouest et l'Est du secteur. Les stations occidentales 18-19-20 se caractérisent par un abattement compris entre 16 et 26 % des argiles entre la surface et la couche 0-3 cm. En revanche, dans les stations orientales 11-21-22, il est plus élevé (32,8 à 45,4 %) et témoigne d'un facteur hydrodynamique plus important dans ce secteur où aboutit le canyon de Cassidaigne et le matériel qu'il draine. A ce titre, il est nécessaire de faire une mention spéciale pour la station 21 légèrement décalée vers l'Ouest et dans laquelle a été observée une couche importante, d'environ 1,5 cm, de matériel présentant la couleur caractéristique des résidus de traitement de bauxite.

En définitive, l'étude granulométrique permet de mettre en évidence des processus de remaniement de la couche superficielle dont l'intensité dépend non seulement de la nature de facteurs physiques susceptibles d'entraîner le matériel fin (courant, effet de pente), mais aussi de la fluidité du dépôt de surface. En effet, une différence de comportement s'observera suivant l'origine et l'ancienneté de la sédimentation superficielle. S'agissant d'un matériel aussi fin et mobilisable, il est vraisemblable qu'il se trouve au premier chef impliqué dans des phénomènes de remise en suspension et de migration soit par simple gravité, le long de la pente du talus continental, soit par entraînement de néphéloïde dans les zones à hydrodynamisme plus marqué (plateau continental, circulation générale en bas de pente). Dans ce dernier cas, le transfert peut conduire à des accumulations importantes dans des secteurs privilégiés (par exemple la station 21), ou à une dispersion pouvant atteindre la partie occidentale du secteur.

II.4.3. Composition chimique

Fraction < 2mm

La répartition verticale dans les carottes n'offrant que peu d'éléments nouveaux par rapport à l'enquête de 1991, les commentaires concernent, plus spécialement, les nouvelles stations (c. à d. stations 15 à 22).

Les concentrations en aluminium sont à peu près homogènes dans les carottes des stations "centrales" 3-5-6-7-8-9-10 et 11. Elles augmentent en surface dans les autres, et plus particulièrement

dans celles situées en périphérie des précédentes (stations 13-22-21-19-18 et 20) (valeurs maximales supérieures à $41000 \mu\text{g.g}^{-1}$ aux stations 13 et 18).

Le fer élément dominant dans les résidus de l'industrie de l'aluminium, mais présentant un rapport relativement faible par rapport aux valeurs de référence du milieu naturel n'augmente significativement qu'en surface, aux stations 8 ($44027 \mu\text{g.g}^{-1}$) dans le canyon de Planier, et 15-16 sur le plateau ($> 11000 \mu\text{g.g}^{-1}$) où l'addition de particules riches en fer entraîne un accroissement d'autant plus marqué qu'il s'effectue dans un matériel détritique originellement pauvre en fer. Toutefois, il convient d'envisager avec prudence un effet dû à la seule remontée des résidus de traitement de bauxite, car ces stations se situent dans un secteur où peut se manifester l'impact du rejet de Cortiou, enrichi en fer par le traitement primaire appliqué à l'effluent marseillais. Cet impact spécifique pourrait être envisagé pour la station 17 ($19235 \mu\text{g.g}^{-1}$) placée dans la zone d'expansion des particules issues de l'émissaire urbain. La station 21 située au SE mérite une mention particulière en raison du gradient croissant du fer entre le niveau 3-6 cm et la surface ($32590 \mu\text{g.g}^{-1}$) (et dans les MES isolées de l'eau surnageant le sédiment contenu dans la benne Usnel). Cet accroissement contraste avec la diminution de ce métal en surface des stations de ce secteur (9-10-11-22-19-20) (24000 à $25000 \mu\text{g.g}^{-1}$).

Le titane confirme son rôle de marqueur aux stations 8-7-3 et, à un moindre degré, dans la station 6, dans lesquelles l'impact des résidus se manifeste par l'accroissement des taux entre le fond de la carotte servant de référence, et la surface. Cette situation se retrouve à la station 21 dont les concentrations en surface ($1420 \mu\text{g.g}^{-1}$) et dans les MES sont du même ordre de grandeur que celle trouvée à la station 8 ($2556 \mu\text{g.g}^{-1}$). Dans la mesure où cette observation confirme celles faites à propos de la couleur et de la granulométrie, il est possible d'envisager une propagation lointaine de quantités importantes des résidus de traitement de bauxite dans cette direction. En dehors de ces stations, nettement influencées par les résidus, les autres présentent un taux assez faible et constant dans les trois niveaux de carottes. Seule la surface subit une augmentation sensible de la teneur en titane. Toutefois, trois types de stations se distinguent :

- i) celles où le contraste est assez marqué (stations 13-22-18-19-20 à l'Est et au Sud) avec des taux de surface supérieurs à $350 \mu\text{g.g}^{-1}$;
- ii) celles du plateau continental (stations 15-16-17) présentant des taux relativement faibles en surface, mais traduisant un enrichissement relatif par rapport aux niveaux sous jacents,
- iii) celles situées dans la partie centrale de la zone d'étude (stations 5-9 et 10) qui s'individualisent par une uniformisation des teneurs assez faibles entre la base de la carotte et la surface (159 à $206 \mu\text{g.g}^{-1}$).

En définitive, si l'on s'en tient au seul critère titane pour identifier la présence de résidus de traitement de bauxite, il faudrait admettre que l'impact se manifeste pratiquement dans toute la zone explorée, hypothèse qui impose une confirmation par d'autres indices.

Le vanadium représente un autre marqueur des résidus de traitement de bauxite. Mais son rapport rejet/milieu, voisin de 20, ne permet d'observer un impact notable, en surface du sédiment, qu'aux stations 7, 8 et 21 (52 à $72 \mu\text{g.g}^{-1}$). Plus au Sud, on observe d'abord une diminution aux stations 9-10 et 11 (environ $35 \mu\text{g.g}^{-1}$), puis une nouvelle remontée des taux superficiels aux stations les plus méridionales 22-19-20 ($> 44 \mu\text{g.g}^{-1}$) et, surtout 21 et 18 (56 et $54 \mu\text{g.g}^{-1}$). Ce constat pourrait, comme pour le titane, laisser envisager un impact sur des distances importantes, dans des directions diverses. Toutefois, l'écart relativement important entre la surface ($58 \mu\text{g.g}^{-1}$) et les niveaux inférieurs ($44 \mu\text{g.g}^{-1}$) trouvé à la station 13, située en dehors de la zone d'influence du rejet, impose d'éviter toute déduction hâtive.

Le chrome conduit aux mêmes conclusions. Sa distribution se calque sur celle du vanadium avec lequel il est étroitement corrélé pour l'ensemble des échantillons ($r^2 = 0,951$). Dans ces conditions, il est difficile d'établir une distinction entre ce qui relève d'un apport de résidus de traitement de bauxite et de l'intervention d'un phénomène plus traditionnel.

Le manganèse ne présente qu'un intérêt limité dans la recherche d'un impact des résidus de traitement de bauxite. Toutefois, comme cela avait été démontré après la campagne de 1991, sa faible teneur dans le rejet ($R = 0,48$) lui confère un rôle de marqueur négatif que l'on retrouve aux stations 7 et 8, c. à d. dans une zone intermédiaire du talus où sa concentration atteint des valeurs maximales à des niveaux différents des carottes. Cette accumulation (2000 à $5000 \mu\text{g.g}^{-1}$) est commandée par les

processus Redox favorisés par le caractère essentiellement vaseux homogène des sédiments de ce secteur. Par conséquent, l'effet sera plus discret aux stations 9 et 21 dont les teneurs maximales en manganèse sont de l'ordre de 1000 à 1100 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

Parmi les autres métaux déterminés (Plomb, cuivre et zinc), seuls le *plomb* et le *zinc* paraissent présenter une relation avec l'apport de résidus de traitement de bauxite, principalement aux stations 3-6-7-8 et 21. Mais, d'une manière générale, le caractère trop généralisé de la pollution par ces métaux rend difficile toute différenciation avec l'impact d'autres sources, surtout dans cette région soumise à l'influence des rejets de la rade de Toulon, de Cortiou et de bien d'autres sources diffuses ou globales (apports aériens, fleuves, ruissellement sur les bassins versants, etc...). A ce propos, il convient de noter l'élévation des valeurs aux stations 13 et 5, à l'Est de la zone d'étude.

Avec le *cuivre* dont le rapport rejet/milieu est voisin de 1, il est impossible de faire la moindre différenciation.

Fraction < 20 μm

Compte tenu des indécisions de l'étude de la fraction > 2 mm et des observations faites lors de la campagne de 1991 démontrant la présence, dans certains échantillons, de taux relativement élevés de titane dans des fractions supérieures à 20 μm , il a été procédé à l'analyse spécifique de la fraction inférieure à 20 μm des échantillons de surface, la plus représentative de l'impact par les résidus de traitement de bauxite. Les résultats confirment, dans de nombreux cas, un enrichissement en métaux caractéristiques du rejet, dans d'autres la situation s'inverse avec des taux nettement plus faibles que dans l'échantillon total. Il apparaît donc que les métaux ne sont pas obligatoirement associés, exclusivement ou en majorité, à la fraction la plus fine. Il est donc nécessaire de tenir compte de leur répartition en fonction de la granulométrie avant de tirer des conclusions sur les variations spatiales des métaux dans la zone d'étude.

Rapport des concentrations entre la fraction < 20 μm et la fraction < 2 mm

Le rapport des concentrations (RC) entre les fractions < 20 μm et < 2 mm a paru le plus adapté à la différenciation des stations. Si tout ajout de particules provenant du rejet industriel entraîne une augmentation de la concentration globale, la valeur traduisant cet enrichissement sera d'autant plus importante que le rapport rejet/milieu est élevé, mais aussi très variable d'un métal à l'autre. Par ailleurs, le contraste est plus ou moins marqué suivant que la fraction fine est :

i) soit moins représentée dans le sédiment total, ce qui est le cas dans les échantillons du plateau continental (stations 4-15-16-17) qui présentent, logiquement, les rapports les plus élevés ;

ii) soit, au contraire, abondante dans le sédiment total. Dans ce cas, plusieurs situations peuvent se présenter suivant l'épaisseur des résidus de traitement de bauxite déposée : le rapport est relativement faible si la couche est épaisse (stations 7-8-21), puis il augmente avec la diminution de la pellicule de résidus. Bien entendu, il diminuera à nouveau aux stations éloignées ou hors d'atteinte des résidus ;

iii) soit plus pauvre en métaux que les particules de taille supérieure.

Le rapport devient inférieur à 1, ce qui se produit plus particulièrement pour l'aluminium et le titane aux stations 13-22-19 et 20. La station 18, quant à elle, se singularise de toutes les autres par de faibles valeurs du rapport pour Al, Fe, Ti, V, Cr, Mn, Cu, par une valeur maximale pour le plomb et élevée pour le zinc.

Ces résultats démontrent qu'au delà de la zone de rejet et d'expansion directe des résidus de traitement de bauxite comprise entre le canyon de Cassidaigne et celui de Planier, les fonds sont constitués par un matériel dans lequel les métaux sont plutôt associés à des limons grossiers. Les plus caractéristiques se trouvent aux stations 18 et 13, de bathymétrie et de granulométrie équivalentes, à partir desquelles s'établissent des gradients pouvant traduire d'éventuels apports de fines (stations 22-19 et 20).

A l'Est, la station 13 située en dehors de la zone d'influence du rejet de Cassidaigne, constituer une référence. Le rapport égal à 0,50 indique la pauvreté relative en titane de la fraction fine transitant

dans ce secteur. Par contre, la présence de ce métal dans une fraction plus grossière peut être liée à l'érosion locale de formations cristallines prolongeant dans le relief sous marin celles du massif des Maures, ou de l'entraînement dans le milieu littoral, de matériaux provenant de la dépression permienne entourant ce massif.

Au Nord du rejet, les stations 15 et 16 soumises à un hydrodynamisme important, ne contiennent qu'une très faible proportion de particules inférieures à 20 μm . Le matériel grossier constituant l'essentiel de ces dépôts, est originellement pauvre en titane, comme le démontrent les très faibles valeurs trouvées dans la partie inférieure des carottes (55 $\mu\text{g.g}^{-1}$ à la station 15). Logiquement, l'addition de résidus de traitement de bauxite doit entraîner une nette augmentation du rapport. En fait, les valeurs de 1,35 et 1,39 associées à des concentrations dans la fraction fine du même ordre de grandeur que celle du bruit de fond défini lors de la campagne de piégeage de 1995, ne permettent pas de conclure à une remontée significative de résidus dans ce secteur.

Dans la zone de sédimentation des résidus de traitement de bauxite, décrite après la campagne de 1991, et jalonnée par les stations 3-6-7-8-9 et 10, le rapport monte d'abord à 1,70 à la station 3 proche du débouché de l'émissaire. Il est voisin de 1,20 aux stations 6-7-8 caractérisées par une accumulation importante de résidus qui tend à diminuer la différence de composition entre les fractions $< 20 \mu\text{m}$ et $< 2 \text{ mm}$.

Dans la partie terminale du canyon de Planier, l'addition de quantités plus réduites de résidus à des sédiments initialement appauvris en fraction fine entraîne d'abord une augmentation du rapport qui atteint 1,37 à la station 9 et redescend à 1,18 à la station 10.

Dans toute la partie sud de la zone étudiée, la situation est très contrastée avec des rapports évoluant entre des valeurs extrêmes de 0,42 et 1,34. Trois stations (18-19-20-22) présentent des rapports inférieurs à 0,66 ; dans les autres (stations 11-21), il est supérieur à 1,20.

Partant de l'hypothèse que les sédiments superficiels autochtones sont caractérisés par un rapport faible, il est possible d'apprécier un impact éventuel des résidus de traitement de bauxite dans ce secteur, en tenant compte de faits déjà acquis sur leur propagation dans le prolongement du canyon de Cassidaigne.

Dans les commentaires précédents, concernant aussi bien l'aspect des dépôts que la granulométrie et la composition chimique, il a été chaque fois mentionné l'analogie existant entre la station 20 et celles du canyon de Planier et, plus particulièrement la station 8. Elle se retrouve avec un rapport élevé (1,34), contrastant avec celui de 0,62 de la station voisine 22. Si l'on prend en compte la topographie de ce secteur et la position de la station 21 par rapport aux stations MT 12-MT 15 et MT 51 (Titane $> 13000 \mu\text{g.g}^{-1}$) de la campagne 1991, il paraît vraisemblable que l'important dépôt rouge et le taux de 1420 $\mu\text{g.g}^{-1}$ à la station 21, ne peuvent trouver leur origine que dans un transfert de matériel depuis l'extrémité du canyon, aucune autre station de ce secteur ne semblant en mesure de disposer d'un stock suffisant pour l'alimenter. Si la station 11, située à mi-distance entre l'extrémité du canyon de Cassidaigne et la station 21, paraît influencée par ce transfert de matériel, comme le montre le rapport égal à 1,22, l'accumulation est sans aucune mesure avec celle constatée au delà.

On peut donc admettre que la fluidité du matériel s'écoulant le long du canyon de Cassidaigne lui permet de poursuivre son cheminement bien au delà de la base du canyon, jusque dans la plaine. Une partie peut être reprise par la circulation générale, au pied du talus, contourne le promontoire séparant les canyons de Planier et du Grand Rhône pour aller s'accumuler dans un secteur favorable. Echappant au dépôt, et continuant à progresser vers le Sud et vers l'Ouest, des particules continuent leur progression vers le Sud (station 22) ou vers l'Ouest jusqu'aux stations 19 et 20 où leur addition au dépôt autochtone entraîne une élévation du rapport à 0,65, ce qui correspond à une augmentation relativement notable par comparaison avec la valeur de 0,42 prise en référence (station 18).

L'étude sommaire des rapports intermétalliques apporte des confirmations aux observations faites auparavant. Elle souligne la distinction que l'on peut faire entre les stations proches du point de rejet et, plus particulièrement, celles situées dans les sillons du canyon de Planier, et celles plus profondes et plus éloignées de la base du talus où interviennent des facteurs hydrodynamiques responsables de remaniement importants de la couche la plus superficielle. En outre, elle permet de mettre en évidence d'autres sources de contamination et démontre, si besoin était, les difficultés que

rencontre à établir un lien formel entre les variations de paramètres chimiques et les sources qui en sont responsables.

III. Recherche d'une évolution de la qualité des sédiments entre 1991 et 1997

Au cours des 6 années séparant les deux campagnes, des événements de divers ordres ont pu provoquer des modifications de la qualité des sédiments dans l'ensemble du secteur étudié : actions hydrodynamiques ou bioturbatrices, gain de matériel provenant de nouveaux apports liés au rejet industriel ou de tout autre origine. Par ailleurs, cette comparaison est limitée par le nombre restreint de stations et de types de prélèvements de même type, communs aux deux études :

i) dix prélèvements de surface sur benne USNEL : stations 3-4-5-6-7-8-9-10-11-13 (même numérotation pour les deux campagnes) ;

ii) sept carottages effectués *in situ* avec un carottier Multitubes, pour la campagne 1991, et sur le contenu d'une benne USNEL, pour 1997. Ces derniers se faisant sur un sédiment plus ou moins perturbé par le travail de la benne sur le fond et sa remontée à la surface, il convient d'apporter une restriction à la correspondance exacte des niveaux et des échantillons obtenus avec chaque type d'engin.

Les numérotations étant différentes, les correspondances sont mentionnées :

1991	MT 05	MT 07	MT 08	MT 09	MT 10	MT 11	MT 20
1997	U 05	U 06	U 07	U 08	U 09	U 10	U 13

III.1. Granulométrie

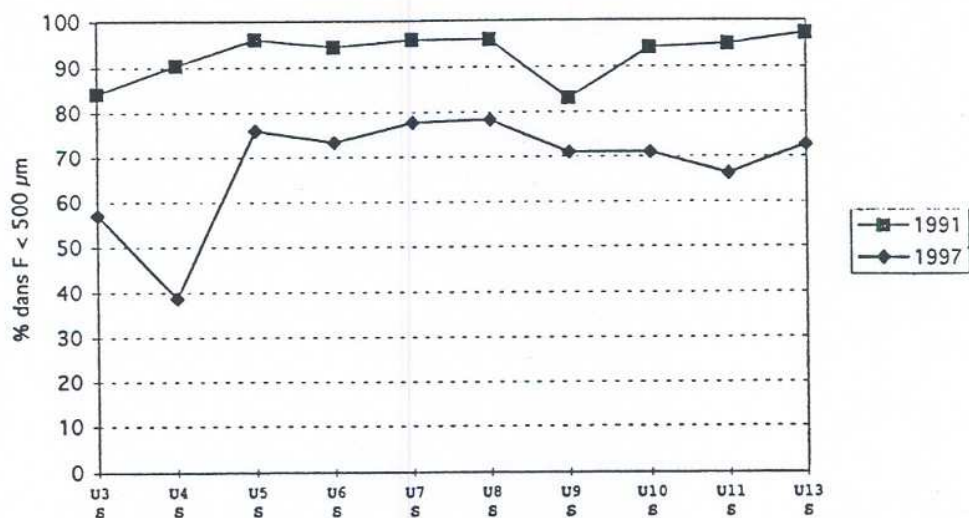
L'évolution la plus marquante concerne les fractions les plus fines ($< 20 \mu\text{m}$), limons fins et argiles, c. à d. celles susceptibles d'être déplacées vers ou hors du sédiment. Le regroupement dans une même figure des 3 graphiques représentant la situation aux deux périodes permet de bien mettre en évidence la diminution générale et importante des particules fines intervenue entre les deux époques (Figure 3). Toutefois, il convient de signaler que les déterminations ont été faites sur deux microgranulomètres différents (CILAS en 1991, MALVERN en 1997). Par ailleurs, la première série a été réalisée à partir d'un produit lyophilisé puis remis en suspension, l'autre sur le produit frais, humide. Si ce changement de méthodologie peut avoir des conséquences sur la structure, et par conséquent, sur la taille des particules les plus fines, il est peu probable que cela entraîne des différences de l'ampleur de celles constatées ici. En outre, l'effet doit être très réduit sur les limons fins. Il convient de noter que l'écart le plus important est donné par la station 4, proche du plateau continental et représentée par un sédiment très grossier, c. à d. peut apte à retenir le matériel fin. Par contre, l'écart le plus faible concerne la station 9, bien abritée au pied du canyon de Planier où les conditions ne sont pas suffisantes pour mobiliser les limons fins. Tout en restant prudent sur l'aspect quantitatif du phénomène, son caractère général mérite d'être souligné dans la mesure où il fait apparaître l'intervention de processus hydrodynamiques affectant l'ensemble du secteur, avec les conséquences que cela peut avoir sur les transferts éventuels de résidus de traitement de bauxite.

III.2. Composition chimique

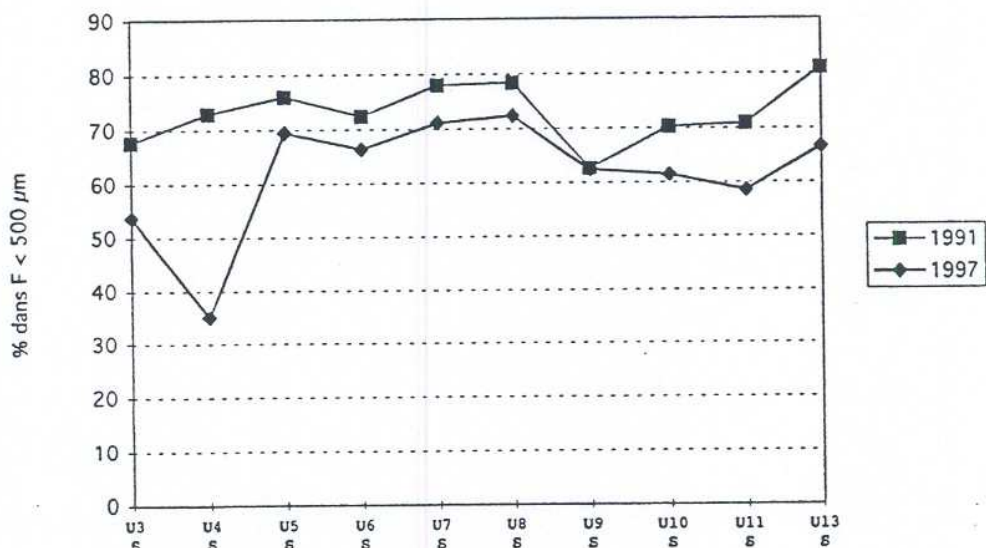
L'*aluminium* et le *fer* présentent des moyennes générales assez homogènes dans l'ensemble des niveaux et les différences existantes sont peu significatives (Tableau III). Si l'on considère les différences entre les stations de cette série, il apparaît que l'homogénéité relative des moyennes est liée à un effet de compensation entre l'augmentation des valeurs (stations 6-7-8-10 situées à l'Ouest du rejet) ou la diminution (stations 5-13 situées à l'Est), la station 9 ne subissant pratiquement aucune variation, sur l'ensemble de la colonne sédimentaire, entre les deux époques. Le *titane* se distingue des deux métaux précédents par une baisse de la moyenne générale entre les parties superficielle et inférieure des

carottes. En 1997, les niveaux 3-6 et 6-9 cm tendent à acquérir des valeurs homogènes basses, du même ordre de grandeur, et même légèrement inférieures à celle du niveau 6-9 cm de 1991.

FRACTION $< 20 \mu\text{m}$



LIMONS FINS (F 2 à $20 \mu\text{m}$)



ARGILES (F $< 2 \mu\text{m}$)

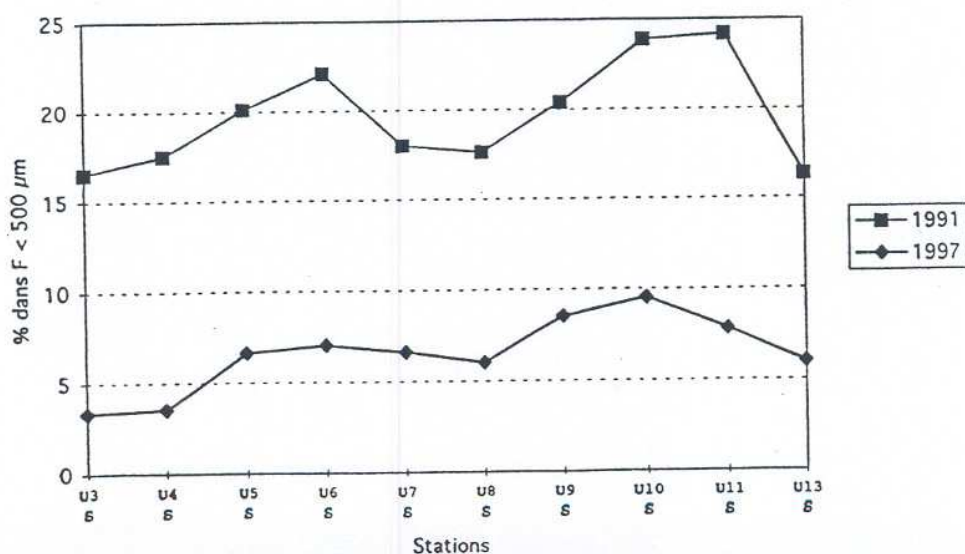


Figure 3. Comparaison USNEL surface 1991 - 1997 (fraction $< 20 \mu\text{m}$).

Tableau III. Comparaison des moyennes de concentrations dans les différents niveaux des carottes des stations communes aux campagnes de 1991 et 1997 (Valeurs moyennes et en dessous écart-type).

	Al 1991	Al 1997	Fe 1991	Fe 1997	Ti 1991	Ti 1997	V 1991	V 1997	Cr 1991	Cr 1997
0-3 cm	23239 3619	24498 2064	27800 3114	28719 1835	329 115	312 237	46 2,6	43 7,0	79 14	74 16
3-6 cm	24220 3677	24609 2568	28822 3656	28235 1942	222 103	165 25		41 5,2	74 17	65 10
6-9 cm	23502 3549	23839 3321	27316 2855	26819 3061	177 28	150 18		39 6,1	70 13	62 12
	Mn 1991	Mn 1997	Pb 1991	Pb 1997	Cu 1991	Cu 1997	Zn 1991	Zn 1997		
0-3 cm	1377 697	1566 821	39 10	36 10	36 4	32 2	97 13	85 19		
3-6 cm	1958 1592	1692 1454	32 14	29 7	35 3	30 3	102 29	76 13		
6-9 cm	714 169	1289 1546	27 8,4	21 4,0	33 3	27 4	96 14	70 12		

L'individualisation des stations confirme et précise ces observations. Dans la couche inférieure des deux carottes, les valeurs sont assez basses, homogènes et peu différenciées entre les deux campagnes. On retrouve les deux premiers caractères dans le niveau intermédiaire, en 1997. Par contre, une diminution des concentrations se produit aux stations 6 et 8. Dans la partie supérieure (0-3 cm) de la carotte, l'évolution est plus contrastée avec une baisse en 6, 9, 10 et un accroissement notable en 7 et 8. Si les variations sont fluctuantes pour les stations situées dans la zone d'influence directe du rejet, il en va autrement pour les stations les plus orientales 13 et 5 où l'on constate une légère diminution du même ordre de grandeur, à tous les niveaux. Cette observation pouvant être faite également pour le fer et l'aluminium, suggère l'intervention d'un phénomène global de décapage ou de variation rapide de la composition du dépôt, au delà de la bordure du plateau continental.

En surface, l'échelle des concentrations subit un très important accroissement au cours des deux campagnes dont les moyennes générales sont très voisines. L'évolution indépendante des stations fait apparaître une augmentation en 8 et 3, une diminution sensible aux stations 7, 9 et 10. Ce bilan va plutôt dans le sens de remaniements locaux que dans celui d'une évolution des apports.

Le *chrome* présente, comme le titane, un gradient vertical avec des valeurs de moyennes générales plus faibles en 1997 qu'en 1991. Les variations des concentrations individuelles par station et par niveaux présentent d'étroites analogies avec celles observées pour le titane : baisse surtout marquée au niveau 3-6 cm des stations 6, 8, 10, 5, 13 et, au niveau 0-3 cm, des stations 6, 9, 10, 5, accroissement dans la partie superficielle à la station 7. En surface du dépôt, les moyennes générales sont pratiquement égales, les courbes représentant les valeurs individuelles suivent la même évolution, mais on note toutefois une baisse aux stations 7, 8, 9 et 10, les plus exposées au dépôt de résidus. Si ces résultats, comme ceux du titane, ne permettent pas de donner des indications précises sur l'évolution de

la qualité des fonds de ce secteur, ils ne traduisent, en aucune manière, un accroissement quantitatif de l'impact de résidus de traitement de bauxite dans le champ proche de propagation.

Le *manganèse*, dont il faut rappeler le rôle d'indicateur négatif du rejet et l'évolution dans les fluctuations de concentration d'une station à l'autre. Sans entrer dans le détail des processus physico-chimiques, sera retenu le cas des stations 7-8-9 situées à différents niveaux du canyon de Planier.

Mn	St. 7 1991	St. 7 1997	St. 8 1991	St. 8 1997	St. 9 1991	St. 9 1997
0-3 cm	2089	2482	1191	1198	988	906
3-6 cm	3571	4688	4930	1197	858	978
6-9 cm	591	740	526	5040	954	1046

Seule, la station 8 présente un changement important : tout se passe comme si une sédimentation abondante doublait entre 1991 et 1997 l'épaisseur de la couche de matériel à teneur en manganèse de $1190 \mu\text{g.g}^{-1}$ et entraînait le passage de la forte valeur voisine de $5000 \mu\text{g.g}^{-1}$, du niveau intermédiaire à l'inférieur. En rapprochant ce constat de celui fait pour le titane, on pourrait en déduire qu'entre les deux campagnes, un important accroissement des apports de résidus s'est produit dans ce secteur. Mais, là encore, le caractère local de la modification est souligné par les observations faites aux stations voisines : augmentation, en 1997, à tous les niveaux de la carotte de la station 7 et maintien de valeurs relativement faibles et peu différentes dans les deux prélèvements effectués à la station 9.

Les concentrations moyennes des autres métaux, *plomb*, *cuivre*, *zinc*, présentent, en commun, une gradient surface - niveau inférieur de la carotte et une légère diminution générale (à l'exception du zinc en surface) entre les deux campagnes, comme cela a été noté pour le titane, le vanadium et le chrome. Le plomb qui est, de ces trois métaux, le mieux représenté dans le rejet de l'usine de Gardanne, fournit des graphiques de surface pratiquement identiques en 1991 et 1997. Si l'augmentation et le gradient marqué observés aux stations 8 et, à un moindre degré, 7 est, selon toute vraisemblance à attribuer à un enrichissement en résidus de traitement de bauxite, il en va autrement avec la station 13 placée dans un secteur sous influence de la région toulonnaise soumise à une importante pollution par ce métal. Cet exemple souligne la diversité des sources de contamination dans ce secteur et la difficulté que l'on peut rencontrer, dans certains cas, à déterminer la part de chacune d'elles dans la charge métallique du sédiment.

En résumé, la comparaison des résultats des campagnes de 1991 et 1997 est limitée par des facteurs méthodologiques essentiels : nombre restreint de stations communes et représentativité des échantillons analysés. Si la surface, prélevée sur le même type de prélèvements, se prête à un échantillonnage comparable, il en va différemment pour les différents niveaux des carottes dont la correspondance entre les deux campagnes n'est pas nécessairement exacte, compte tenu de la nature des appareils utilisés.

Il en résulte une meilleure homogénéité de résultats pour la surface que pour la colonne sédimentaire dont certains résultats peuvent chevaucher d'un niveau à un autre. Cette imprécision aura, bien évidemment, des conséquences sur la signification de certaines différences observées avec les valeurs moyennes.

La surface étant la partie la plus la plus exposée au changement ne présente pas de changements significatif des valeurs moyennes pour l'ensemble des métaux. Dans la zone la plus exposée aux rejets et situées pour la plupart dans les sillons du canyon de Planier, les variations individuelles par station se produisent dans des sens différents, ce qui ne permet pas de conclure à la manifestation d'un phénomène général d'expulsion ou de nouvel apport de matériaux. L'hypothèse la plus vraisemblable expliquant cette diversité de comportement est celle d'un remaniement soit par action physique (transferts hydrodynamiques, glissements, éboulements) soit par action biologique bioperturbatrice.

L'intervention éventuelle de phénomènes généraux peut être déduite de l'évolution granulométrique en surface indiquant une perte importante de particules fines, en particulier des argiles

plus aptes à la mobilisation. Il est évident que ce tels remaniements entraînent des transferts mettant en jeux les apports les plus récents auxquels participe les résidus de traitement de bauxite.

IV. Conclusions

La campagne de prélèvement de sédiments réalisée en 1997, six ans après celle de 1991, avait pour double but de mettre en évidence une éventuelle évolution de la qualité des fonds dans la zone commune aux deux études et de mieux apprécier le domaine d'extension du matériel particulaire issu de l'émissaire, en tête du canyon de Cassidaigne. Les résultats des analyses de la dernière campagne et leur comparaison avec ceux de 1991 ne font pas apparaître de différences suffisantes pour conclure à un changement des modalités de dispersion et à une modification de la charge globale en résidus de traitement de bauxite.

La distribution suivant des directions Est-Ouest et Nord-Sud est identique dans les deux cas avec une accumulation particulière dans les sillons des canyons de Cassidaigne et de Planier. Elle confirme, en tous points, la propagation préférentielle des particules vers la partie orientale du secteur. La différence essentielle entre les deux campagnes concerne la diminution importante des particules les plus fines, inférieures à 20 μm (argiles et limons fins), dans la partie superficielle du dépôt. Le caractère général de cet abattement permet d'envisager l'intervention d'un phénomène général, vraisemblablement hydrodynamique, pouvant avoir une incidence sur la mobilisation et le déplacement de résidus de traitement de bauxite accumulés en surface.

Sur le plan quantitatif, la comparaison des moyennes de concentrations en métaux conduit à un constat de stabilité relative des valeurs. Il semblerait toutefois que l'on puisse relever, pour cet ensemble de stations, les plus directement exposées à l'impact des résidus de traitement de bauxite, une tendance à la diminution. Par contre, en individualisant les stations, le bilan est plus complexe dans la mesure où le sens des variations peut s'inverser d'une station à l'autre. Une explication à cet état de fait peut être fournie par des phénomènes de transferts d'un matériel très fin et fluide par entraînement, glissement ou éboulement sur des pentes assez fortes dans cette partie du talus continental et sur les flancs des canyons.

Le domaine exploré en 1997 a été étendu au Nord, pour juger d'une dispersion des résidus de traitement de bauxite sur le plateau continental, et au Sud, pour apprécier leur propagation à la base du talus.

Dans le premier cas, les résultats confirment ceux obtenus antérieurement (1983-1996) faisant état d'un impact discret et limité au Nord et au Nord-Ouest de la tête du canyon. Par contre, les caractères communs, granulométriques et chimiques (plus particulièrement les rapports intermétalliques), des deux stations 4 et 17, diamétralement opposées par rapport au canyon, permettent d'envisager un impact marqué de l'effluent urbain de Cortiou qui peut supplanter ou masquer celui des apports locaux de résidus de traitement de bauxite.

Au Sud, la présence de résidus de l'industrie de l'aluminium se manifeste par la couleur et la composition chimique des dépôts superficiels. Toutefois, la distribution de ce matériel est quantitativement très diverse puisqu'elle va d'une couche importante (> 1cm) à la station 21 à des taches dispersées en surface des prélèvements. La répartition des stations concernées et la nette diminution des proportions de particules fines en surface par rapport à la partie sous-jacente des carottes laisse envisager un phénomène de transfert d'Est en Ouest d'une partie du matériel s'écoulant le long du canyon de Cassidaigne jusqu'à des fonds de plus de 2000 m. Ce déplacement conduit à des accumulations locales dans des secteurs privilégiés (station 21) ou à une dispersion et à des remaniements donnant naissance à l'aspect clairsemé des «tâches rouges» à la surface du sédiment.

Par ailleurs, l'analyse de la fraction < 20 μm et le calcul du rapport des concentrations entre cette fraction et celle < 2mm démontre que la contribution de la fraction supérieure à 20 μm , étrangère au rejet fin de l'industrie de l'aluminium, à la charge en métaux, tel que le titane, peut parfois être supérieure à celle de la fraction plus fine. Ce constat souligne la limite de validité des traceurs des résidus de l'industrie de l'aluminium et les difficultés que l'on peut rencontrer dans la différenciation des origines des métaux contenus dans les sédiments.

D'une manière générale, les résultats de la campagne 1997 n'apportent pas d'éléments mettant en évidence un accroissement général des résidus de traitement de bauxite dans le secteur étudié. En revanche, des remaniements provoqués par des facteurs hydrodynamiques, mécaniques ou biologiques entraînent des modifications de leur répartition. Il ne semble pas que cette étude ait permis d'atteindre les limites de l'expansion de particules qui en résulte.

Etude de la macrofaune benthique dans le secteur du canyon de Cassidaigne. Campagne ALPESUR 97 (Rapport G. Stora, A. Arnoux, F. Gilbert et J.P. Durbec).

I. Introduction

L'analyse de la faune benthique a été effectuée sur la totalité des prélèvements réalisés (Figure 1). Les résultats portent, d'une part sur la campagne 97 et d'autre part sur la comparaison des peuplements des stations échantillonnées en 1991 et 1997.

II. Méthode de prélèvements et traitement des données

Les prélèvements ont été réalisés avec le carottier USNEL. Selon les stations, 1 à 2 coups de benne ont été effectués, chaque benne étant divisée en 2 sous échantillons. Les 15 premiers centimètres de sédiment de chaque échantillon ont été tamisés sur un tamis de maille AFNOR de 250 μm permettant de récupérer 100 % de la macrofaune présente. Les refus de tamis fixés au formol neutre à 6 % ont été triés au laboratoire après coloration légère au rose bengale. L'ensemble des groupes zoologiques présents ont été séparés, déterminés dans la mesure du possible jusqu'au niveau spécifique et dénombrés.

Différentes méthodes mathématiques, graphiques ou basées sur la signification écologique des espèces ont été employées :

- i) détermination de la richesse spécifique (nombre d'espèces dans le peuplement) ; la densité (nombre d'individus de chaque espèce pour 1 m^2) ; la dominance (pourcentage de chaque espèce calculé par rapport au nombre total d'individus obtenus dans le prélèvement), comparaisons de densités moyennes en utilisant la technique de l'analyse de variance (ANOVA) ;
- ii) similitude entre stations à partir des coefficients quantitatifs de BRAY-CURTIS et qualitatifs de SORESEN. La représentation graphique des matrices de similitude a été effectuée par la technique de l'analyse hiérarchique ascendante (algorithme du saut moyen) ;
- iii) mesure de la diversité des peuplements par la méthode de raréfaction de SANDERS modifiée par HURLBERT, la diversité (H) de SHANNON-WEAVER et l'équitabilité de PIELOU ;
- iv) des analyses factorielles de correspondance en utilisant le logiciel ADE. Les corrélations existantes entre l'ordination des variables sur les axes choisis et les caractéristiques physiques et chimiques des sédiments des différentes stations ont été recherchées (coefficient de rang de Spearman). Pour cela, ont été pris en compte, d'une part les paramètres environnementaux mesurés dans la couche superficielle des sédiments et dans l'ensemble de la colonne sédimentaire en considérant pour chaque paramètre analysé la moyenne des valeurs obtenues dans les couches 0-3 cm, 3-6 cm et 6-9 cm (cf Rapport A. Arnoux). La relation entre les variables environnementales et les peuplements des différentes stations a été étudiée de manière complémentaire en utilisant le programme BIOENV du logiciel PRIMER (méthode de positionnement multidimensionnel MDS).

III. Résultats

III.1. Campagne 97

III.1.1. Caractérisation des assemblages en place

Au plan qualitatif pour les stations les moins profondes dans les fonds situés entre 80 et 100 m (Tableau IV), les espèces caractéristiques exclusives récoltées correspondent à celles de l'assemblage du Détritique Côtier avec la Polychète *Harmothoe reticulata*, et du Détritique Envasé marqué par la présence de la Polychète *Leiocapitella dolfusii* et le Sipunculien *Golfingia elongata*. Les peuplements en place en dessous de 200 m dans le canyon de Cassidaigne et ses environs sont référables à l'assemblage de la Vase Profonde (VP) marquée par la présence des espèces caractéristiques exclusives telles que les Polychètes *Aricia kuppferi*, *Pseudocapitella incerta*, *Spiophanes kroyeri reysii*, *Ammotrypane aulogaster*, les Crustacés *Eriopisa elongata*, *Callocaris macandreae*, les Mollusques *Abra longicallus*, *Thyasira ferruginea* et les Sipunculien *Golfingia minuta* et *Onchnesoma steenstrupii*. Au sein de cet assemblage de la vase profonde on peut noter la présence d'espèces caractéristiques de la Vase Terrigène Côtière (VTC) avec les Polychètes *Goniada maculata* et *Phyllodoce lineata* et le Crustacé *Gonoplax rhomboides*. On constate qu'un certain nombre de stations ne présentent pas d'espèces caractéristiques exclusives telles que les stations PU15, PU13, PU18, PU20, PU19, PU10, PU11, PU22. Si la faible densité des organismes récoltés dans les stations profondes en dessous de 1500 m ne permet de tirer aucune conclusion particulière sur l'absence de ces espèces caractéristiques exclusives, la destructuration biocénotique des peuplements des autres stations peut traduire un certain déséquilibre de l'écosystème. La richesse spécifique tend à diminuer en fonction de la profondeur comme le montre la figure 4. Du fait d'un échantillonnage différent, on ne peut, sur cette figure, que comparer la richesse spécifique des stations dans lesquelles un nombre équivalent de prélèvements a été réalisé (Tableau IV). On observe un nombre d'espèces supérieur à 30 pour les stations situées au-dessus de l'isobathe - 250 m, proche de 20 à l'exception de la station 13 pour les stations localisées entre 500 et 1000 m et égal ou inférieur à 5 à l'exception de la station 8 pour les stations comprises entre 1500 et 2300 m de profondeur.

Au plan quantitatif, l'évolution de la densité moyenne des peuplements est similaire à celle de la richesse spécifique en fonction de la profondeur (Figure 5). Le peuplement le plus riche s'observe pour la station 16 à 92 m de profondeur avec 370 individus. m⁻² et le plus pauvre à la station 19 à 1765 m avec 5 individus.m⁻². L'analyse de variance réalisée après transformation racine des densités pour homogénéiser les variances montre une différence significative entre les densités moyennes de l'ensemble des stations étudiées ($p < 0.01$). La comparaison des moyennes par le test de Tuckey fait apparaître trois blocs composés par les stations 16, 17, 4, 7 et 3, les stations 11, 10, 19 et l'ensemble des autres stations qui jouent un rôle charnière entre les deux premiers blocs. Cette comparaison montre en particulier que, si d'une manière générale, la densité moyenne des peuplements tend à décroître en fonction de la profondeur (à l'exception des stations 7 et 15), ces densités ne présentent pas de différence significative à partir de 500 m de profondeur.

Les Polychètes et les Crustacés sont les groupes les mieux représentés au sein des peuplements des différentes stations. Les stations pour lesquelles les courbes de raréfaction ont pu être construites présentent une diversité spécifique très proche. Les indices de Shannon s'échelonnent de 3,53 bits pour la station 16 à 92 m de profondeur à 1,39 bits à la station 18 à 1245 m de profondeur. La tendance générale est à une baisse de la diversité en fonction de la profondeur, tendance identique à celle observée pour les peuplements du canyon de Toulon. Au sein de ces stations, l'équitabilité est à une exception près toujours supérieure à 0,80, montrant que la plupart des espèces composant les peuplements au sein de chaque station sont représentées par un nombre d'individus très proche. L'équitabilité de 0,73 à la station 4 tient au fait de la présence d'un faciès à *Hyalinoecia bilineata*.

En ce qui concerne la dominance des 10 premières espèces récoltées dans chaque station. A l'exception de *Hyalinoecia bilineata* qui domine l'ensemble des peuplements des stations du plateau continental et qui forme un véritable faciès déjà observé en 1991 à la station PU04, de *Fauveliopsis brevis* que l'on retrouve en position dominante dans la majorité des stations du bas de la pente et des

Polychètes *Glycera tessalata*, *Paraonis gracilis* et *Notomastus latericeus* que l'on retrouve en position dominante et/ou subdominante dans plus de 5 stations sur 18, la répartition des autres espèces est très variable en fonction des stations. Par ailleurs, aucun indicateur biologique classique caractérisant une perturbation du milieu n'a pu être récolté au sein des stations étudiées.

Tableau IV. Degrés d'affinité des peuplements macrobenthiques des différentes stations classées par ordre de profondeur croissante pour les assemblages du plateau et de la pente continentale.

Stations	Profondeurs	Nbre de répliquats	% caractéristiques exclusives			
			DE	DC	VTC	VP
2PU15	73	2	0	0	0	0
2PU17	90	2	10	20	20	50
2PU16	92	4	25	0	75	0
2PU4	210	4	14	0	14	72
2PU3	226	4	0	0	0	100
2PU6	590	4	0	0	0	100
2PU5	740	4	0	0	20	80
2PU13	968	4	0	0	0	0
2PU7	1020	4	0	0	9	91
2PU18	1245	2	0	0	0	0
2PU20	1535	2	0	0	0	0
2PU8	1540	4	0	0	60	40
2PU19	1775	2	0	0	0	0
2PU9	1960	2	67	0	0	33
2PU10	2115	4	0	0	0	0
2PU21	2200	2	0	0	0	100
2PU11	2215	4	0	0	0	0
2PU22	2315	2	0	0	0	0

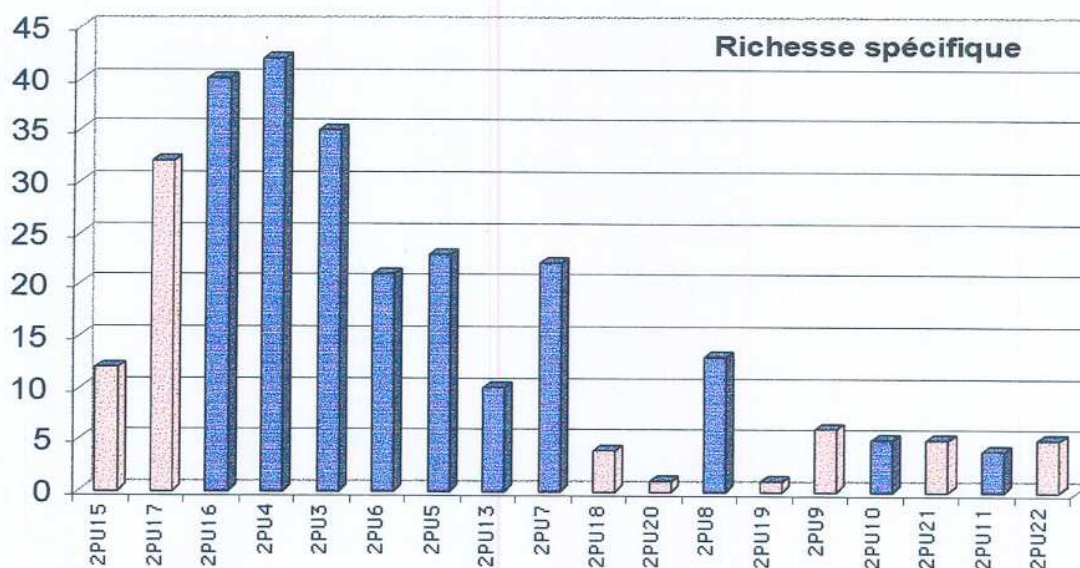


Figure 4. Evolution de la richesse spécifique en fonction de la profondeur. Les stations en bleu sont celles où 4 répliquats ont été effectués.

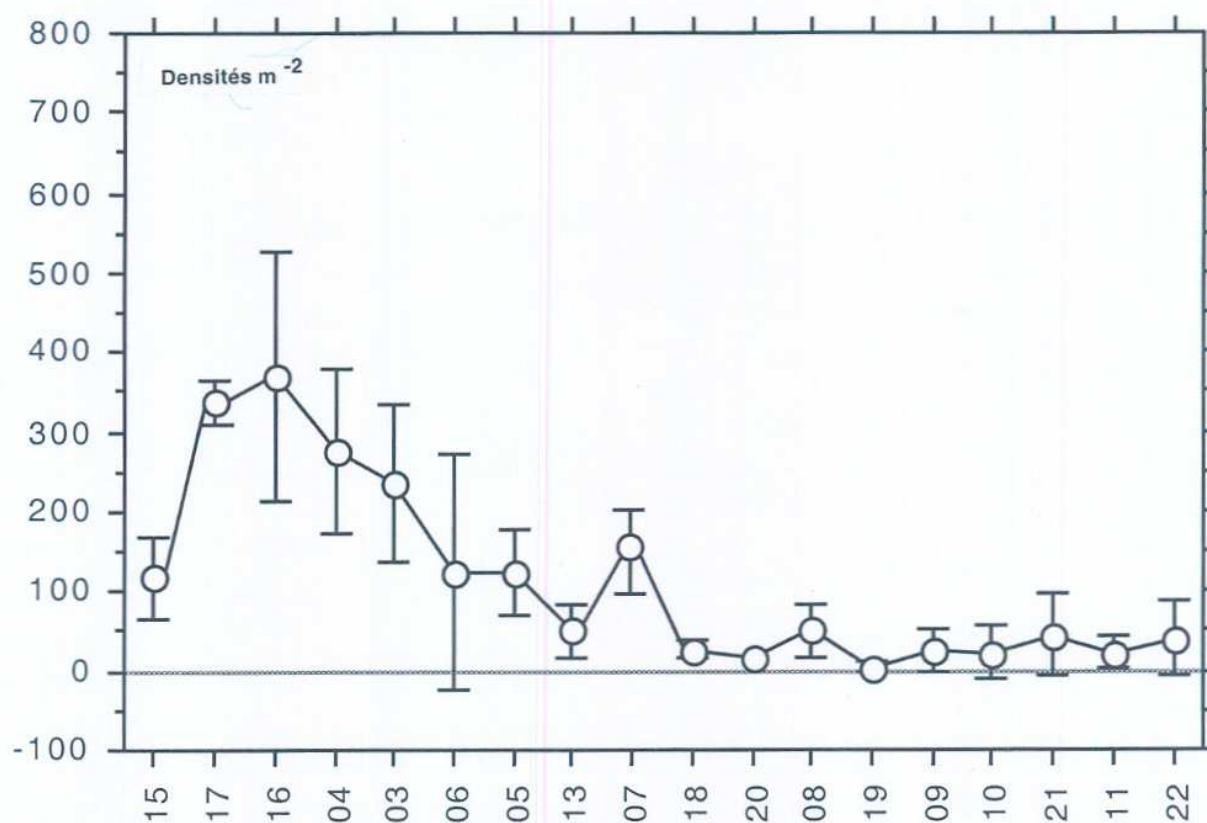


Figure 5. Evolution de la densité moyenne en fonction de la profondeur.

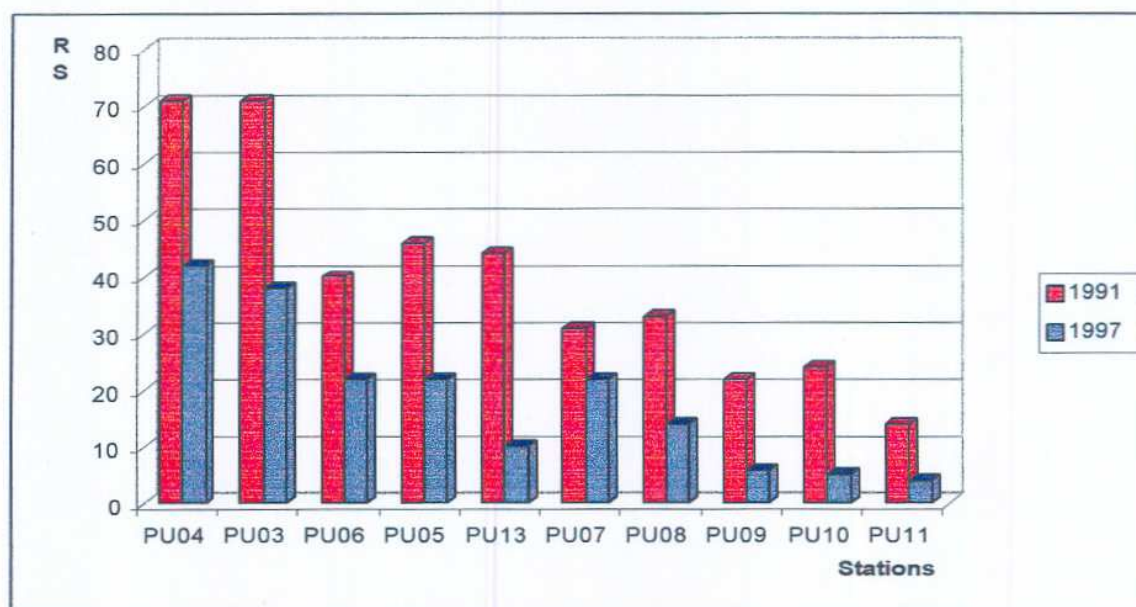


Figure 6. Richesse spécifique des stations échantillonnées en 1991 et 1997 (PU09, deux répliqués en 97)

III 1.2. Comparaison qualitative et quantitative des stations

Au plan qualitatif, les regroupements obtenus avec l'indice de Sorensen font apparaître trois groupes de stations rassemblées en fonction de leur bathymétrie. Le premier groupe réunit les stations du plateau continental (3, 4, 16, 17) à l'exception de la station 15 qui s'individualise par rapport à l'ensemble des autres stations. Le deuxième groupe rassemble les stations localisées entre 500 et 1000 m (6, 5, 7) associées à la station 8 à 1540 m. Le dernier groupe réunit les stations situées entre 1500 et 2500 m (9, 21, 11, 22) ainsi que les stations 13 (968 m) et 18 (1245 m). Tout comme la station 15, les stations 10 et 20 se différencient complètement des autres stations.

Au plan quantitatif les regroupements obtenus avec l'indice de Bray Curtis sont similaires à ceux obtenus avec l'indice de Sorensen. Le premier groupe à l'exception des stations 13 et 18, réunit les stations dont la profondeur est proche ou supérieure à 2000 m (stations 22, 21, 9, 11, 10). Le deuxième groupe est formé par les stations du plateau continental entre 90 et 230 m de profondeur (16, 17, 3 et 4). Le troisième groupe associe les stations localisées entre 500 et 1500 m (5, 6, 7 et 8). Deux stations sont complètement séparées des autres, les stations 15 à 73 m et 20 à 1535 m. Malgré ces regroupements très proches au plan qualitatif et quantitatif on constate que les indices de similarité sont le plus souvent inférieurs à 50 % traduisant une distribution différente des espèces au sein de chaque station. La représentation en deux dimensions de la matrice de similitude avec l'indice de Bray-Curtis en utilisant la méthode de positionnement multidimensionnel (MDS) confirme l'influence de la bathymétrie sur la distribution des peuplements.

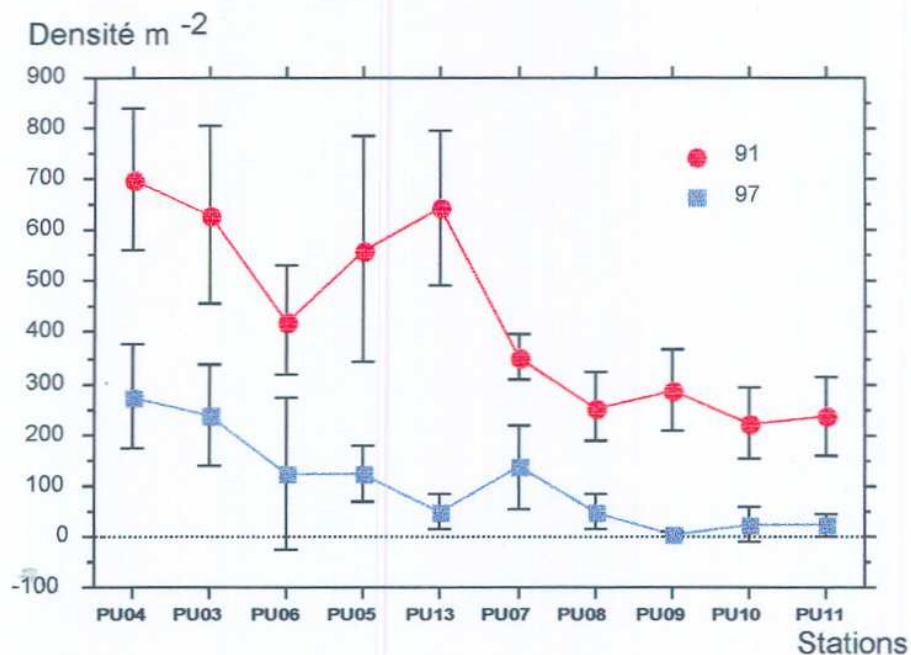


Figure 7. Densités des peuplements des stations étudiées en 1991 et 1997.

III.1.3. Relations entre la macrofaune et les facteurs du milieu

Dans le plan principal 1 et 2 de l'analyse factorielle des correspondances, l'axe 1 sépare essentiellement les stations du plateau continental situées du côté négatif de l'axe par rapport aux autres stations de la pente continentale. En considérant les coefficients de Spearman supérieurs à 0,5 ($p < 0,025$) les corrélations obtenues sur l'axe 1 montrent que la localisation des stations sur cet axe tient principalement à la bathymétrie et aux caractéristiques granulométriques des sédiments du site d'étude, les taux d'aluminium, de cuivre, de fer dans les sédiments n'étant que le reflet de la sédimentation différentielle des particules minérales et organiques conditionnée par la bathymétrie, la topographie des fonds et la circulation générale. Aucune corrélation significative n'a pu être mise en évidence entre la disposition des stations sur l'axe 2 et l'axe 3 par rapport aux variables environnementales analysées. Cette analyse montre que les taux de titane marqueur de l'action particulière des résidus de traitement de bauxite avec un coefficient de 0,47 pour le titane de surface et de 0,42 pour le titane moyen n'intervient pas dans la disposition des stations le long de l'axe 1.

Les corrélations de Spearman obtenues avec la méthode de positionnement multidimensionnel (MDS) pour toutes les combinaisons de variables sont peu élevées indiquant que les variables environnementales utilisées ont un pouvoir explicatif faible. Les corrélations les plus fortes s'observent pour l'association des facteurs "bathymétrie et aluminium surface" (0,52) et "bathymétrie et fraction granulométrique < 2 mm surface" (0,50). On constate cependant que ces résultats sont en accord avec ceux obtenus précédemment. L'évolution des peuplements tient essentiellement à l'évolution des caractéristiques des sédiments en fonction de la profondeur.

III.2. Comparaisons campagne 91/ Campagne 97

La figure 6 présente le nombre d'espèces recensées en 1991 et 1997 dans les différentes stations. Si la tendance générale est toujours une baisse du nombre d'espèces en fonction de la profondeur croissante, on observe en 1997 un appauvrissement général de la richesse spécifique. Cette diminution est variable selon les stations. Si l'on considère le rapport "Nbre sp91/Nbre sp 97", en règle générale ces rapports sont inférieurs ou proches de 2 pour les stations entre 250 m et 1000 m à l'exception de la station 13 où ce rapport atteint 4,40 et compris entre 2,35 et 4,80 pour les stations localisées entre 1500 et 2300 m. L'appauvrissement le moins important s'observe pour la station 7 (1,40) à 1020 m et le rapport le plus fort pour la station 10 (4,80) à 2115 m. Cette diminution du nombre d'espèces est associée à une diminution du nombre d'individus (Figure 7).

L'appauvrissement qualitatif et quantitatif des peuplements s'accompagne d'une modification de la composition de ces peuplements comme le montre les regroupements obtenus avec l'indice de Sorensen et de Bray-Curtis séparant nettement les prélèvements de 1991 par rapport à ceux de 1997 (Figure 8). Pour chaque année, on assiste, à l'exception des stations 2PU10 et 2PU13 à un regroupement similaire des stations en fonction de la bathymétrie. Cependant, l'année 1997 présente des indices de similarité plus faibles entre les stations d'un même groupe par rapport à 1991 traduisant une différenciation plus importante entre les peuplements de chaque station en 1997. Sur les 140 et 97 espèces respectivement recensées en 1991 et en 1997, 60 sont communes aux deux périodes, 80 espèces ne sont présentes qu'en 1991 et 37 qu'en 1997. Ce sont plus particulièrement les Mollusques tels que *Mysella bidentata*, *Venus ovata*, *Lima subauriculata*, *Nucula tenuis*, *Nucula sulcata*, *Leda fragilis*, *Thyasira ferruginea*, *Abra longicallus* et les Crustacés *Diastylis cornuta*, *Callocaris macandrea*, *Eriopisa elongata*, *Harpinia crenulata*, *Harpinia dellavallei* qui ne sont pas ou peu représentés dans les prélèvements de la dernière campagne. En revanche en 1997, on note plus particulièrement l'apparition de *Spiophanes kroyeri reysii* et l'extension en profondeur de *Hyalinoecia bilineata* limitée au plateau continental en 1991. Si du fait de la richesse spécifique et de la densité plus faible des peuplements les indices de diversité de Shannon sont légèrement moins élevés en 1997 par rapport à 1991, on observe la même évolution en fonction de localisation des stations. Les indices plus faibles de la station 04 par rapport à la station 03 sont liés à la présence les deux années de prélèvement, du faciès à *Hyalinoecia bilineata*. La distribution équivalente du nombre d'individus de chaque espèce en 1997 se traduit par des équitabilités plus importantes qu'en 1991.

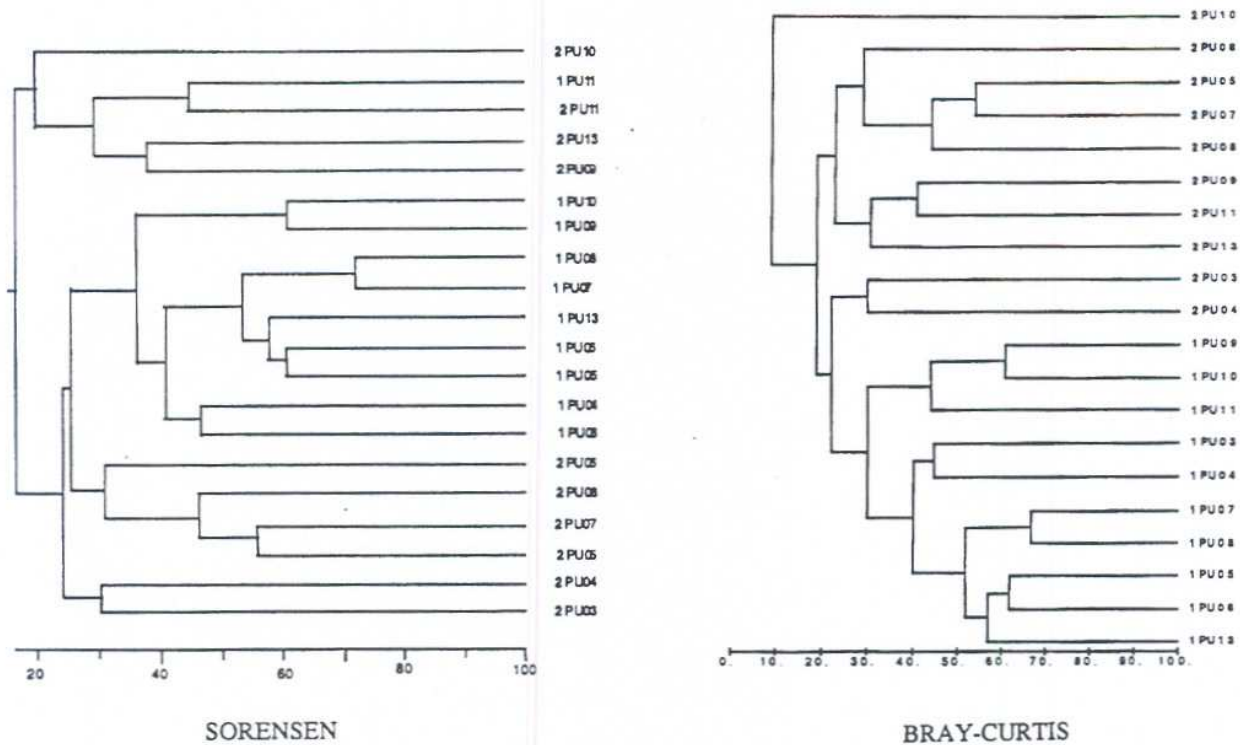


Figure 8. Analyse hiérarchique ascendante. Affinité qualitative (Sorensen) et quantitative (Bray-Curtis) des stations de 1991 et 1997 (1PU : 91 ; 2PU : 97).

IV. Conclusions

L'ensemble des traitements réalisés sur les stations échantillonnées en 1997 ne permet pas de différencier les peuplements les plus directement sous la dépendance des rejets de résidus de traitement de bauxite par rapport aux autres peuplements présents sur la marge et la pente continentale. Tout comme en 1991, les résultats obtenus montrent qu'au plan quantitatif, on observe un appauvrissement progressif de la richesse spécifique et de la densité des peuplements en fonction de la profondeur. Ce gradient décroissant est classique sur la pente continentale en Méditerranée et en aucun cas ne peut être attribué à une perturbation anthropique spécifique de l'écosystème. Localement, certaines stations entre 70 et 1500 m présentent une destructuration biocénotique. Cependant, l'absence de faciès ou de bioindicateurs particuliers marquant un déséquilibre du milieu ainsi que des indices de diversité élevés et des équitabilités proches ou supérieures à 0,80 traduisent au sein de ces stations, une perturbation relativement faible des assemblages en place.

Si les peuplements évoluent au plan qualitatif et quantitatif en fonction de la profondeur, les analyses complémentaires par deux méthodes différentes (AFC, MDS), permettant de relier la dynamique spatiale des peuplements en fonction de divers paramètres environnementaux pris en compte, montrent que la distribution des peuplements benthiques est directement dépendante de la bathymétrie et des paramètres qui lui sont associés en particulier la granulométrie des sédiments. L'étude des corrélations entre variables environnementales et peuplements n'a jamais permis de montrer une incidence particulière du titane, marqueur préférentiel des boues rouges (Figure 9).

La comparaison des peuplements des stations communes aux campagnes 1991 et 1997 montre cependant un très net appauvrissement au plan qualitatif et quantitatif de la faune en place.

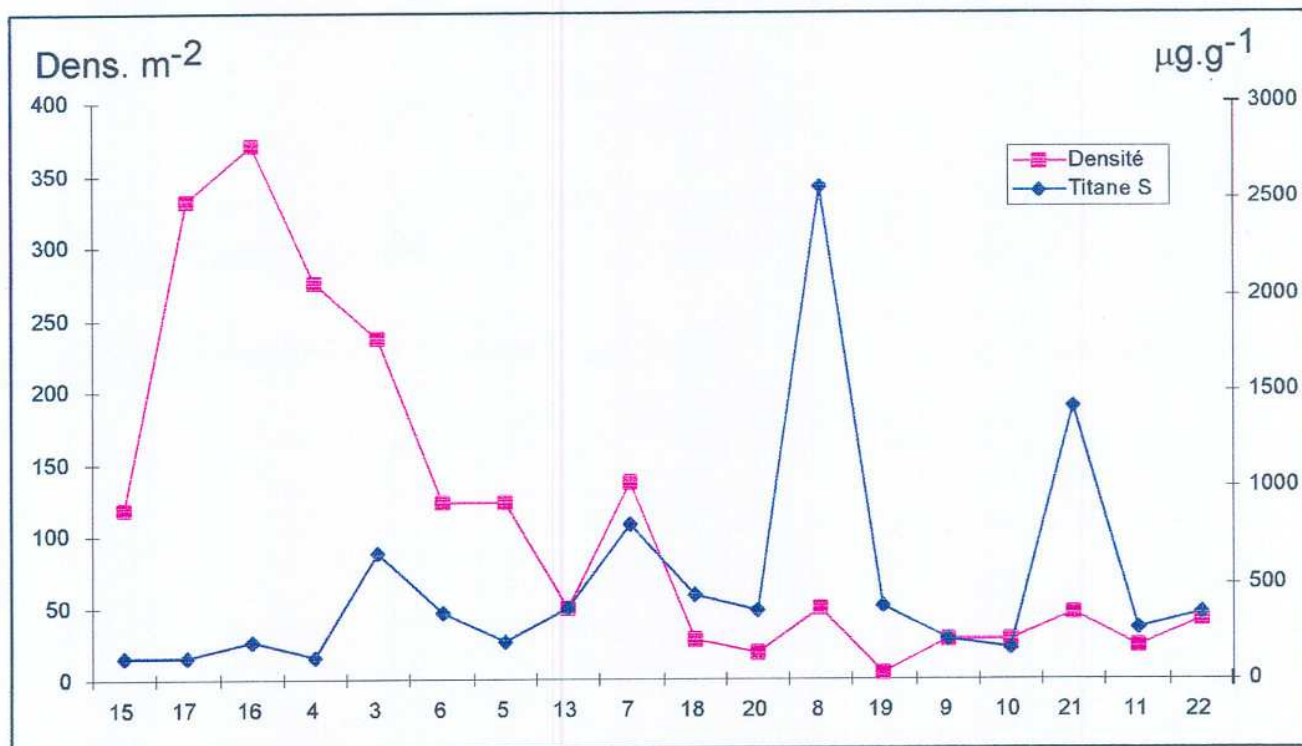
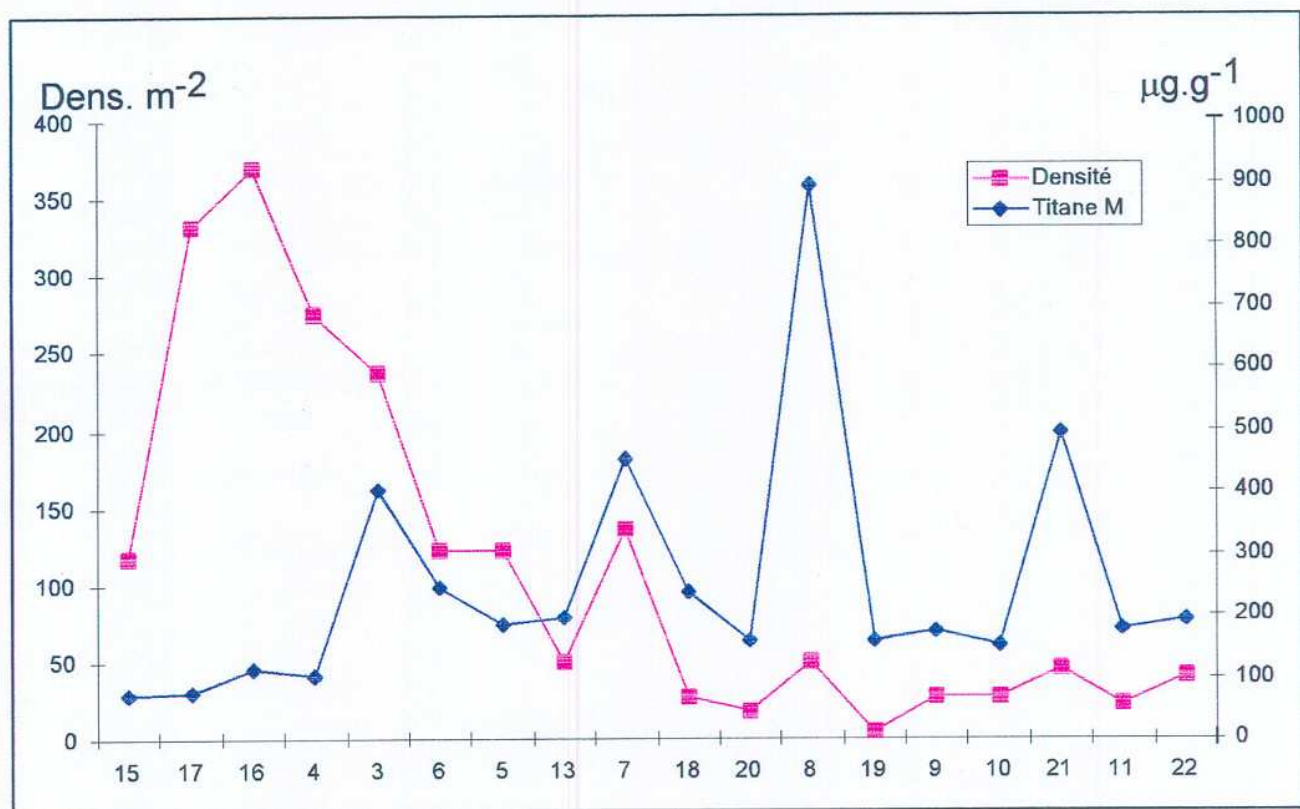


Figure 9. Evolution de la densité des peuplements et des concentrations de Titane dans les stations étudiées en 1997 (Titane M : concentration moyenne dans la colonne sédimentaire, Titane S : Concentration dans la couche superficielle à l'interface eau-sédiment).

Peut-on attribuer cet appauvrissement constaté en 1997 à une incidence directe des rejets des résidus de traitement de bauxite?

Les analyses effectuées sur les prélèvements communs aux années 1991 et 1997 confirment l'influence de la bathymétrie associée à la sédimentation sur la distribution des peuplements de la pente continentale. Aucun des traitements statistiques réalisés ne permet de mettre en évidence une incidence des rejets usiniers. Le seul changement notable observé entre les deux périodes de prélèvement est une diminution de la fraction fine inférieure à 63 µm des sédiments de la pente traduisant une évolution des apports particuliers dans le secteur de Cassidaigne. A ce jour, les études sur la dynamique des peuplements bathyaux dans l'océan mondial sont trop parcellaires pour déterminer les causes précises ayant pu induire les changements observés. Différents facteurs sont susceptibles d'entraîner dans l'étag bathyal une variation générale de la composition des peuplements tels qu'une modification de la qualité des apports trophiques ou des conditions de sédimentation évoluant dans le temps. Outre les résidus de traitement de bauxite, la zone de Cassidaigne est soumise à divers apports induits notamment par le courant liguro-provençal, l'émissaire de Cortiou et le Rhône. L'appauvrissement constaté en 1997 ne se limite pas aux stations les plus proches du rejet Péchiney, mais touche l'ensemble du plateau et de la pente continentale non directement sous l'influence des rejets Péchiney. Se manifestant aussi bien à l'est qu'à l'ouest de l'axe du canyon, les modifications observées au sein des peuplements macrobenthiques semblent beaucoup plus influencées par une évolution des conditions environnementales globales induites à grande échelle par la circulation générale que par un phénomène local.

Bilan de l'utilisation de la bauxaline en horticulture (Rapport D. DAUDIN, Ecotechnologie).

Plusieurs actions ont été entreprises depuis 1994 sur l'utilisation de la bauxaline en horticulture. Après une étude de la caractérisation de la « bauxaline » sous l'angle agronomique (caractérisation analytique et recherches bibliographiques), deux essais ont été mis en place « essai usine » et « essai Centre de Recherche ». La création de la plate-forme de la décharge d'Entressen a permis de suivre le comportement agronomique et géotechnique de la bauxaline dans des conditions de mise en œuvre en grandeur réelle ; de même un test agronomique en grandeur réelle a été réalisé lors de la création d'un espace vert autoroutier (ASF) qui a montré la limitation des problèmes de désherbage lors de l'utilisation de la bauxaline. Enfin, des essais d'incorporation de la bauxaline dans des supports de culture ont été réalisés après définition d'un cahier des charges ; des contrôles environnementaux ont été effectués sur les substrats et les végétaux.

Les résultats présentés concernent principalement deux parties : i) synthèse des résultats 1994-1998 des essais de Gardanne (rapport décembre 1998) et ii) mise au point d'un substrat horticole à base de bauxaline : résultats des essais en conteneurs (rapport décembre 1998). Seuls les principaux résultats et conclusions de ces deux rapports sont fournis ci-après.

I. Synthèse des résultats 1994-1998 des essais de Gardanne

L'objectif des essais était de tester la possibilité d'utiliser la bauxaline en tant que support agronomique pour des plantations d'arbres et d'arbustes sur le site de l'usine de Gardanne. Deux planches ont été mises en place en avril 1994 :

- i) une planche d'essai de 720 m² destinée à optimiser les conditions agronomiques de mise en œuvre : recherche des espèces végétales adaptées : 23 espèces ont été plantées et choisies en fonction de leurs capacités à coloniser des milieux fortement basiques et salés. Trois blocs ont été distingués : bloc 1, bauxaline seule ; bloc 2, bauxaline et 15 % de marcs de café et bloc 3 : bauxaline et boues résiduelles issues de la station d'épuration de Marseille.
- ii) une planche d'essai de 120 m² destinée à évaluer l'impact de l'utilisation de la bauxaline sur la qualité des eaux de drainage (« essai Centre de Recherche ») avec

deux blocs le premier témoin avec sol d'origine et le second avec 50 % de sol d'origine, 35 % de bauxaline et 15 % de marcs de café.

Au moment de la mise en place des essais, pour pallier les éventuelles carences induites par la pauvreté des substrats, une fertilisation a été appliquée « en plein » sur les différents traitements et en localisation sur chacun des végétaux. Aucune fertilisation a été apportée par la suite. L'essai « Centre de Recherche » a été irrigué par le réseau d'aspenseurs existant et l'essai « usine » était arrosé par un réseau d'irrigation au goutte à goutte. Dans le but de connaître le comportement des végétaux par rapport à leurs besoins en eau dans le milieu spécifique de la bauxaline, l'irrigation a été supprimée sur une rangée sur deux depuis le début de 1997. Les travaux d'entretien se sont limités à trois désherbages chimiques effectués sur l'essai usine avec un désherbant systémique (Round Up utilisé à faibles doses, 20 ml par l d'eau) complétés par des désherbages manuels au pied des plantations.

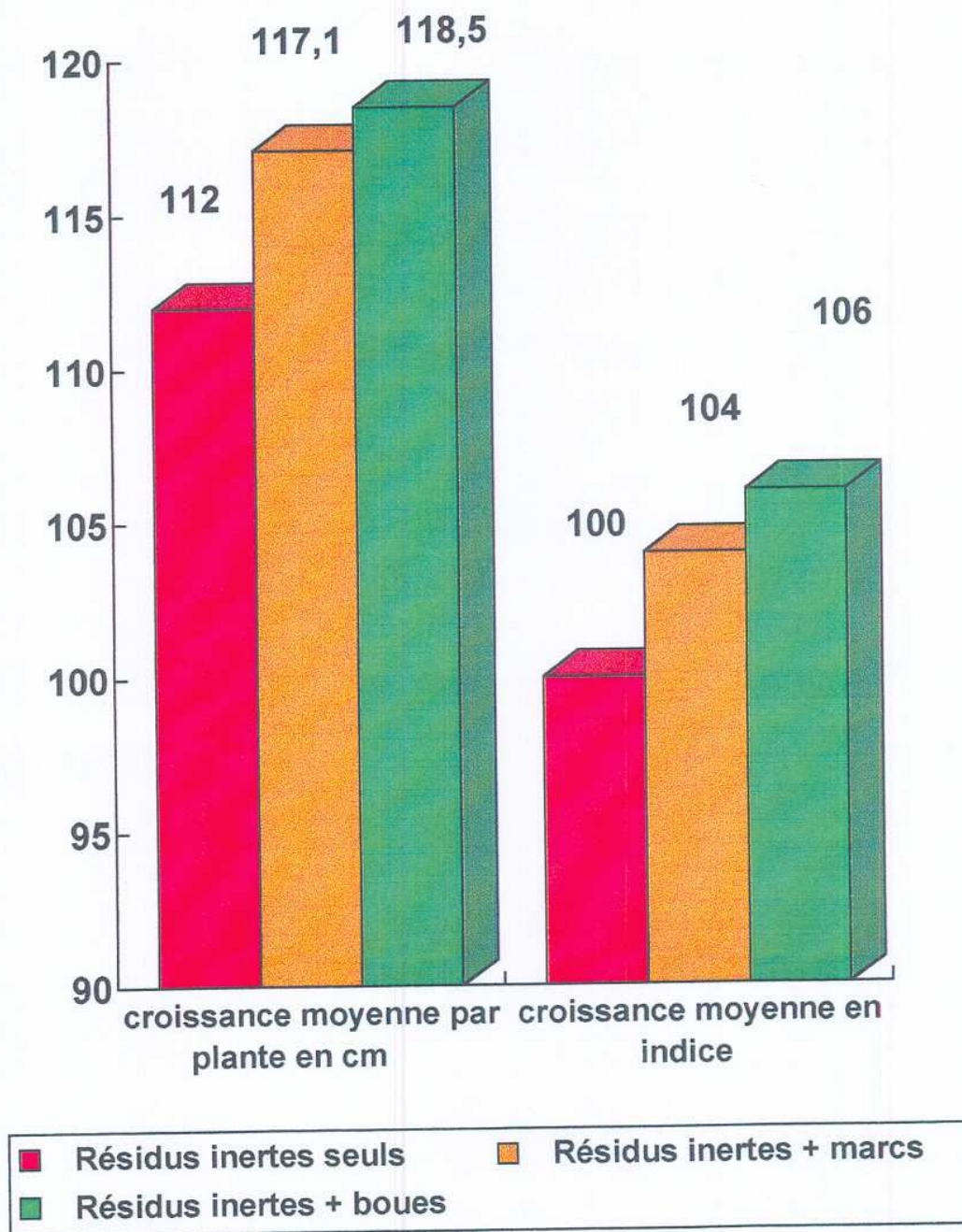


Figure 10. Croissance moyenne toutes espèces confondues entre 1994 et 1998 (en cm et en indice).

Tableau V. Croissance des végétaux de l'essai usine entre 1994 et 1997 (en cm).

Espèces	Végétales	Croissance moyenne
Pinus laricio calabrica	Pin laricio	57,5
Pinus pinea	Pin pignon	66,2
Pinus halepensis	Pin d'alep	61,6
Tamaris petendra	Tamaris d'été	152
Eleagnus angustifolia	Olivier de Bohème	101,6
Atriplex halimus	Pourpier de mer	0
Aronia melanocarpa	-	30,5
Alnus cordata	Aulne à feuilles en cœur	111,4
Colutea arborescens	Baguenaudier	72,5
Cotoneaster lacteus	-	74,9
Prunus spinosa	Prunellier	0
Baccharis halimifolia	-	111,2
Rosa canina	Eglantier sans épines	228,6
Berberis wilsonia	-	57,7
Ligustrum ovafolium	Troène commun	37,8
Hippophae rhamnoides	Argousier	99
Lycium europaeum	Lyciet commun	103,2
Moyenne toutes espèces		83,2

I.1. Résultats agronomiques

I.1.1. Suivi des végétaux

Les résultats obtenus depuis la mise en place des essais en 1994 permettent de classer les espèces végétales en fonction de leur adaptabilité à se développer dans le milieu spécifique de la bauxaline (Tableau V). Certaines espèces prospèrent de façon tout à fait satisfaisante (pins et tamaris), d'autres ont une croissance très limitée et présentent des symptômes de phytotoxicité pouvant aller jusqu'à la mortalité des sujets au bout de quelques mois (Pourpier de mer, Prunellier, Aronia).

La figure 10 illustre la croissance moyenne de toutes les espèces confondues entre 1994 et 1998, elle montre que la croissance est plus faible chez les végétaux du bloc 1 plantés sur de la bauxaline seule que chez les végétaux des blocs 2 et 3 où les croissances sont très proches. Le fait d'avoir supprimé l'arrosage sur la moitié des plants ne semble pas avoir eu d'incidence notable sur leur croissance. Il est cependant noté une croissance plus faible chez les espèces sans irrigation (Figure 11) ce qui est tout fait normal.

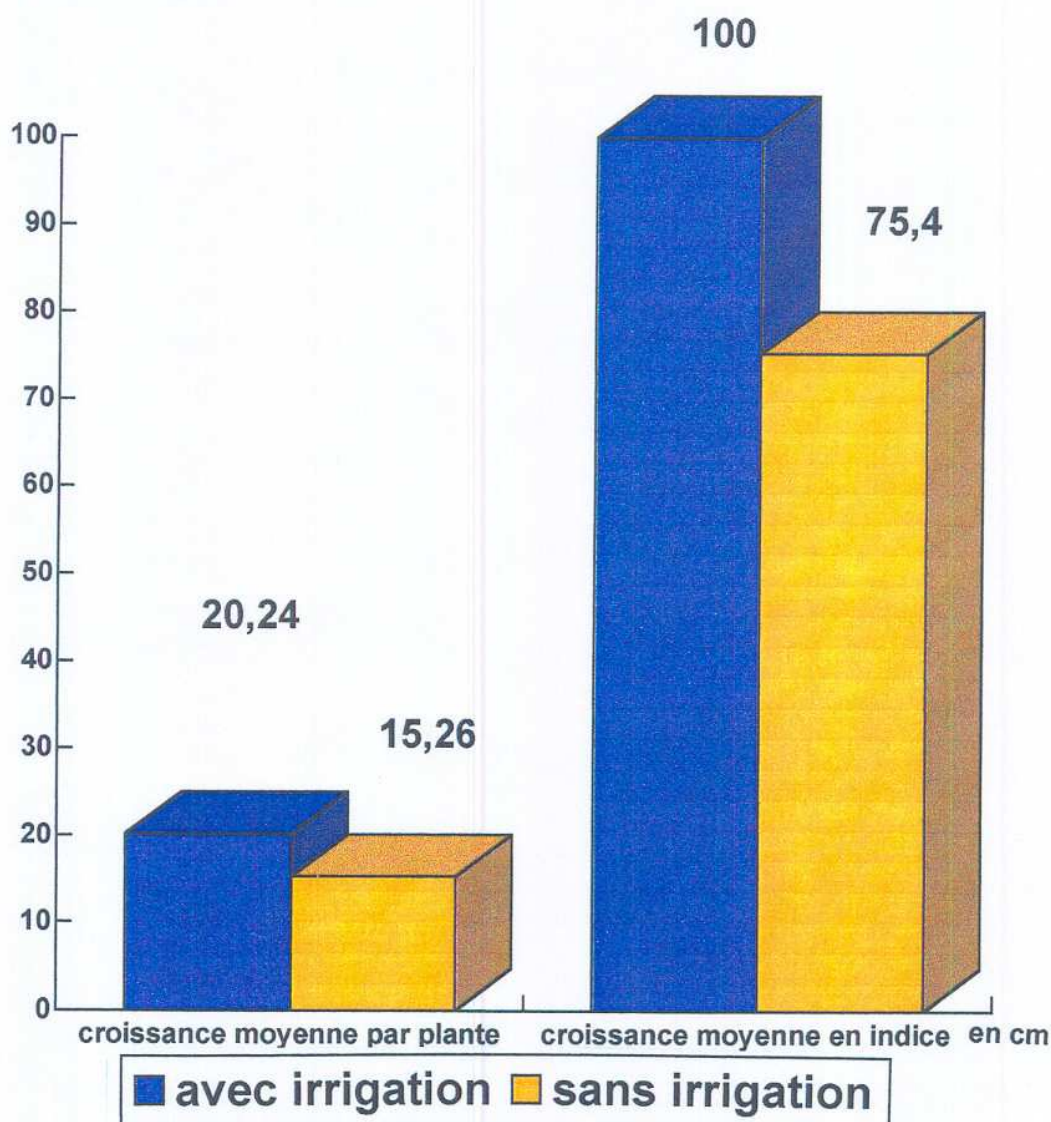


Figure 11. Croissance toutes espèces confondues avec irrigation et sans irrigation (dans les résidus purs).

I.1.2. Analyse des substrats

Le pH reste pratiquement stable dans les trois substrats et l'effet tampon des apports d'amendements organiques en mélange avec la bauxaline pure est toujours très limité (Tableau VI).

Tableau VI. Evolution du pH dans les différents substrats entre 1994 et 1998 (essai usine).

	Bauxaline seule	Bauxaline + boues	Bauxaline + marcs
pH eau 1994	10,0	9,2	9,6
pH eau 1995	9,9	8,0	9,1
pH eau 1996	9,5	9,6	9,4
pH eau 1997	9,8	9,0	9,5
pH eau 1998	9,5	8,9	9,5

Les caractéristiques chimiques des différents mélanges ne présentent qu'une évolution limitée depuis la mise en place des essais (Tableau VII).

Tableau VII. Caractéristiques agronomiques des différents substrats en 1998 (essai usine).

	Bauxaline seule	Bauxaline + boues	Bauxaline + marcs
Matières organiques (g/kg)	8,9	55,0	48,0
Azote total (g/kg)	0,23	2,91	2,65
pH eau	0,5	8,9	9,5
Calcaire total (CaCO ₃ g/kg)	172	141	125
Phosphore JH (P205 g/kg)	0,276	0,287	0,709
Magnésium (MgO g/kg)	0,06	0,37	0,23
Potassium (K20 g/kg)	0,11	0,20	0,23

I.2. Contrôles environnementaux

I.2.1. Qualité des eaux de drainage

Les résultats des analyses réalisées sur les eaux de drainage des essais du Centre de Recherche sont présentés dans le tableau VIII. Le pH demeure un peu basique mais sa valeur est proche de l'eau d'irrigation. Malgré des amplitudes assez fortes d'une analyse à l'autre, la teneur en calcium reste proche de celle de l'eau d'irrigation. Il n'y a donc pas de lessivage de calcium. Les teneurs en sodium évoluent peu et restent très élevées en regard de l'eau d'irrigation. Le lessivage de la soude résiduelle est très lent en raison probablement des caractéristiques physiques particulières de la bauxaline. Les teneurs en aluminium des eaux de drainage sont très faibles en 1998 et proches de celle de l'eau d'irrigation ; le lessivage de l'aluminium est donc limité. Les mesures de chrome donnent des résultats identiques à celle de l'eau d'irrigation. La conductivité montre une tendance croissante assez régulière, ce paramètre se corrèle directement avec la teneur en soude résiduelle.

Tableau VIII. Comparaison des moyennes annuelles des résultats d'analyses des eaux de drainage entre 1994 et 1998 (essai Centre de Recherche).

	1994	1995	1996	1997	1998	Eau d'irrigation
pH	7,55	7,55	7,92	7,80	7,93	7,80
Calcium (mg/l)	57,60	103,90	55,74	71,80	79,30	77,10
Sodium (mg/l)	122,70	138,95	190,80	175,90	236,33	5,60
Aluminium (mg/l)	0,270	0,700	0,643	<0,040	0,034	<0,020
Chrome (mg/l)	0,02	<0,01	<0,03	<0,03	<0,01	<0,01
Conductivité (mS/cm)	0,95	1,17	1,21	1,15	1,39	0,55

I.2.2. Evolution de la bauxaline en fonction de l'irrigation

Des analyses sont réalisées sur la bauxaline sur des échantillons prélevés juste au pied des végétaux irrigués dans la zone du bulbe d'irrigation (donc soumise à des conditions de lessivage intenses) et en milieu de planche, en zone non irriguée. L'irrigation provoque une baisse significative du pH (0,7 unité environ) qui accompagne le lessivage de la soude résiduelle marqué par une différence significative au niveau des teneurs en sodium soluble à l'eau entre zone irriguée (environ 0,1 g/kg) et zone non irriguée (environ 0,3 g/kg). Il est constaté que l'irrigation provoque une diminution significative de la teneur en chrome total de la bauxaline (Figure 12).

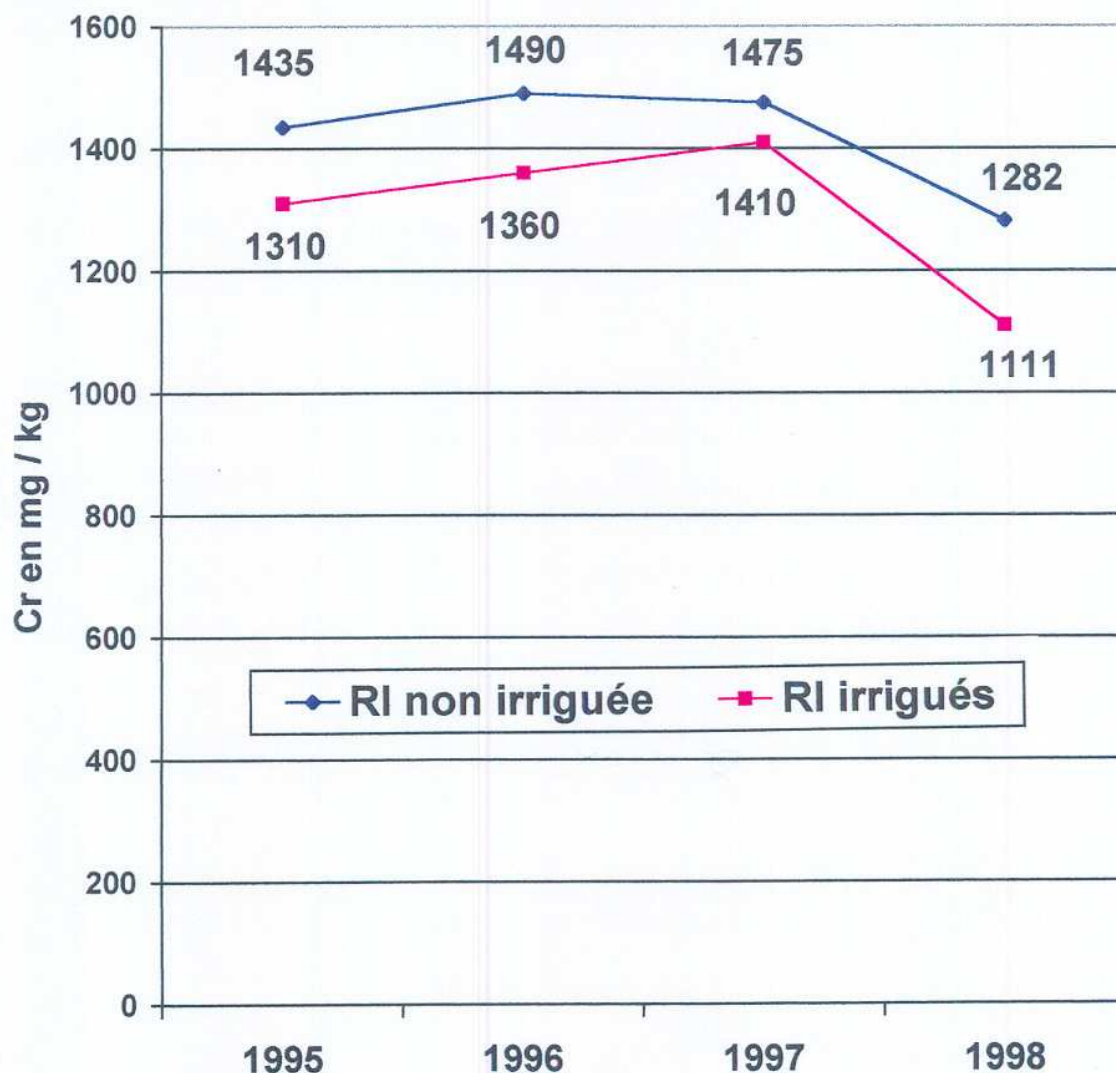


Figure 12. Evolution du chrome total dans les résidus irrigués et non irrigués.

I.2.3. Evolution de la bauxaline en fonction de la profondeur

Dans le but d'approcher l'évolution des substrats en fonction de la position dans le profil vertical et d'évaluer la dynamique de la migration des éléments qu'ils renferment, des analyses ont été réalisées à la fois dans la zone irriguée et dans la zone non irriguée, en surface (0-10 cm) et plus en profondeur (40-50 cm). Les résultats appellent les remarques suivantes :

- i) il est retrouvé en profondeur la fraction de sodium qui a migré dans la bauxaline non irriguée alors que dans la bauxaline irriguée, le lessivage a été si intensif que le sodium a probablement migré plus bas. Cette différence s'accompagne naturellement de diminution de pH et de la conductivité de la zone irriguée ;
- ii) pour les éléments moins solubles que la soude, le chrome et le vanadium, il est constaté que les deux éléments migrent en profondeur lors de l'irrigation et qu'il n'y a pratiquement pas de différences entre surface et profondeur dans le substrat non irrigué.

I.2.4. Solubilisation du chrome en fonction du pH

Dans le but de connaître les risques de solubilisation du chrome contenu dans la bauxaline en fonction du pH, des analyses ont été réalisées sur des échantillons traités par des solutions d'acide chlorhydrique de concentration croissante (Tableau IX).

Les résultats permettent de souligner les points suivants :

- i) la solubilité du chrome reste faible (bien que légèrement croissante) entre pH 7,3 et pH 9,16. Elle est en revanche très élevée aux pH acides ; cette solubilité suit en fait une courbe de forme exponentielle ;
- ii) en conditions neutres ou basiques, la solubilisation du chrome reste limitée. En conditions acides voire très acides, la mobilisation du chrome est importante puisque par exemple, à pH 3,75, 10 % environ du chrome total contenu dans la bauxaline est directement solubilisé ;
- iii) il serait intéressant de connaître la solubilisation du chrome dans des conditions très basiques (pH>12).

Tableau IX. Concentration en chrome de solutions d'attaque de bauxaline à pH décroissants. 1 : normalité des solutions acides utilisées 1N=1mol/l ; 2 : concentration en moles d'acide ramenée à l'échantillon solide ; 3 : concentration en chrome de la solution ramenée à l'échantillon solide.

Concentration HCL en solution (1)	Concentration HCL. Echantillon (2)	pH	Cr en mg/kg (3)
0	0 mol/kg	9,16	1,77
0,01 N	0,25mol/kg	7,99	1,56
0,02 N	0,50 mol/kg	7,56	1,53
0,05 N	1,25 mol/kg	7,12	1,40
0,08 N	2,00 mol/kg	6,94	1,32
0,10 N	2,50 mol/kg	7,33	1,03
0,15 N	3,75 mol/kg	4,44	76,7
0,20 N	5,00 mol/kg	3,75	180

I.2.5. Principales conclusions

Les résultats obtenus depuis la mise en place des essais montrent que certaines espèces végétales sont tout à fait adaptées pour croître sur de la bauxaline. Les différences de croissance

observées au départ entre la bauxaline pure et la bauxaline mélangée à des déchets organiques ont tendance à s'estomper au bout de trois années d'essai. Cependant les essais sur des céréales ont montré l'impossibilité d'utiliser la bauxaline support pour des semis de blé, ceux-ci se montrant encore plus sensibles que les graines de graminées.

L'évolution de la bauxaline est lente et l'«effet tampon» attendu des mélanges avec des sous-produits organiques est limité. Il est néanmoins constaté que les végétaux trouvent dans les différents mélanges l'eau et les éléments nutritifs en quantités suffisantes pour assurer leur croissance dans des conditions acceptables.

Le lessivage de la soude résiduelle, encore largement en cours après quatre années, se marque de plusieurs façons :

- i) la présence de sodium en quantité importante dans les eaux de drainage collectées sur la plate-forme du Centre de Recherche ;
- ii) le lessivage est accentué par les effets d'un arrosage intensif alors que dans les conditions naturelles, le sodium se déplace pour se retrouver en fond de profil ;
- iii) la présence de soude résiduelle se marque par une conductivité et un pH élevés du milieu ;
- iv) une partie du sodium en excès est absorbé par le végétal et il est retrouvé dans les parties aériennes.

Le chrome est peu soluble et se solubilise peu, surtout en milieu alcalin, ce qui se traduit par son absence dans les eaux de drainage de l'essai du Centre de Recherche. Une irrigation intensive déplace une partie du chrome en profondeur et on ne constate pas d'accumulation de chrome dans les parties aériennes. Le vanadium se comporte comme le chrome.

II. Mise au point d'un substrat horticole à base de bauxaline : résultats des essais en conteneurs.

Pour pouvoir être utilisés en tant que substitut à de la terre végétale ou en tant que support de culture pour les plantes ornementales, la bauxaline doit nécessairement être enrichie par mélange avec des matériaux organiques et fertilisés. Pour répondre à une demande potentielle dans ce segment de marché spécifique, le substrat ainsi obtenu doit être suffisamment élaboré et avoir des caractéristiques permettant une utilisation en tant que matériau agronomique d'usage suffisamment polyvalent.

II. 1. Protocole expérimental

Les essais en conteneurs mis en place au Centre d'Expérimentation de la Pépinière Méridionale, à Avignon qui se sont déroulés du 14 mars au 23 septembre 1998, ont eu pour but de savoir s'il était possible de mettre au point un tel substrat pour cultures en conteneurs de végétaux d'ornement, en choisissant une espèce plutôt sensible aux problèmes de pH et de salinité (le romarin officinal) et une autre espèce passant au contraire pour être résistante (le laurier rose). Ces essais ont porté sur le mélange d'un substrat horticole de référence (tourbe 50 % + pouzzolane 50 %) avec des proportions croissantes de bauxaline (0, 25, 50 et 100 % avec 100, 25, 50 et 0 % du substrat de référence) ; un traitement particulier a également consisté à incorporer de la terre pour simuler des conditions d'usage en aménagement de type horticole (1/3 de terreau horticole + 1/3 de terre limono-argileuse + 1/3 de bauxaline). L'expérience a donc porté sur cinq conteneurs par traitements et par espèce, soit cinq traitements, deux espèces et deux réplicats pour un total de 100 conteneurs de 3 litres.

Un engrais à effet retardé a été apporté en début d'expérience à raison de 8 g par conteneur pour l'ensemble des traitements. Cet apport avait pour objectif de compenser la fertilité chimique tout à fait réduite des substrats utilisés. La composition précise de l'engrais (« Compo Expert » de BASF) est la suivante : 15 % N total dont 4,2 % nitrique, 5,8 % ammoniacal et 5 % organique ; 9 % P2O5 soluble dans le citrate d'ammonium dont 4,5 % solubles dans l'eau et 15 % K2O soluble dans l'eau. La fréquence des arrosages par rampe oscillante a été programmée sur la base des données de la station météorologique du site d'expérimentation. Cette fréquence est établie de façon à ce que l'eau ne soit pas un facteur limitant.

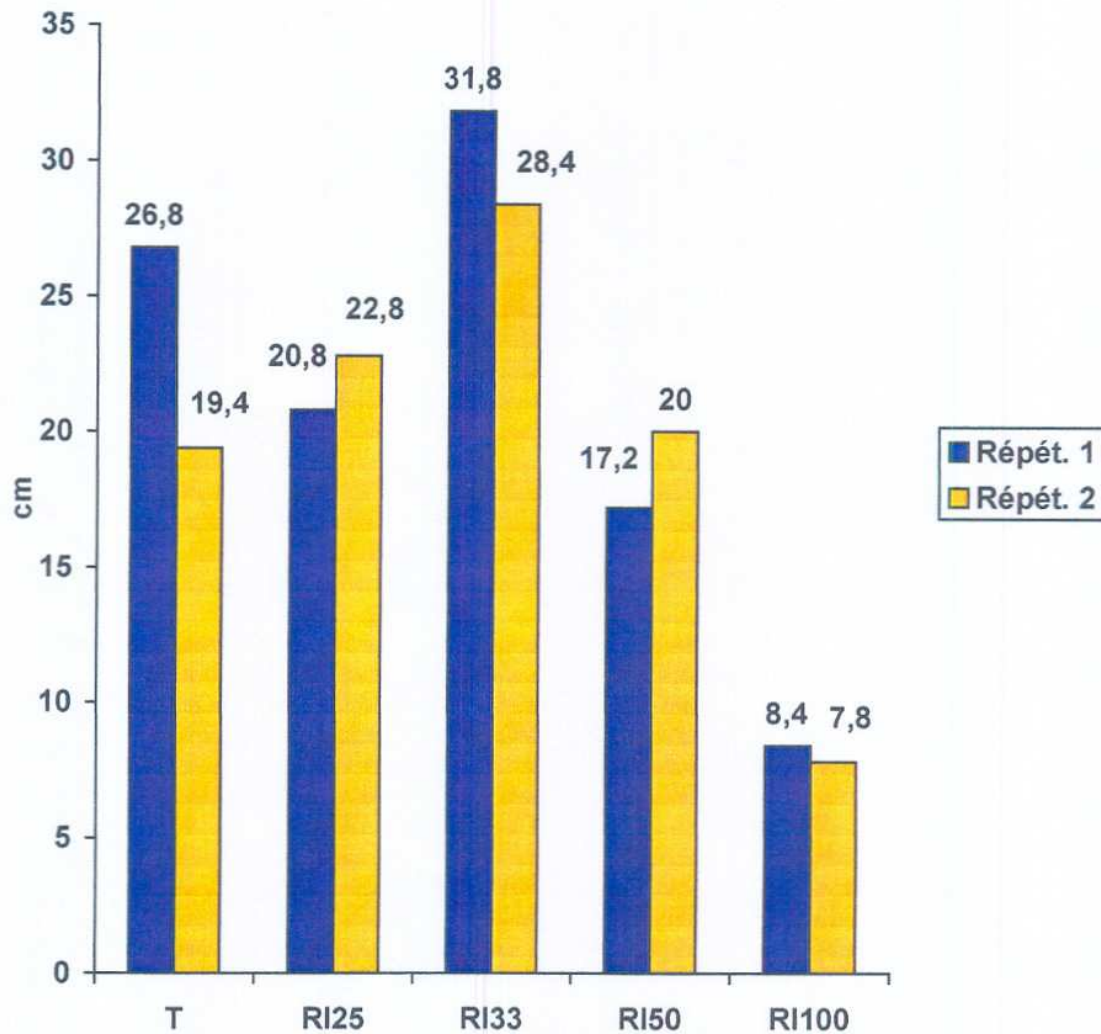


Figure 13. Résultats des mesures de croissance sur le laurier rose (en cm).

II.2. Résultats agronomiques

II.2.1. Contrôle de croissance

Les hauteurs des végétaux ont été mesurées pour chacun d'entre eux en début et en fin de campagne de façon à calculer la croissance par différence.

Sur les lauriers roses, dans les deux répétitions, les meilleurs résultats sont obtenus dans le mélange 1/3, 1/3, 1/3 ; les croissances sont inversement proportionnelles à la dose de bauxaline incorporée aux substrats (Figure 13). Sur les romarins (Figure 14), les résultats sont encore plus marqués puisqu'il a été constaté une mortalité de tous les individus mis en place dans la bauxaline pure. Ces résultats s'expliquent par la présence de soude résiduelle dans la bauxaline qui s'accompagne d'un pH très élevé. Il a pu d'ailleurs être observé que les différences très marquées entre les différents traitements dans les premières semaines suivant la mise en place de l'essai s'estompent progressivement au fur et à mesure que la soude est lessivée.

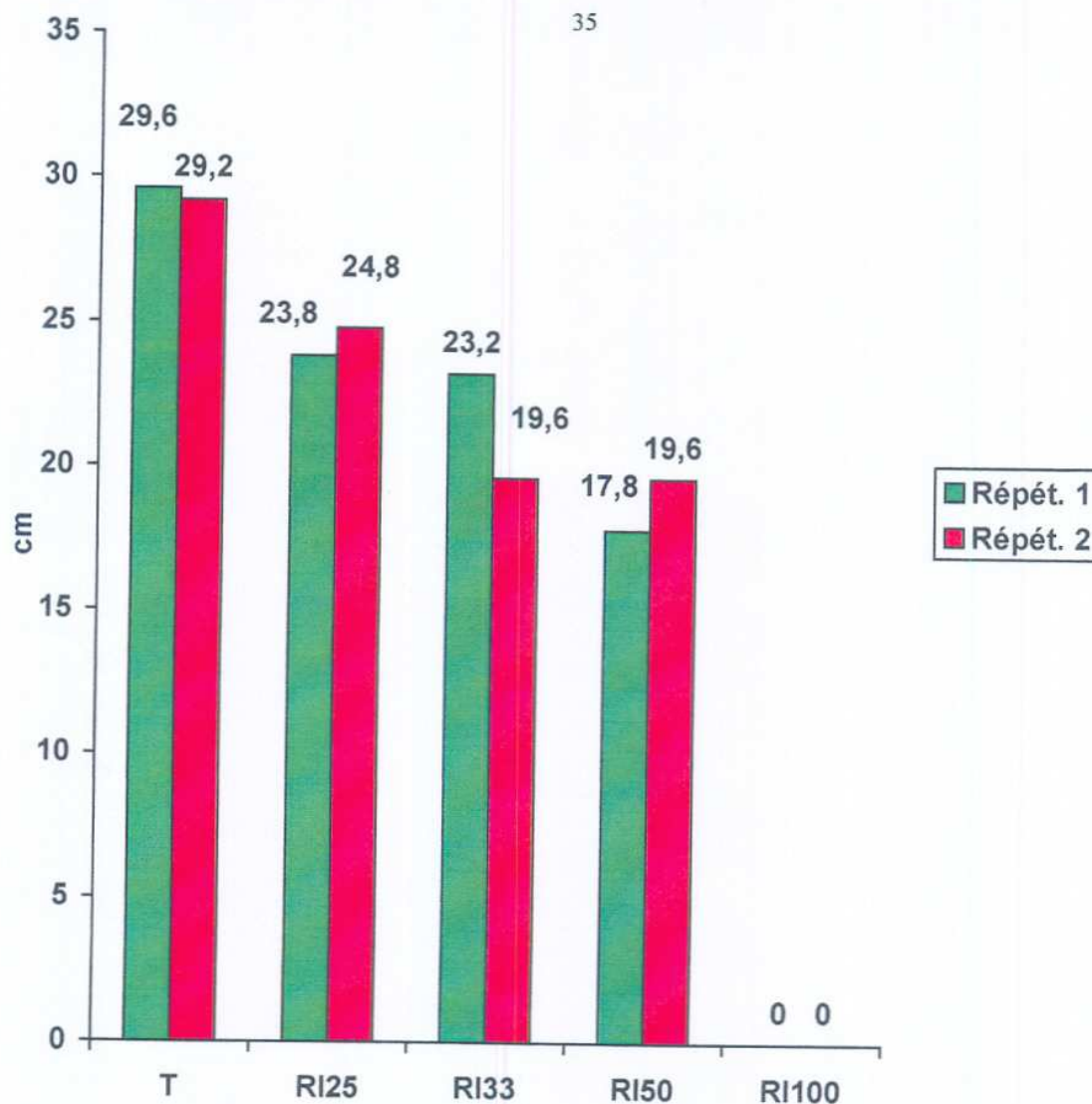


Figure 14. Résultats des mesures de croissance sur le romarin officinal (en cm).

II.2.2. Contrôle analytique sur les substrats

Des prélèvements ont été réalisés dans les différents traitements en début d'essai (le 28 avril) et après cinq mois (le 22 septembre). Le pH et la conductivité (qui marquent la présence de sodium sous forme de soude) présentent des valeurs directement proportionnelles au pourcentage de bauxaline incorporée dans le milieu. Après cinq mois, le lessivage de la soude, lié à une irrigation par aspersion assez intensive, est suffisant pour créer des conditions de milieu permettant aux végétaux de survivre, même aux très fortes doses. La croissance des plantes est cependant très ralentie pour les lauriers roses mis en place dans la bauxaline pure.

II.3. Prescriptions pour les utilisations « agronomiques » de la bauxaline

La bauxaline peut être utilisée en tant que composant support de culture pour des plantes ornementales et strate herbacée ; il convient néanmoins de respecter certaines précautions :

i) pour des arbres et des arbustes : proportion de bauxaline < 50 %, éviter de planter des espèces trop sensibles aux excès de salinité, favoriser un lessivage préalable de la soude résiduelle avant de mettre les jeunes plants. Les limites proposées pour un substrat final pourrait être : pH < 9 ;

conductivité sur extrait au $1/5 < 0,8 \text{ mS}$; sodium total $< 2 \%$ de la matière sèche et sodium soluble $< 0,8 \%$ de la matière sèche.

- ii) pour les semis de strate herbacée : lessivage préalable d'une fraction de la soude résiduelle (attendre 3 à 4 mois avant de semer) ; terreautage de surface préalable pour limiter les problèmes d'inhibition de la germination et semer des variétés rustiques.

Utilisation de liants organiques et minéraux pour la fabrication de palettes et soucoupes pour Swin-Trip (Rapport de M. Blazy).

Plusieurs procédés ont été testés.

I. Fabrication de palettes avec des huiles siccatives.

L'étude de fabrication des palettes à base de bauxaline et d'huiles siccatives a d'abord consisté à effectuer des tests d'orientation basée sur différents paramètres :

- types et proportion massique d'huiles polymérisables :
 - * huiles à groupement polyéthylénique (huiles de lin, de colza, de pépins de raisin, de tournesol) ;
 - * huile à noyau hexagonal (huile de pin).
- humidité de la bauxaline,
- temps de malaxage,
- pression de compression,
- température de cuisson,
- durée de cuisson,
- ajout d'oxydants (afin de faciliter la polymérisation),
- ajout de tensioactifs.

Les palettes sont confectionnées par compression entre deux disques plats en acier inox, dans un moule fabriqué par le laboratoire. En fonction de la quantité de matière utilisée, 35, 50 et 65 g, elles ont les dimensions suivantes : diamètre = 70 mm, épaisseur = 3,5 et 7 mm, respectivement. La fabrication est opérée en deux temps : i) mise en forme dans un moule à plat et extraction de la palette crue et ii) cuisson en four à moufle en simulant une montée de température comme cela aurait lieu en four tunnel.

Les tests d'orientation ont montré que la bauxaline ne doit pas être séchée (sinon les palettes sont friables), mais son taux d'humidité ne doit pas dépasser 20 % environ, et que si le temps de malaxage (bauxaline et huile) est supérieur à 30 minutes, le mélange nécessite un temps de repos d'environ une heure pour pouvoir être moulé. Les différentes huiles testées ont donné des palettes de caractéristiques quasiment identiques. La suite de l'étude a donc été réalisée avec l'huile de lin. Après examen macroscopique des palettes plates et après les résultats des lancers et des tirs, les valeurs de fabrication suivantes ont été fixées : humidité de la bauxaline : 20 % ; huile de lin : 3,5 % ; temps de malaxage : 20 minutes ; pression 40 kg/cm² ; température de cuisson : 250 °C et temps de cuisson : 30 à 60 minutes.

II. Fabrication de soucoupes Swing-Trip

Un moule a été fabriqué par l'utilisateur potentiel pour donner la forme la forme des soucoupes de type standard (hauteur 25 mm, diamètre 110 mm, poids de 105 à 110 g).

Deux huiles ont été testées : l'huile de pin et l'huile de pépins de raisin. Les résultats sont décevants : les soucoupes ne résistent pas à l'action brutale du lanceur. Aucun tir n'a pu être effectué. Des essais de recuit ne se révèlent pas plus concluants. Des quantités d'huile supérieures à 5 % entraînent une fissuration à la compression dans le moule.

III. Fabrication à froid de palettes avec des ciments

Des palettes fabriquées dans le moule à disques plats, avec du ciment alumineux et Portland à raison de 10-15 %, ont été testées au lancer et au tir. La pression mise en œuvre est de 60 kg/cm². Les résultats de lanceur sont bons dans tous les cas. Les résultats de tir montrent que les palettes fabriquées avec le ciment alumineux sont trop dures mais que celles fabriquées avec 10 % de ciment de Portland conviennent.

Des essais ont cours actuellement sur la fabrication avec du ciment Portland de soucoupes Swin-Trap qui seront soumises ultérieurement à des essais de tir. Le ciment alumineux n'est pas testé car les palettes fabriquées avec ce liant se sont avérées trop résistantes.

IV. Propositions

Il convient dans un premier temps de terminer les tests de fabrication en cours des soucoupes Swin-Trap avec le ciment Portland puis fabriquer un moule de forme plus plate de type SIVA. Pour ce faire, on devra prévoir un poussoir dans la partie femelle pour extraire facilement la soucoupe crue comme c'est le cas avec les fabrications classiques. Il conviendra par la suite de i) de tester suivant les conditions déjà définies une huile siccative et fabriquer une dizaine de soucoupes de type SIVA pour les tests de lancer de tir ; ii) de tester la fabrication de soucoupes de type SIVA et Standard avec du ciment en modulant pression et quantité de ciment et fabriquer une dizaine de soucoupes pour les tests de lancer et de tir ; et iii) de vérifier l'évolution de la résistance au tir dans le temps des soucoupes fabriquées avec le ciment (résistance au bout de trois jours, trois mois et un an).

Rapport de G. Tilmant sur l'avancement des travaux entrepris par Aluminium Péchiney sur l'emploi de la bauxaline en 1998 et sur les projets d'études 1999.

Activités 1998

I. Un nom pour les résidus de traitement de bauxite

Un concours organisé auprès de l'ensemble du personnel du site de Gardanne a permis de retenir le nom de BAUXALINE pour les résidus de traitement de la bauxite.

II. Opération pilote du CET de la Malespine

Collaboration SEMAG (Société d'Economie Mixte d'Aménagement de Gardanne et sa région) et Aluminium Péchiney pour une opération pilote de couverture du Centre d'Enfouissement Technique : 8000 m² avec utilisation de 12000 tonnes de bauxaline pour valider à l'échelle industrielle des tests déjà effectués.

L'objectif est de déterminer un type de couverture optimal, et de mettre au point une technique fiable et reproductible d'utilisation de la bauxaline, en tant que matériau de couverture et de végétalisation des C.E.T.

L'opération s'est déroulée en quatre phases :

- i) définition du pilote réalisée par le bureau d'études SIMESCSOL, à partir de la caractérisation géomécanique et géochimique de la bauxaline sur les conseils de la DRIRE et de la D.D.E.
- ii) aménagement de la zone pilote, 12000 tonnes de bauxaline. La structure type de couverture est conçue de bas en haut : déchets ménagers, couche primaire de 30 à 40 cm de terre, membrane géotextile, couche drainante de graves 20/40 de 10 à 15 cm d'épaisseur, couche de bauxaline compactée de 50 cm à 1 m et couche de terre végétale de 30 à 60 cm d'épaisseur ;

- iii) végétalisation définie à partir de l'étude générale de réhabilitation du site réalisée par l'O.N.F. ;
- iv) suivis et contrôles géochimiques, géomécaniques et agronomiques effectués par le bureau d'étude GESTER et l'O.N.F. sur deux ans.

Le pilote comprend en outre, une planche test de 1000 m² sur laquelle la couche de terre végétale a été remplacée par de la bauxaline amendée minéralement.

Une plaquette commune intitulée « Un nouveau débouché pour les résidus de bauxite : la couverture des Centres d'Enfouissement Technique » AP - SEMAG a été produite et présentée au CSS.

III. Palettes Swin-Trap (voir le rapport de M. BLAZY).

IV. Mélanges bauxaline et argile.

Le but de ce mélange est d'obtenir un produit de perméabilité $K < 10^{-9} \text{ m/s}$. Pour ce faire deux actions ont été entreprises : i) déchets Service AP - DAMREC, essais en laboratoire et planche d'essais sur le C.E.T. des Cadeneaux et ii) essais en laboratoire pour la création d'alvéoles de décharge classe 1 sur le site de l'Estaque METALEUROP (collaboration METALEUROP AP ANTEA).

V. Horticulture (voir le bilan des essais présenté par M. DAUDIN de la Société ECOTECHNOLOGIE)

VI. Coulis d'injection pour le comblement de cavités souterraines

Convention EDF/TEGG - AP Gardanne pour la mise au point des formules pour répondre aux critères de résistance mécanique (5 MPa) et d'injectabilité du mélange bauxaline + cendres volantes + ciment. Etablissement d'un projet pour le pilotage de comblement de tranchées sur le site de Mange-Garri.

VII. Matériaux de construction

Convention AP Gardanne - Ciment d'Obourg - INSA de Lyon. Deux axes sont abordés : i) utilisation de la bauxaline dans les bétons sous forme sèche et en slurry : l'application filler (B25) ne présente pas d'intérêt ; en revanche l'application BAN (béton auto nivelant) est intéressante en slurry et broyé ; ii) utilisation comme pigment pouzzolanique ne présente pas d'intérêt mais la calcination donne une palette de couleur intéressante.

VIII. Utilisation de la bauxaline pour le blocage des métaux lourds et l'absorption d'odeurs

Etude de faisabilité lancée avec R. et D. AP Gardanne et le CEREGE. Les objectifs de cette étude sont i) de contrôler les propriétés d'absorption de la bauxaline sur quelques métaux (Cu, Pb, CrVI) et ii) de contrôler les propriétés absorbantes de vapeurs d'amines et de vapeurs de solvants.

IX. Communication

Plusieurs opérations de communication ont été menées :

- i) publication de la plaquette AP - SEMAG sur l'opération pilote du centre d'enfouissement technique de Malespine ;
- ii) journée thématique Chimie à Aix en Provence (25 juin 1998) : la bauxaline : nouveaux débouchés ;
- iii) Edition Formation Entreprise : séminaire assainissement industriel Paris (28-29 septembre 1998), exposé : l'utilisation des résidus de traitement de bauxite sur le site Pechiney Gardanne ;

- iv) en préparation une brochure : Bauxaline.

Projets 1999

I. Recherches

Trois axes sont proposés :

- i) blocage des métaux lourds : caractérisation de la réactivité de la bauxaline vis à vis de déchets réels ;
- ii) colorant pour matériaux (poursuite des collaborations R. & D. AP et CEREGE et R. & D. AP et Centre de recherche «Poudres Minérales Colorées» de l'Ecole des Mines d'Alès) : valorisation de la bauxaline pour la filière couleur ;
- iii) matériaux de construction : B.A.N., étude de stabilité et de coulabilité de slurries et colorant sec, évolution des technologies utilisables pour sécher et calciner la bauxaline.

II. Opérations de pilotage

Deux opérations sont proposées :

- i) coulis d'injection : bauxaline + cendres volantes + ciment ; réalisation des essais sur Mange Garri ;
- ii) palettes Swin Trap : test pilotage pour la fabrication industrielle de palettes.

III. Commercialisation de la bauxaline

Les différents contacts établis ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- i) les usages de la bauxaline en tant que matériau utilisable pour l'aménagement des espaces verts ou en tant que support de culture semblent en fait plutôt limités compte tenu des contraintes liées à la nature du matériau (teinte rouge, absence de matière organique, granulométrie fine, présence de soude résiduelle), les utilisateurs potentiels préfèrent la terre dite « végétale », même si celle-ci est de plus en plus rare et de qualité souvent médiocre. En revanche, la bauxaline pourrait éventuellement trouver sa place dans des aménagements nécessitant des volumes très importants. Plusieurs maîtres d'ouvrages potentiels ont fait part de leur intérêt dans le cas où une telle situation se présenterait.
- ii) le réaménagement des carrières peut représenter un type de situation d'usage possible à condition que leur activité ne génère pas elle-même de co-produits susceptibles de remplir les mêmes fonctions (fines de décantation du lavage par exemple) et que les distances restent acceptables sur un plan économique.
- iii) les 18 sites ou sociétés possibles ou intéressés sont les suivants : réaménagement de la carrière Jean Lefèvre Méditerranée de Châteauneuf les Martigues, services techniques de la ville de Gardanne, espaces verts de la ville de Marseille, Société Plan Environnement, société GERLAND, société COLAS, décharge d'Aix en Provence (l'Arbois), décharge d'Arles (Ségonaux), décharge de La Ciotat (Le Mentaure), décharge de Gardanne (La Malespine), décharge de La Fare Les Oliviers (Vallon de Vautubière), décharge de Marseille (Entressen), décharge de Martigues (Valentoulin), décharge des Pennes Mirabeau (Les Cadeneaux), décharge de Peypin, décharge intercommunale de Maussane, décharges de la communauté de communes de Rousset et confortement des digues du Rhône.

- 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 ;

* une comparaison des résultats acquis à la fois sur les traceurs métalliques et la macrofaune des stations échantillonnées lors de la campagne ALPESUR avec d'autres données de Méditerranée Occidentale obtenues soit dans l'est du canyon de la Cassidaigne (région de Nice - Toulon) soit dans l'ouest du Canyon de la région du Golfe de Marseille à la frontière espagnole ;

* la poursuite des recherches sur l'emploi de la bauxaline pour les palettes de Swin trap ; l'année 1999 doit être décisive dans l'aboutissement de ce projet vers une phase industrielle ou vers un abandon de cette voie ;

* que l'intérêt que présente la bauxaline comme barrière géochimique et blocage de certains métaux et dans les bétons auto-nivellants soit valorisé par des contacts avec des industriels ;

* que des rapprochements soient entrepris avec des industries alimentaires au niveau des difficultés de séchage de produits comme celles rencontrées lors du séchage de la bauxaline ;

* que 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 demandé lors du CSS du 4 décembre 1997 soit réalisé en 1999. Le nombre de stations pourrait être réduit à cinq. Un CSS restreint se réunira début février 1999 pour examiner en détail les études d'écotoxicologie qu'il conviendra de réaliser lors de cette campagne et la façon de procéder pour un appel à contribution de laboratoires spécialistes en écotoxicologie ; deux experts externes de l'IFREMER seront invités ;

* qu'Aluminium Pechiney confie la rédaction d'un Résumé Technique du Rapport Annuel 1998 à des spécialistes de communication, le CSS se chargeant de la relecture de ce « Digest ».

Wimereux le 22 février 1999

Jean-Claude DAUVIN

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

Président du Comité Scientifique de Suivi