

**RAPPORT ANNUEL 2008**

**DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI**

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

**ALCAN-AP GARDANNE**

**WIMEREUX le 1 avril 2009**

## RAPPORT ANNUEL 2008 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 imposent des prescriptions complémentaires à Aluminium Pechiney / ALCAN 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 du 24 mai 1994 indique « La société Aluminium Pechiney proposera au service chargé de la police des eaux et à l'inspecteur des Installations classées un programme d'étude relative à la toxicité des résidus et notamment à leur persistance, accumulation, interaction et effet sur l'écosystème marin. Une attention particulière sera portée sur la bio-accumulation du chrome et du vanadium. Cette étude sera lancée dès le début de l'année 1997. A l'issue de cette étude, un programme de suivi de la toxicité des résidus sur le milieu pourra être engagé.

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

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

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

	1986	1990	1995	2000	2005	2010	2016
Quantité déposée en mer en millions de tonnes	1,04	0,5	0,33	0,31	0,25	0,18	0

### **Composition du Comité Scientifique et rôle du Comité Scientifique de Suivi (CSS)**

Le comité de suivi prévu par l'article 7 de l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994 a été mis en place par décision préfectorale en date du 30 octobre 1995. Suite à la proposition du Président du Comité Scientifique de Suivi (CSS), l'arrêté préfectoral du 10 avril 2007 a procédé à la nomination de huit membres du CSS ; cependant suite à un changement de fonction, Monsieur Jérémie DOMAS, a démissionné du CSS. Il a été décidé de ne pas procéder au renouvellement de ce membre démissionnaire pour le moment.

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

- 1) examine et analyse les résultats des travaux entrepris sur la bauxaline et le devenir en mer des résidus de traitement de bauxite ;
- 2) donne son avis sur les programmes en cours et à venir ;
- 3) produit un rapport annuel qui est ensuite présenté en séance plénière au Conseil Départemental d'Hygiène des Bouches-du-Rhône.

## Rapport 2008

Les travaux entrepris en 2008 ont porté sur : 1) l'exploitation de la campagne de prélèvements de septembre 2007 et 2) la recherche de voies d'utilisation et de valorisation de la bauxaline.

### Compte rendu de la campagne 2007

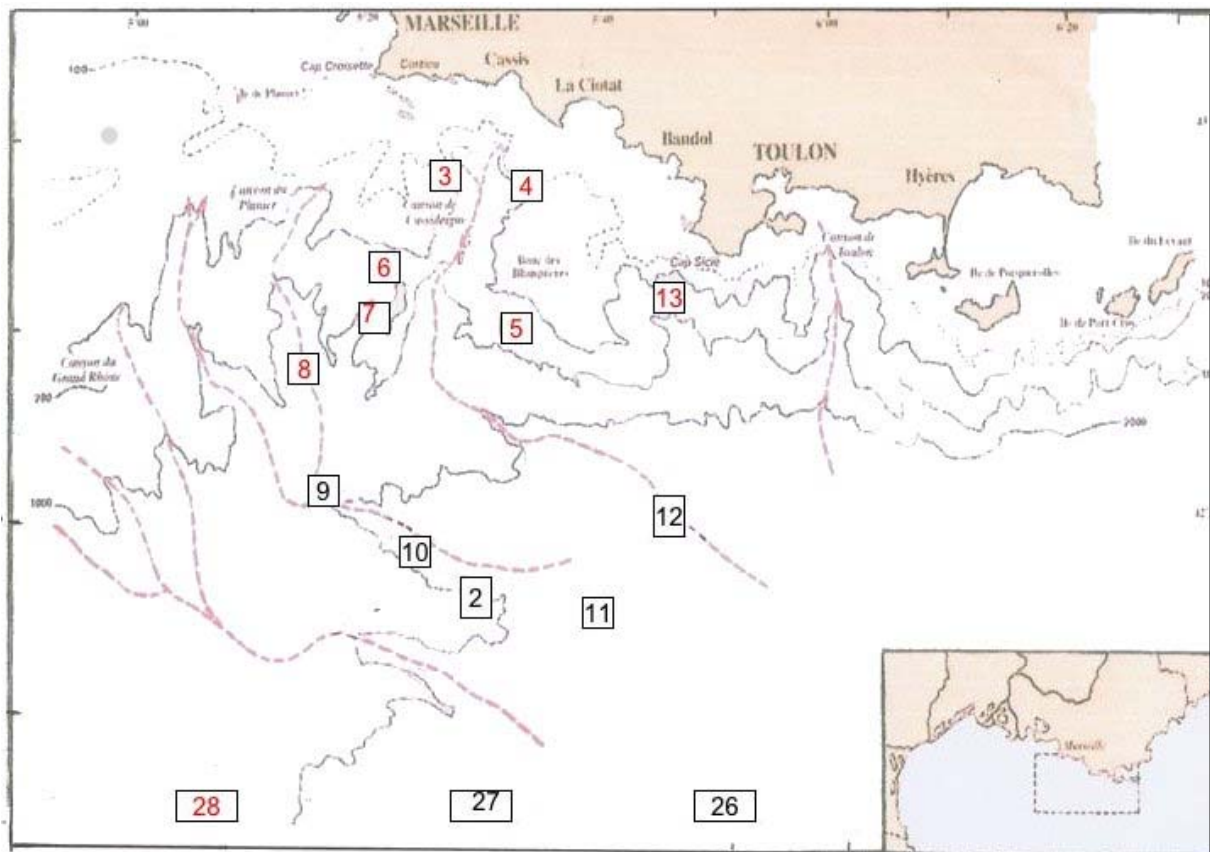
Depuis le décret 87-279 du 16 avril 1987 pris au titre de la législation des Installations classées - loi du 19 juillet 1976 - et de la Police des Eaux- loi du 16 décembre 1964 - les rejets en provenance des Installations Classées sont soumis à la réglementation des Installations Classées. Leur sont donc applicables les dispositions du décret modifié du 21 septembre 1977. C'est à ce titre que l'arrêté préfectoral du 24 mai 1994 imposent des prescriptions complémentaires à Alcan 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. La dernière campagne ayant eu lieu en septembre 2002, une nouvelle campagne a été réalisée en septembre 2007. Les objectifs de cette campagne étaient de suivre l'extension des dépôts, l'évolution de la macrofaune benthique, l'évolution de l'écotoxicité des sédiments et l'éventuelle radioactivité des sédiments.

La campagne a eu lieu sur le navire le Castor du 2 au 8 septembre 2007, l'engin de prélèvement a été le carottier USNEL (voir rapport du CSS 2007). La campagne n'a permis de visiter que 8 stations (Table 1 ; figure 1) considérées lors du CSS du 11 décembre 2007 suffisamment représentative des conditions bathymétriques programmées. Les présentations des résultats concernant l'écotoxicologie et les analyses de radioactivité ont été faites lors de réunion du CSS du 11 décembre 2007 (voir Rapport Annuel 2007). Les résultats présentés dans ce rapport 2008 concernent la macrofaune (Rapport de G. Stora, F. Garcia, A. Arnoux, C. Ré, E. Duport), la

microgranulométrie et la chimie des sédiments (Rapport de F. Garcia, A. Arnoux et G. Stora).

**Tableau 1.** Coordonnées et profondeurs des stations et nombre d'échantillons étudiés.

station	latitude	longitude	Nbre répliqués	Profondeur m
PU03	43° 07'05	05° 26'11	4	283
PU04	43° 06'20	05° 33'00	4	227
PU05	42° 59'39	05° 31'85	4	744
PU06	43° 02'40	05° 21'00	4	624
PU07	43° 00'10	05° 19'20	4	1056
PU08	42° 57'43	05° 14'04	4	1573
PU13	43° 00'78	05° 45'54	4	996
PU28	42° 35'00	05° 05' 00	2	1777



**Figure 1.** Localisation des stations visitées pendant la campagne de septembre 2007

## **Macrofaune benthique**

Les prélèvements ont été réalisés avec le carottier USNEL prélevant une carotte de section 50 x 50 cm. Selon les stations, 1 à 2 coups de benne ont été effectués (Tableau 1), chaque benne étant divisée en deux sous échantillons. Les 15 premiers centimètres de sédiment de chaque échantillon ont été tamisés sur un tamis de maille AFNOR de 250  $\mu\text{m}$  permettant de récupérer 100 % de la macrofaune présente. Les refus de tamis fixés au formol neutre à 6 % ont été triés au laboratoire sous loupe binoculaire 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. Ces méthodes permettent de caractériser dans l'espace la composition et la structure du ou des peuplements étudiés en fonction des conditions du milieu. Les organismes dont l'identification était incertaine (juvéniles, fragments antérieurs...) ont été pris en compte dans les mesures de densité des peuplements mais n'ont pas été inclus dans les calculs de diversité, de similarité et dans les analyses multidimensionnelles réalisées.

### **Densité, Dominance, Richesse spécifique.**

L'analyse de base des prélèvements a été effectuée selon la méthode classique définie par Picard en 1965 en établissant pour chaque station une liste faunistique faisant apparaître : la richesse spécifique : nombre d'espèces dans le peuplement ; la densité : nombre d'individus de chaque espèce pour 1  $\text{m}^2$  ; la dominance : pourcentage de chaque espèce calculé par rapport au nombre total d'individus obtenus dans le prélèvement. Pour les stations ne présentant pas un nombre de réplicats équivalents, la détermination de la richesse spécifique a été effectuée en utilisant la méthode de raréfaction de Sanders en 1978 modifiée par Hurlbert en 1971. Cette méthode permet une représentation graphique de la diversité spécifique en établissant la courbe théorique du nombre d'espèces qui seraient présentes dans les échantillons d'une taille quelconque inférieure à celle de l'échantillon initial.

## **Degré d'affinité des assemblages**

Le degré d'affinité a été déterminé en considérant dans chaque station les proportions relatives des espèces caractéristiques exclusives des assemblages présents dans la zone d'étude. La mise en évidence de l'altération plus ou moins marquée des peuplements par l'étude des indicateurs biologiques a été effectuée en suivant dans chaque station l'évolution des dominances des espèces caractéristiques exclusives des assemblages présents, des espèces indicatrices inféodées à un type de substrat, des espèces indicatrices de pollution, de richesse en matière organique et des espèces à large répartition écologique. Ces indicateurs biologiques sont particulièrement sensibles à toute perturbation du milieu. Les espèces subdominantes sont les espèces représentant respectivement plus de 5 % du peuplement dans une station, en l'absence de l'espèce la plus abondante (espèce dominante). Les comparaisons des différentes densités moyennes ont été réalisées en utilisant la technique de l'analyse de variance (ANOVA) après contrôle de l'homogénéité des variances.

## **Coefficients de similarité et diversité spécifique**

La comparaison de la composition faunistique des peuplements des divers types de sédiments dans les différents sites d'étude a été effectuée en utilisant les coefficients quantitatif de Bray-Curtis et qualitatif de Sorensen. La représentation graphique des matrices de similitude des peuplements obtenues par les coefficients de Bray-Curtis et de Sorensen a été effectuée par classification automatique et plus précisément par la technique de l'analyse hiérarchique ascendante (algorithme du saut moyen).

La mesure de diversité des peuplements a été effectuée en utilisant l'indice de diversité de Shannon (H) dérivé de la théorie de l'information et exprimé en bits/individus. Il est associé à une mesure de l'équitabilité J de Pielou.

## **MDS : Méthode de positionnement multidimensionnel**

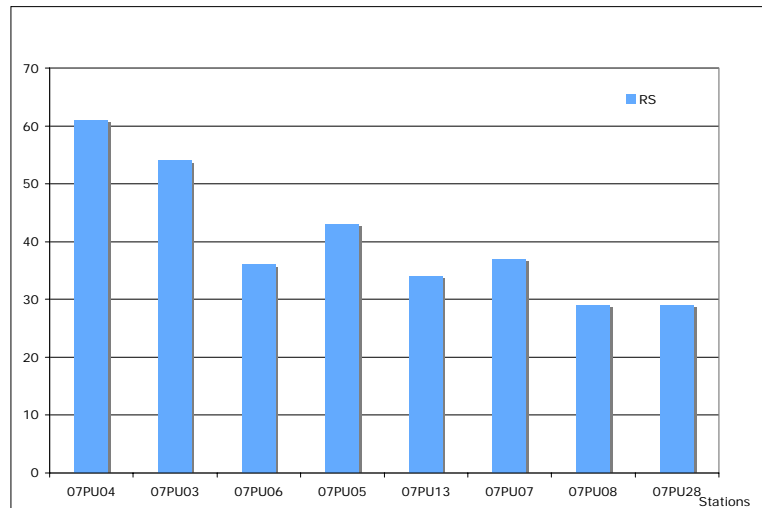
La relation entre les variables environnementales et les peuplements des différentes stations a été étudiée en utilisant le programme BIOENV du progiciel PRIMER. Cette méthode consiste en une étude de corrélation de rang (coefficient de Spearman) entre une matrice de similarité (Bray-Curtis) obtenue à partir des données biologiques des stations échantillonnées et une matrice de dissimilarité (distance euclidienne) calculée pour les variables environnementales mesurées dans ces stations. 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 (voir la partie Géochimie).

## **Résultats de la campagne 2007**

Au cours de cette campagne, 1097 individus ont été récoltés et 137 taxons identifiés. 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. Au sein de cet assemblage de la vase profonde on peut noter également la présence d'espèces caractéristiques de la Vase Terrigène Côtière (VTC).

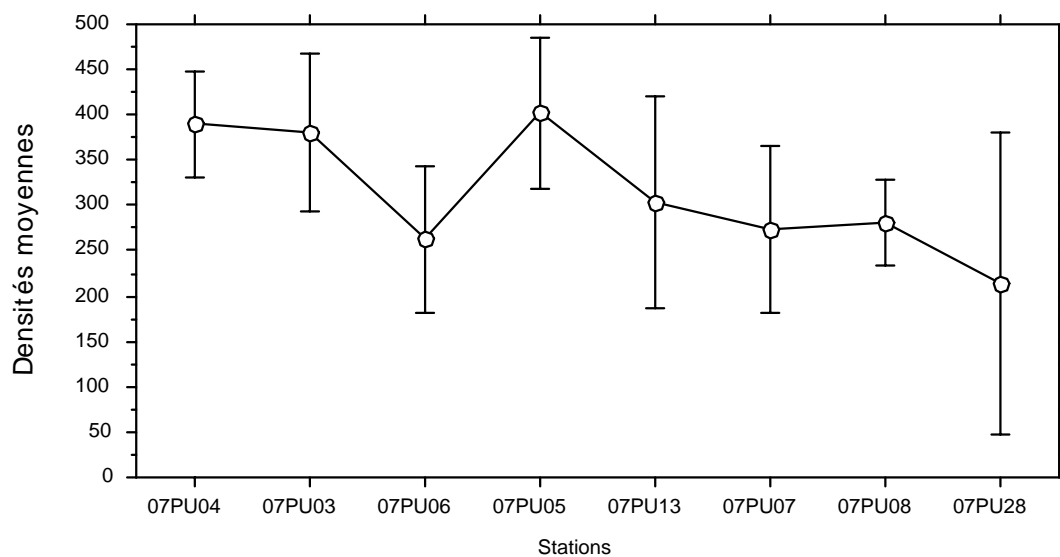
Sur le plan quantitatif, la richesse spécifique évolue de 61 espèces (station PU03) à 29 espèces (stations PU08 et PU28). Cette richesse spécifique tend à diminuer en fonction de la profondeur comme le montre la figure 2. Du fait d'un effort d'échantillonnage différent, la richesse spécifique de la station PU28 peut être sous évaluée. Les courbes de raréfaction réalisées montrent cependant que potentiellement la richesse spécifique de la station PU28 pour un nombre égal d'individus est légèrement inférieure à celle de la station PU08 qui a pourtant une profondeur comparable. Ceci montre que deux répliquats supplémentaires n'auraient pas augmenté de manière significative le nombre d'espèces récoltées au sein de cette station par rapport aux autres stations.





**Figure 2.** Evolution de la richesse spécifique de la macrofaune en fonction de la profondeur au cours de la campagne de septembre 2007.

Le peuplement le plus riche s'observe à la station PU04 à 283 m de profondeur avec 389 ind.m<sup>-2</sup> et le plus pauvre à la station PU28 à 1777 m avec 214 ind.m<sup>-2</sup> (Figure 4).



**Figure 3.** Evolution de la densité moyenne (nombre d'individus. m<sup>-2</sup>).

### Répartition des groupes faunistiques, dominance et diversité spécifique

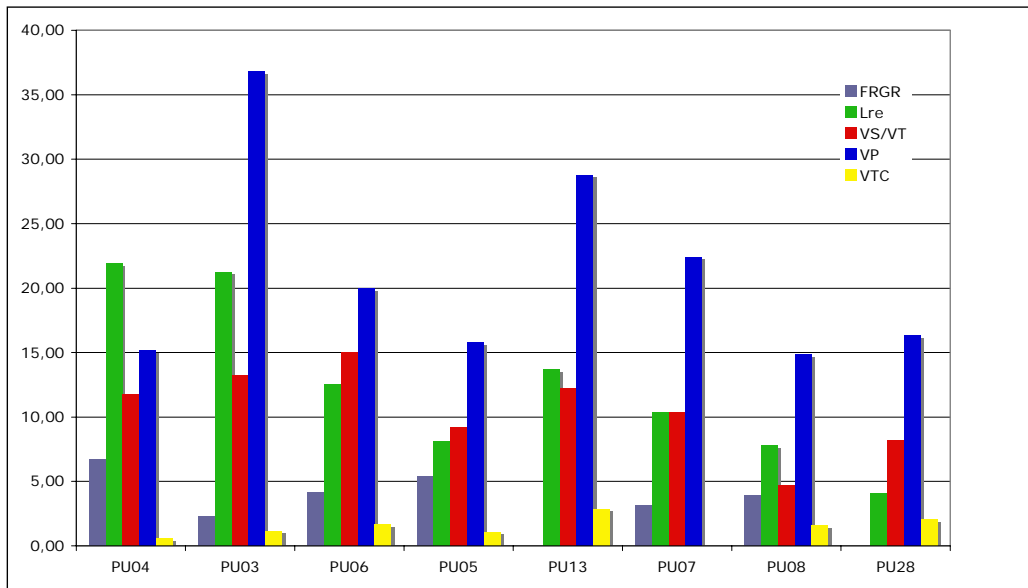
Les Polychètes sont les mieux représentées dans l'ensemble des stations et constituent plus de 38 % des peuplements en place. Les Crustacés prédominent respectivement au sein des stations PU03, PU06, PU05, PU07 et PU28, les Mollusques

dans les stations PU04 et PU13. Les autres groupes zoologiques sont moins bien représentés. Il est constaté une variabilité marquée des espèces en position dominante et subdominante, traduisant une structuration différente des peuplements des stations de la pente continentale. Seules les Polychètes *Notomastus latericeus* et *Paraonis gracilis* sont bien représentées dans la moitié des stations étudiées. A l'exception de la station PU04, les espèces caractéristiques exclusives de l'assemblage de la vase profonde dominant dans l'ensemble des stations (Figure 4). Le deuxième groupe le mieux représenté correspond aux espèces à large répartition écologique au sein de stations PU04, PU03, PU13, PU07 et PU08 et aux espèces vasicoles strictes et tolérantes dans les stations PU06, PU05, PU07 et PU28. Les espèces caractéristiques exclusives de la vase terrigène côtière ne constituent que moins de 5 % du peuplement de chaque station. Il en est de même pour les espèces indicatrices de fraction grossière à l'exception des stations PU04 et PU05. Aucun indicateur biologique classique caractérisant une perturbation du milieu n'a pu être récolté au sein des stations étudiées.

La tendance générale est à une baisse de la diversité en fonction de la profondeur, l'indice de Shannon passant de 3,74 bits pour la station PU04 à 2,88 bits à la station PU08. Dans l'ensemble des stations, l'équitabilité est supérieure à 0,80, traduisant l'absence de faciès particulier et une distribution assez uniforme des espèces au sein des peuplements de chaque station.

### **Comparaison qualitative et quantitative des stations**

Sur un plan qualitatif, les regroupements obtenus avec l'indice de Sorensen (fig. 7) font apparaître 3 groupes de stations. Le premier groupe réunit les stations localisées entre 600 et 1500 m de profondeur (PU07, PU013, PU08, PU06, PU05). On note une forte similarité entre ces deux groupes (>50%) traduisant un lot important d'espèces communes au sein des peuplements de la pente. Le deuxième groupe est constitué par la station PU28, la plus éloignée vers l'ouest et la plus profonde (1777 m), le troisième rassemble les deux stations les moins profondes en tête de canyon, la station PU04 et PU03 .



**Figure 4.** Pourcentages des indicateurs biologiques présents. VP : caractéristiques exclusives assemblage de la Vase Profonde, VTC : caractéristiques exclusives assemblage de la Vase terrigène côtière, VS/VT : sp vasicoles strictes et tolérantes, LRE : espèces à large répartition écologique, FRGR espèces liées à la fraction grossière.

### Comparaison qualitative et quantitative des stations

Sur un plan qualitatif, les regroupements obtenus avec l'indice de Sorensen font apparaître trois groupes de stations. Le premier groupe réunit les stations localisées entre 600 et 1500 m de profondeur (PU07, PU013, PU08, PU06, PU05). Le deuxième groupe est constitué par la station PU28, la plus éloignée vers l'ouest et la plus profonde (1777 m), le troisième et dernier groupe rassemble les deux stations les moins profondes en tête de canyon, la station PU04 et PU03.

Sur le plan quantitatif les regroupements obtenus avec l'indice de Bray-Curtis montrent un groupement par effet de chainage de l'ensemble des stations étudiées à l'exception des stations PU04 et PU03 qui sont séparées des autres stations. A l'exception des stations PU07 et PU05, les similarités calculées sont inférieures à 50% traduisant une distribution différente des espèces au sein du peuplement 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 : les stations les moins profondes étant opposées à la station PU28 la plus profonde.

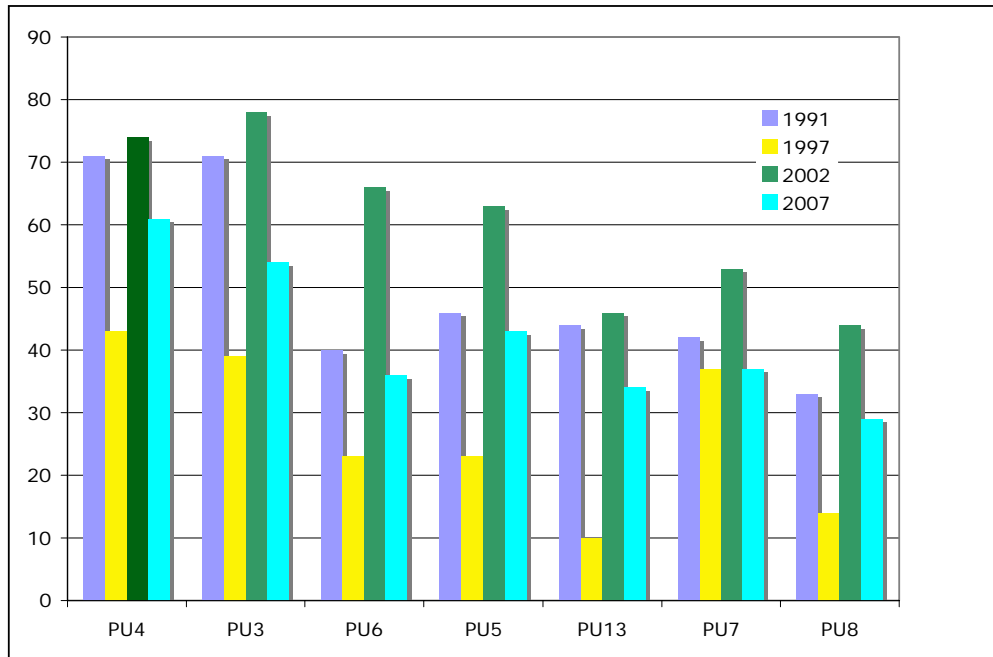
### **Relations entre la macrofaune et les facteurs du milieu**

Les corrélations de Spearman obtenues pour toutes les combinaisons de variables les plus fortes sont proches ou supérieures à 0,8 en fonction des transformations réalisées sur les données biotiques et abiotiques prises en compte s'observent pour la matière organique associée ou non aux métaux lourds tel que le cuivre, l'aluminium, le fer, le manganèse, le plomb ainsi que les fractions granulométriques comprises entre 250 et 125 microns ou inférieures à 63 microns. Ces combinaisons montrent que la distribution et la structuration des peuplements est directement sous l'influence de la richesse trophique du milieu, les métaux lourds et les fractions granulométriques traduisant essentiellement les conditions de sédimentation. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus précédemment lors des autres campagnes.

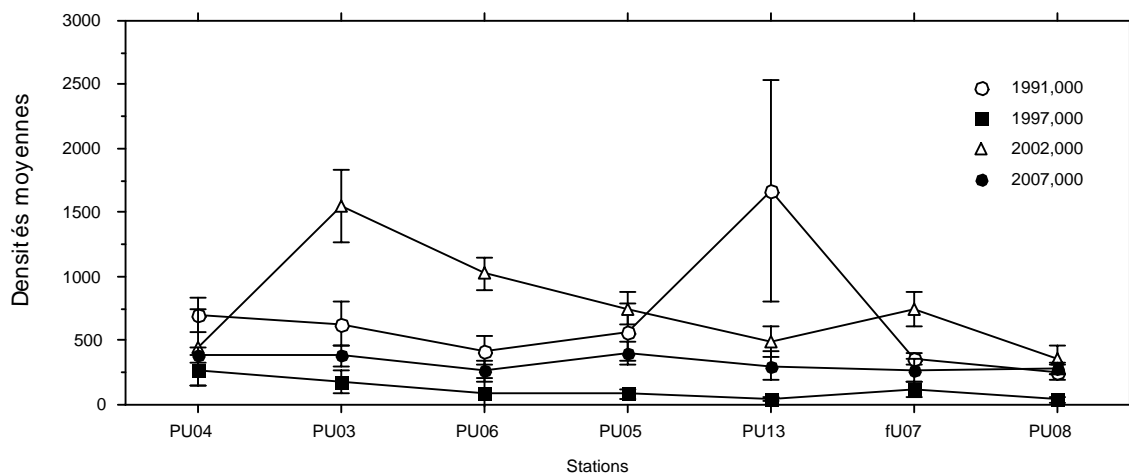
### **Evolution temporelle 1991 - 2007 de la macrofaune**

Les différentes campagnes réalisées dans le secteur de la Cassidaigne en 1991, 1997, 2002 et 2007 permettent d'analyser les évolutions temporelles de la macrofaune de ce secteur. Le nombre d'espèces récoltées dans les différentes stations (Figure 5) montre la permanence de la tendance générale à la décroissance de la richesse spécifique en fonction de la profondeur. Il convient néanmoins de constater en 2007 une diminution du nombre d'espèces par rapport à l'année 2002, les richesses spécifiques relevées étant proche de celle observée au cours de la campagne 1991. Les peuplements de l'année 1997 présentent la richesse spécifique la plus faible.

Les densités moyennes montrent également un appauvrissement avec la bathymétrie mais présente de fortes fluctuations temporelles avec des valeurs fortes en 1991 et en 2002 et plus modérées au cours des campagnes 1997 et 2002 (Figure 6).



**Figure 5.** Richesse spécifique des stations échantillonnées en 1991, 1997, 2002 et 2007.

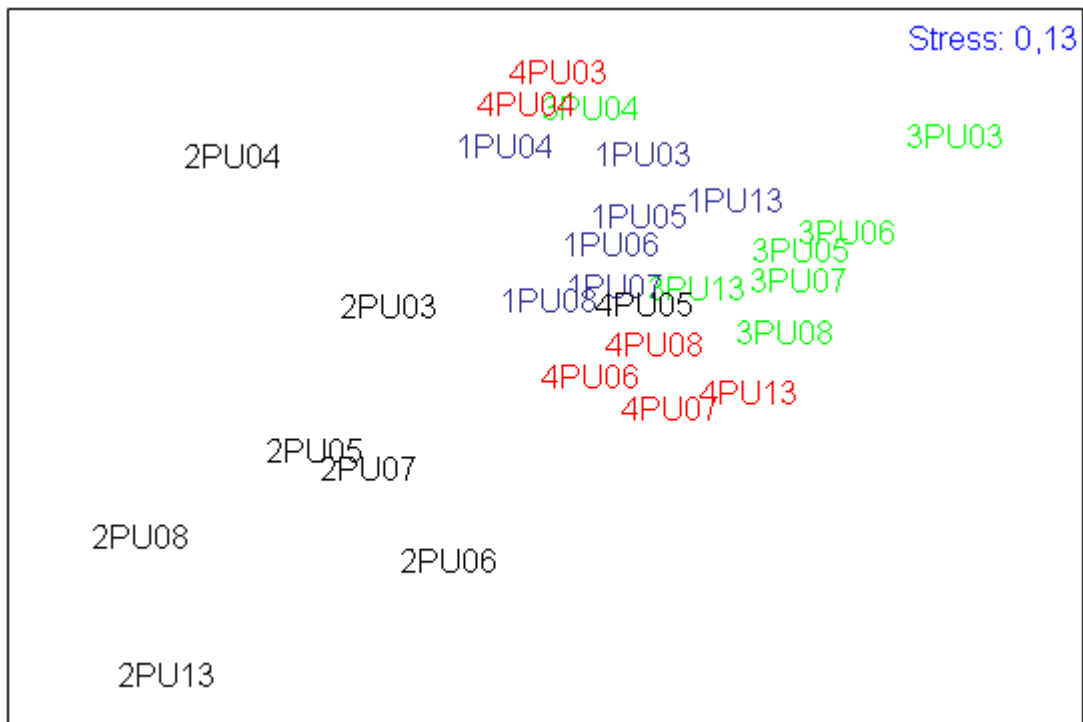


**Figure 6.** Densités des peuplements des stations étudiées en 1991, 1997 2002 et 2007.

Les analyses hiérarchiques réalisées sur les peuplements des différentes stations communes aux différentes années d'étude montrent à quelques exceptions près que les regroupements sont fonction de l'année de prélèvement et à un degré moindre de la position des stations sur la pente. En effet ce sont le plus souvent les stations PU04 et PU03 qui se singularisent lorsqu'elles ne se positionnent pas pour chaque année dans le groupe correspondant. D'un point de vue qualitatif et quantitatif les similarités intergroupes sont faibles traduisant un stock spécifique et une

structuration des peuplements différents en fonction des années d'étude. On constate plus particulièrement l'isolement de l'année 1997 qui présente des similarités inférieures à 30% par rapport aux autres groupes de stations.

Concernant la diversité spécifique de Shannon, les valeurs calculées en 2007 sont comparables à celles des années 1991 et 2002 et bien supérieures à celles relevées en 1997. L'équitabilité dans l'ensemble des années et de stations sont élevées, toujours supérieures à 0,7 traduisant une distribution uniforme des espèces au sein de chaque station et l'absence de faciès dû à la prolifération particulière d'une ou de quelques espèces pouvant marquer éventuellement un déséquilibre des peuplements de la pente continentale.



**Figure 7.** Positionnement multidimensionnel des stations du secteur de Cassidaigne étudiées en 1991 (1PU), 1997 (2PU) 2002 (3PU) et 2007 (4PU).

L'analyse MDS réalisée sur l'ensemble des prélèvements (Figure 7), tout comme l'analyse hiérarchique, met en évidence la séparation des peuplements de la campagne de 1997 par rapport aux autres années d'étude et l'affinité 'plus marquée' des peuplements présents en 1991, 2002 et 2007. On observe la encore l'influence de la bathymétrie marquée par une distribution analogue des stations indépendamment

des années d'étude. Les stations de la rupture de pente se retrouvant le plus souvent dans la partie supérieure du graphe et les plus profondes dans la partie inférieure.

## CONCLUSIONS

La campagne 2007 malgré la baisse de la richesse spécifique et de la densité des peuplements des stations étudiées par rapport à la campagne précédente se caractérise par un état florissant des assemblages en place. Aucune station ne présente une destructuration biocénotique, plusieurs espèces caractéristiques exclusives de l'assemblage de la vase profonde se retrouvant dans les prélèvements. L'ensemble des études réalisées dans le secteur de Cassidaigne a permis de mettre en évidence la propagation préférentielle vers l'ouest des dépôts de résidus inertes en relation avec la circulation générale (Voir le rapport Géochimie). Les comparaisons effectuées sur la richesse spécifique et la densité des peuplements de stations de même profondeur localisées de part et d'autre du canyon entre 250 et 1000 m ont montré que les peuplements à l'ouest du canyon subissaient une légère diminution de leur richesse spécifique ainsi que de leur densité par rapport à ceux situés à l'est. Cet appauvrissement était attribué à la décantation préférentielle des résidus inertes dans ce secteur. En 2002, une situation inverse était observée. En 2007, la richesse spécifique est plus élevée pour les stations proches de 250 et 600 m dans la partie est du canyon, l'inverse est observé à 1000 m pour les stations PU07 et PU13. De même en fonction des analyses géochimiques et granulométriques réalisées, si la station PU28 se différencie faunistiquement de la station PU08, leur richesse spécifique et leur densité étant proches, on peut beaucoup plus attribuer leur différence de composition à une granulométrie plus grossière de la station 28 sous influence du Rhône qu'à leurs taux de titane relevés.

Tout comme pour les campagnes précédentes, il n'a pas été possible en fonction de la composition faunistique et du traitement des données de mettre en évidence une incidence directe des résidus inertes sur les peuplements, pouvant traduire un effet toxique particulier. Ces résultats sont en accord avec les tests écotoxicologiques réalisés. La composition et la structuration des peuplements sont directement sous

l'influence de la bathymétrie, des apports trophiques et des conditions de sédimentation, l'ensemble de ces facteurs édaphiques et climatiques jouant en synergie.

En fonction des différentes campagnes réalisées il peut être constaté une évolution temporelle des peuplements de la pente bathyale qui tout en présentant un bon état général évolue dans leur composition faunistique et leur structuration. Ces changements jouant à la fois sur les stations soumises et non soumises à des apports de résidus inertes et à toutes les profondeurs, les raisons de ce changement sont très probablement liées à des facteurs agissant à grande échelle de manière globale.

## **Commentaires du CSS sur la macrofaune benthique**

Les résultats sur la macrofaune présentée montrent :

- Une décroissance en 2007 de la richesse et de la densité avec la bathymétrie conforme à ce qui a été observé antérieurement lors des campagnes précédentes.
- Des niveaux de richesse spécifique et de densité comparables pour les huit stations échantillonnées à ce qui avait été observé en 2002 et qui sont par conséquent supérieures à ce qui avait été enregistré en 1997, année particulière qui montrait des niveaux très bas eu égard à ce qui avait été observé avant (et après) ,et dont l'origine du déficit doit être recherché.
- L'absence d'espèces indiquant la présence d'une perturbation de l'écosystème échantillonné.
- Les analyses montrent deux ou trois groupes de stations selon les indices utilisés (qualitatif, présence/absence) ou quantitatifs (densité des espèces). Les deux stations les moins profondes PU03 et PU04 forment le premier groupe en dépit d'un sédiment plus grossier en PU04 qui ne semble pas affecter la composition faunistique du peuplement macrobenthique. Les stations les plus profondes forment un ou deux groupes selon les indices, la station la plus profonde PU28 s'isolant selon les indices. Des analyses pluriannuelles de 1991 à 2007 sur les huit stations échantillonnées en 2007 montrent deux aspects



essentiels : la structure des regroupements montre en premier lieu l'effet temporel des campagnes successives, puis en second lieu que les deux stations les moins profondes s'isolent du reste montrant la pérennité de la structure bathymétrique de ces communautés profondes.

L'utilisation d'un tamisage sur une maille de 250  $\mu\text{m}$  pour la macrofaune entraîne un questionnement du CSS sur la maille de tamisage permettant de distinguer les deux compartiments benthiques : méiofaune et macrofaune. Les tamisages sont très différents d'une étude à l'autre et d'un auteur à l'autre, mais l'important est que les mêmes techniques aient été faites sur le site du canyon de Cassidaigne depuis la première campagne en 1991 ce qui permet une comparaison des résultats au fil des campagnes.

## GEOCHIMIE

Dans la partie de la benne USNEL, destinée à la géochimie, un tube en plexiglas de 20 cm de long et 6 cm de diamètre est enfoncé avec précaution, puis, le sédiment superficiel est prélevé sur la surface restante, sur une épaisseur de 1 cm à l'aide d'une spatule. Le carottier est ensuite extrait et son contenu refoulé vers la partie supérieure à l'aide d'un piston : trois horizons sont séparés à partir des couches 0 à 3 cm, 3 à 6 cm et 6 à 9 cm. Les quatre échantillons obtenus avec chaque benne sont ensuite réunis dans des sacs en polyéthylène et conservés au congélateur jusqu'au moment de l'analyse. Parallèlement, une partie de chaque échantillon global est placée dans un autre sac en polyéthylène destiné à l'analyse granulométrique.

Pour les analyses granulométriques, la séparation de la fraction fine est réalisée par tamisage par voie humide sur tamis nylon et action des ultra-sons pour les fractions : 0,5 mm - 1 mm et 1 mm - 2 mm. La fraction < 0,5 mm est classée par granulométrie laser (MALVERN) selon le découpage suivant : 500  $\mu\text{m}$  - 250  $\mu\text{m}$  ; 250  $\mu\text{m}$  - 163  $\mu\text{m}$  ; 163  $\mu\text{m}$  - 63  $\mu\text{m}$  < 63  $\mu\text{m}$  et < 2  $\mu\text{m}$ .

Sur le plan analytique, si le choix des paramètres de 2002 a été maintenu en 2007, des changements importants sont intervenus dans les méthodes d'analyses des métaux employées par le Laboratoire d'Hydrologie et Molysmologie Aquatique (LHMA).

Auparavant, le choix s'était porté sur des méthodes d'attaque 'partielle' de la matrice assurant la mise en solution de la partie la plus labile des dérivés métalliques considérée comme représentative de la concentration en métaux du site par les boues résiduelles de l'industrie de l'aluminium.

*Tableau 2. Tableau comparatif des méthodes mises en œuvre en 2002 et 2007*

PARAMETRE	2002 Traitement préliminaire	2002 Méthode analytique	2007 Traitement préliminaire	2007 Méthode analytique
Granulometrie	Tamisage humide f > 500µm	Microgranulométrie Malvern MS 2000 F 300 - Mie	Tamisage humide f > 500µm	Microgranulométrie Malvern Mastersizer E F 300 - Fraunhofer
M.Calc.550°C		Calcination		Calcination
Carbone org.		Oxydation chromique		Oxydation chromique
Aluminium	Fusion alcaline	SAA/ Flamme N <sub>2</sub> O	HF+HClO <sub>4</sub> + HN <sub>3</sub>	SAA/Flamme N <sub>2</sub> O
Titane	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	ICP	HF+HClO <sub>4</sub> + HN <sub>3</sub>	SAA / Flamme N <sub>2</sub> O
Chrome	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	SAA / Flamme N <sub>2</sub> O	Eau régale Microondes	SAA Flamme N <sub>2</sub> O+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Vanadium	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	ICP	Eau régale Microondes	SAA Flamme N <sub>2</sub> O+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Fer	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	Spectrophotométrie o. phénanthroline	Eau régale Microondes	SAA Flamme air+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Manganèse	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	SAA	HF+HClO <sub>4</sub> + HN <sub>3</sub>	SAA Flamme air+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Plomb	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	SAA	Eau régale Microondes	SAA Flamme air+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Cuivre	Eau régale 150°C-2 H- Reflux	SAA	Eau régale Microondes	SAA Flamme air+C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>

En effet, le rejet est constitué par un produit provenant du traitement de la bauxite susceptible de transformer radicalement une partie des composés originaux du minerai. Le comportement de ce produit vis à vis des réactifs utilisés pour la mise en solution des métaux est très différent de celui des constituants 'naturels' du sédiment dans lequel la part des silicates est prédominante. Il est à noter que tous les métaux ne sont pas également concernés par le phénomène. Les différences les plus importantes sont à envisager avec l'aluminium, le titane, le fer et le vanadium. En revanche, elles seront plus réduites avec le manganèse, le plomb et le cuivre. Cette

méthode de dissolution 'sélective' s'était avérée suffisante (à l'exception de l'aluminium et du vanadium) pour assurer un suivi du milieu entre 1991 et 2002. En 2007, l'utilisation de techniques d'attaque plus complètes, permet la mise en solution de l'intégralité des métaux avec pour conséquence, une plus grande difficulté pour différencier la part du rejet usinier des apports géologiques contenu naturellement dans les sédiments. C'est en particulier le cas pour le titane. Pour juger d'éventuelles incidences du changement des méthodes analytiques, une série d'analyses comparatives a été réalisée avec les nouvelles méthodes du LHMA sur la totalité des échantillons de 12 stations de 2002 (soit 59 échantillons).

### **Aspect du sédiment (couleur)**

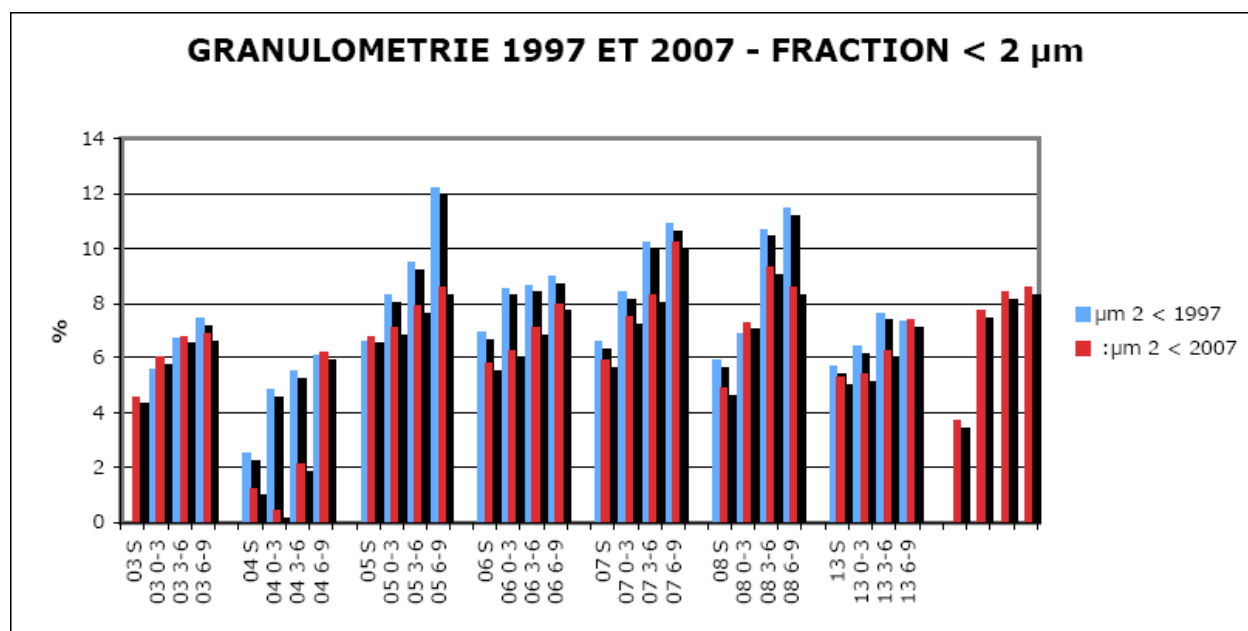
La couleur caractéristique des boues rouges constitue un excellent moyen d'identifier leur présence dans les prélèvements. Toutefois, il convient de faire la distinction entre les dépôts rouges formant une couche plus ou moins épaisse mais uniforme à la surface de la carotte, les particules plus ou moins abondantes de boues ou, les couches supérieures plus ou moins rougeâtres bien distinctes de la couleur brune de certains dépôts autochtones. C'est à partir de ces considérations qu'avait été établie la carte des couleurs du sédiment superficiel dans le rapport 2003 à partir des prélèvements de la campagne de 2002. En se basant sur ces données, peu de changements semblent être intervenus entre 2002 et 2007. On retrouve des boues rouges à l'état de trace à la station PU03, en pellicule à la station PU07. Par contre, une diminution des apports pourrait expliquer la présence de traces rougeâtre à la place de la pellicule uniforme observée en 2002. La station PU28 est représentée par des vases sableuses gris brun, teinte qui doit à priori exclure toute incidence des boues.

### **Granulométrie**

En 2007, la majorité des échantillons est constituée de vases présentant une grande homogénéité de distribution (stations PU05, PU06, PU07, PU08, PU13). La station

PU03 est un peu plus grossière avec une meilleure représentation des particules supérieures à  $63\ \mu\text{m}$ , en accord avec sa situation dans la partie haute du canyon (265 m). L'hétérogénéité est encore plus marquée à la station PU04 (228 m) la fraction sableuse devient dominante. La station PU28 (1776 m) la plus éloignée du point de rejet, mais proche de la partie distale du canyon du petit Rhône, est également riche en sables fins dans la partie la plus superficielle, mais est beaucoup plus vaseuse dans les horizons inférieurs. Cette distribution contrastée entre la surface et le reste de la carotte, témoigne d'une courantologie suffisante pour empêcher l'accumulation des particules fines à l'interface. Les deux séries ayant été analysées avec le même appareillage, un graphique a été établi avec les taux de fraction  $< 2\ \mu\text{m}$  (Figure 8). D'une façon générale, ils sont plus faibles en 2007, à l'exception de la station PU03 (la plus proche du point de rejet) qui subit très peu de changement. L'envasement va en croissant aux stations PU13, PU06, PU07, PU08 et PU05 avec, dans chaque cas, un gradient entre la surface et la base des carottes, plus apte à piéger les fines. Dans toutes ces stations, une diminution notable et générale des fines est intervenue au cours des dix années séparant les deux campagnes, phénomène que l'on pourrait attribuer soit, à une diminution de l'apport de matériaux très fins issus du rejet, soit à un processus de remaniement lié à la bioturbation, voire plus vraisemblablement aux deux phénomènes conjugués. La station PU28, hormis le taux de surface commenté précédemment, présente une distribution beaucoup plus homogène, en accord avec sa bathymétrie. La station PU04, représentée par un matériel plus grossier, n'a conservé son taux de fines que dans la partie la plus profonde de la carotte.

En conclusion, à l'exception de la station PU03 la plus directement tributaire du panache du rejet, les autres stations exposées au transfert des particules vers l'ouest, présentent toutes une diminution marquée des fines que l'on peut interpréter comme une conséquence de la diminution du débit du rejet au cours de la décennie séparant les deux campagnes.



**Figure 8.** Comparaison de la fraction <2  $\mu\text{m}$  dans les échantillons 1997 et 2007.

## Métaux

Les campagnes successives de prélèvement ont pour but essentiel de mettre en évidence une évolution spatio-temporelle de la nature des sédiments, aussi bien en surface que dans la colonne sédimentaire (tout au moins dans les dix premiers cm). Compte tenu des écarts parfois très importants des résultats d'une série à une autre, il s'avère indispensable de comparer ce qui est raisonnablement comparable en tirant profit, soit des concentrations brutes, soit de la similitude des profils dans les carottes, soit de certains rapports de concentrations ou des profils des répartitions intermétalliques.

Pour atteindre ce résultat, il semble raisonnable de faire une distinction entre deux groupes de métaux :

- Aluminium, Titane, Chrome et Vanadium pour lesquels on dispose de deux séries comparables, d'une part entre 1997 et 2002 analysées avec les anciennes méthodes, et d'autre part entre 2002 et 2007 (analysées avec les nouvelles méthodes).
- Fer, Manganèse, Plomb et Cuivre, toutes méthodes confondues.

### *Aluminium*

Essentiellement présent dans les roches sous forme d'alumino-silicates, sa mise en solution conduit à des résultats très différents suivant la méthode d'attaque utilisée. Les méthodes de mise en solution ont été différentes au cours des trois campagnes prises en compte : digestion à l'eau régale en 1997, fusion alcaline en 2002, attaque fluoroperchlorique en 2007. Il est évident qu'en valeur absolue, seule la dernière méthode réalisant l'élimination complète de la silice, fournit les résultats les plus proches de la réalité minéralogique. Les écarts observés entre les trois méthodes s'amenuisent en prenant en compte les résultats de 2007 et ceux obtenus par analyse des échantillons de 2002 avec la méthode de 2007. Le rapport moyen est égal à 1,01 et le coefficient de corrélation à 0,981. S'il est difficile d'établir un lien, sinon relatif, entre les séries de 1997 et 2002, il apparaît peu de différence entre celles de 2002 et 2007. Tout au plus pourrait-on remarquer une légère augmentation aux stations 5 et 6 à rapprocher de la diminution de la fraction <math><63 \mu\text{m}</math> et de là moindre contribution des boues rouges, plus pauvres en aluminium que les vases autochtones. Les stations PU04 et PU28 diamétralement opposées géographiquement et de bathymétrie très différente, se singularisent par des taux d'aluminium plus faibles, ce qui est logique pour la première, mais plus singulier pour la seconde. Avec des teneurs passant de 36000 ppm en surface et 52000 ppm dans la partie inférieure de la carotte, elle se distingue nettement des valeurs de l'ordre de 70000 ppm trouvées dans les stations de la pente continentale. Il serait sans doute nécessaire de rechercher des relations entre sa situation à proximité du canyon du Petit Rhône et sur le trajet de la dérive nord-méditerranéenne.

### *Chrome*

Dans le cas du chrome, la digestion s'effectue par attaque à l'eau régale, avec chauffage sous réfrigérant à reflux, en 2002, et au four microondes en 2007. En revanche, la mesure spectrophotométrique d'absorption atomique se différencie par la nature de la flamme, protoxyde d'azote-acétylène en 2002, air-acétylène en 2007.

La sensibilité et la spécificité sont *a-priori* meilleures avec la première. Quoiqu'il en soit, l'ensemble des résultats est assez cohérent et les concentrations trouvées sont globalement du même ordre de grandeur. Si la méthode d'attaque conduit à une meilleure mobilisation du chrome (moyenne de 1,24 et écart-type de 0,19), l'écart entre 2002 et 2007 est très faible (moyenne de 1,03 et écart-type de 0,09). Les coefficients de corrélation sont compris entre 0,911 et 0,935. La comparaison des résultats bruts de 1997, 2002 et 2007 montrent, qu'indépendamment des différences de concentrations, les profils présentent, dans tous les cas, une très bonne similitude. Si l'on s'en tient aux valeurs de 2002 et 2007, aucun changement n'apparaît aux stations PU04, PU05 et PU06 ; en revanche une légère augmentation se manifeste uniquement en surface des stations PU03, PU07 et PU08. Mais avant d'en déduire un impact accru des boues, il serait nécessaire de le confirmer avec d'autres paramètres. La station PU28, avec des concentrations assez homogènes, comprises entre 53 et 63 ppm est relativement pauvre en chrome.

### *Titane*

La situation est beaucoup plus complexe avec le titane dont la détermination a été complètement modifiée en 2007, tant par le choix d'une méthode d'attaque plus complète que par celui de la méthode de mesure, moins spécifique en 2007 que celle utilisée auparavant. Si la méthode d'attaque est, à coup sûr, responsable des différences très importantes entre les résultats de la campagne 2007 et les précédentes (rapport voisin de 10), aucune relation précise ne semble les relier, comme cela pourrait être le cas entre l'aluminium ou le chrome. En calculant un 'facteur d'hétérogénéité' correspondant au rapport des valeurs minimale et maximale dans chaque carotte, sans tenir compte de l'ordre des niveaux, on obtient le tableau suivant (Tableau 3).

La station PU04, de granulométrie très grossière et globalement pauvre en titane, subit une augmentation du rapport à rapprocher de la diminution de la fraction fine signalée plus haut. La station PU13, pour sa part, conserve le même rapport de 1997 à 2007, ce qui est en accord avec la constance de la composition générale du dépôt dans

ce secteur. Pour les autres stations (PU03, PU05, PU06, PU07, PU08) regroupées à l'ouest du canyon, dans la zone d'influence du rejet, les valeurs sont plus élevées en 2002 par rapport aux années suivantes. Ce constat ne signifie pas nécessairement un excès de titane par rapport aux époques ultérieures, mais peut traduire l'effet d'une méthode d'attaque plus sélective qui met en évidence la partie la plus labile du titane supposée être en relation avec les boues rouges. Par contre, pour les analyses réalisées en 2007, la mobilisation d'une part géologique dominante du titane 'écrase' les écarts attribuables à l'apport du rejet. Néanmoins, l'évolution entre 2002 et 2007 indique une diminution à la station PU03, une stabilité aux stations PU06 et PU07, et une légère augmentation aux stations PU05 et PU08. S'il est illusoire de rechercher une évolution dans le milieu entre 1997 et 2007 à partir des résultats bruts pour les raisons évoquées précédemment (méthode d'extraction et d'analyse), il reste la possibilité de procéder en deux temps : comparer d'abord les résultats de 1997 et 2002 et ensuite, ceux de 2007 avec ceux de 2002 obtenus en utilisant la méthode 2007.

*Tableau 3. Facteur d'hétérogénéité pour le titane entre 2002 et 2007*

Station	2002	2002 (07)	2007
3	2,95	1,56	1,31
4	1,08	1,32	2,42
5	1,62	1,09	1,18
6	2,19	1,23	1,25
7	4,13	1,39	1,39
8	2,86	1,42	1,66
13	1,05	1,07	1,07
28			1,13

Dans le premier cas, entre 1997 et 2002, aucune évolution significative ne se manifeste aux stations PU04, PU05, PU07 et PU13. En revanche, le titane augmente aux stations PU03 et PU06 et diminue en surface à la station PU08. Ces observations avaient permis de conclure à une extension plus limitée des particules issues du panache, d'est en ouest sur la pente continentale. De plus, entre 2002 et 2007 on note une diminution sur toutes les stations sur tous les horizons. Cette diminution serait



liée aux effets du plan de réduction des rejets dont la valeur est restée très modeste de 1997 à 2007 par rapport à la période précédente. En ce qui concerne la station PU28, les teneurs en titane sont assez homogènes sur toute la hauteur de la carotte (1904 à 2155 ppm). Ces valeurs sont nettement inférieures à celles trouvées aux autres stations (sauf la station PU04). Il est raisonnable de conclure à l'absence d'impact des boues rouges dans cette zone bathyale.

### *Vanadium*

Le vanadium, comme l'aluminium et le titane ne peut être mis complètement en solution que par fusion alcaline ou attaque fluoro-perchlorique. L'action de l'eau régale ne peut agir que sur une partie relativement labile de ce métal, comme celle issue de la bauxaline. C'est pourquoi, les écarts entre les résultats de 1997 et de 2007 sont importants, avec un rapport moyen égal à 2,21, à rapprocher de celui de 2,73 pour l'aluminium. Indépendamment des différences de concentrations enregistrées, les profils dans les carottes présentent une assez bonne similitude pour juger des variations relatives entre les niveaux sédimentaires. Pour des raisons techniques, aucun résultat n'a pu être obtenu en 2002. La comparaison des résultats des séries 2007 et 2002 ne fait pas apparaître d'importantes modifications si l'on en juge par le rapport moyen de 1,07 entre les deux

Toutefois en comparant les courbes établies pour chacune d'elles, on arrive à des conclusions en contradiction avec celles tirées des résultats obtenus avec le titane. En effet, les concentrations en vanadium sont supérieures, en 2007, à tous les niveaux des carottes PU03, PU05, PU06 et, surtout, de la PU07. En revanche, les différences sont peu significatives pour les carottes PU08 et PU13. Cette inversion paraît illogique si l'on part d'une hypothèse d'origine commune. Sinon, elle doit, au contraire, traduire une contribution relativement plus importante des minéraux autochtones aux dépens des apports anthropiques (ce qui semble plausible si l'on établit une relation avec l'évolution de l'aluminium dans la même période). La station PU 28 se singularise, comme pour le titane, par des concentrations faibles et homogènes (54 à 65 ppm).

### *Autres métaux*

Les résultats obtenus appellent peu de commentaires dans la mesure où peu d'évolutions significatives se manifestent.

**Pour le fer**, une différence méthodologique doit, selon toute vraisemblance, être à l'origine des valeurs plus faibles trouvées en 1997. En revanche, la relation est bonne entre les valeurs de 2002 et 2007.

**Le manganèse** se caractérise encore par son comportement particulier déjà et abondamment décrit dès 1991 : faiblement présent dans la bauxaline, il joue un rôle d'indicateur 'négatif' dans la mesure où l'apport de boues entraîne sa diminution dans les sédiments atteints. En revanche, les taux peuvent fortement augmenter par intervention de phénomènes d'oxydo-réduction dans les niveaux sous jacents des carottes. Enfin, une relation avait pu être établie entre les teneurs maximales dans les carottes et la bathymétrie dans la zone du talus continental.

**Le plomb** fait partie des métaux présents dans la bauxaline. Cependant, cet apport doit être négligeable vis à vis de la pollution générale contemporaine dont l'importance et l'ampleur sont illustrées par le gradient que l'on retrouve sur toute la hauteur de l'ensemble des carottes étudiées, gradient que l'on retrouve également dans la carotte PU28.

**Le cuivre** subit peu de fluctuations, encore que des valeurs un peu plus élevées en 2007 par rapport à 1997 s'observent aux stations PU06, PU07, PU08 et PU13. Là encore, l'incidence d'une pollution transitant le long du littoral nord méditerranéen pourrait être mise en cause. La station PU28 paraît exclue de ce processus.

### **Conclusions sur la partie géochimie**

Les difficultés inhérentes à l'utilisation de méthodes différentes d'analyse limitent considérablement les possibilités d'interprétation des résultats. Toutefois, la mise en évidence de certaines tendances devrait permettre d'apporter des éléments de réponse à la question principale, celle des conséquences de la réduction du flux de la bauxaline en tête du canyon de Cassidaigne. En effet, si la qualité granulométrique et chimique des boues n'a pas du changer, la diminution devant aboutir en 2015 à

l'arrêt du rejet, ne peut avoir eu que des conséquences positives sur l'impact sur le milieu. Toutefois les effets seront différents dans la zone du talus soumise préférentiellement à la sédimentation de particules issues du panache qui se forme au débouché de l'émissaire ou lors d'éboulements de dépôts massivement accumulés dans la partie haute et abrupte du canyon. Le transfert de ce matériel très fin vers l'est va conduire à des dépôts plus ou moins abondants suivant la distance par rapport au point de rejet, mais aussi, suivant la topographie des lieux plus ou moins favorable au piégeage des particules. Ce comportement est complètement différent de celui du matériel plus dense mais très fluide s'écoulant dans l'axe du canyon jusqu'à la plaine abyssale où il a la possibilité de s'étaler assez largement et d'être mobilisé au moins superficiellement par les courants balayant la base du talus. L'expansion des boues dans cette direction n'avait pu être délimitée au cours des campagnes antérieures, but qui ne pourra pas être atteint avec la campagne 2007 amputées des stations profondes prévues dans cette zone. La station PU28, située en bordure du canyon du Petit Rhône, à 1776 m de profondeur, ne présente aucun caractère mettant en évidence une contribution des boues rouges.

### **Commentaires du CSS sur la géochimie**

Les résultats sur la géochimie des sédiments montrent plusieurs aspects liés au nombre limité de stations échantillonnées en 2007 ne permettant pas de couvrir toutes les conditions bathymétriques et géographiques. Dans ce cas, il apparaît que le nombre de stations échantillonnées et leur représentativité géographique est trop faible pour établir des comparaisons avec les suivis antérieurs notamment en 2002 et obtenir une image totalement fiable de la situation en 2007 (ce qui n'est pas le cas pour les trois autres types d'analyses réalisés sur la même campagne en 2007 : macrofaune, écotoxicologie et radioactivité où le nombre de stations visitées est suffisant). Les difficultés inhérentes à l'utilisation de méthodes différentes d'analyses chimiques limitent aussi considérablement les possibilités d'interprétation des résultats et plus particulièrement les inter-comparaisons pluriannuelles. Les analyses chimiques 2007 permettent d'extraire tous les métaux de la matrice minérale alors

que les antérieures ne permettaient que d'extraire la fraction la plus labile. Cependant, la diminution de la fraction fine  $< 2\mu\text{m}$  jointe à la diminution de la teneur du titane en surface semblent indiquer un début d'impact visible du programme de réduction des rejets sur la composition de cette couche sédimentaire ; de plus, la station PU28 la plus profonde située au large n'est pas été atteinte par le rejet ce qui témoignerait d'une extension faible ou nulle des dépôts dans cette direction.

Il convient donc d'être extrêmement prudent sur les comparaisons des valeurs des niveaux de métaux mesurés. Fort heureusement, le stockage de sédiments de la campagne 2002 a permis de refaire les analyses chimiques de ces sédiments selon le même protocole que celui adopté en 2007 ce qui permet de comparer les teneurs en métaux des sédiments entre les campagnes 2002 et 2007.

Il est suggéré que pour les prochaines campagnes et analyses d'étudier certains rapports métalliques, de standardiser les analyses avec les teneurs rencontrées en fer ou en aluminium, de calibrer les analyses avec des SRM (Standard Research Materials), en enfin de rechercher des méthodes permettant d'identifier les sources/origines possibles des teneurs enregistrées entre :

- Les apports naturels, bruit du fond géologique (mais qui peut montrer une très grande variabilité inter-station) ;
- Les apports du Rhône ;
- Les apports anthropiques tels que les Stations d'épurations et ports de la région ;
- et ceux de la conduite de Gardanne.

Il apparaît également nécessaire de faire des analyses sur une (ou plusieurs) station (s) de référence hors influence des résidus inertes de la bauxite.

**Information sur la campagne ROV de surveillance des conduites en juin 2008, sur les campagnes de l'Agence des Aires Marines Protégées sur les têtes de canyon méditerranéen et premières discussion sur le démantèlement de la partie marine des conduites à l'issue de l'arrêt des rejets fin 2015**

L'AAMP projette dans le cadre de l'extension de Natura 2000 en mer de faire des prospections au ROV sur les têtes de canyon (200-600 m) sur un ensemble de 9 zones de la frontière espagnole (région de Banyuls, canyon Lacaze Duthiers) jusqu'à la frontière italienne (région de Villefranche). Le canyon de Cassidaigne est dans la zone 5 identifiée par l'AAMP. Il est recherché la présence de coraux profonds qui sont fragiles et dans des zones exploitées par les marins-pêcheurs qui les détruisent par l'utilisation de chaluts benthiques. Le président du CSS a été approché par l'AAMP au sujet des travaux réalisés dans le cadre du suivi des résidus inertes de bauxite dans le canyon de Cassidaigne. Quoique les campagnes réalisées ne concernent que les sédiments meubles, elles présentent l'évolution des communautés benthiques bathyales pendant deux décennies ce qui permet de juger des variabilités pluriannuelles. Cependant, il existe des données historiques sur le benthos des substrats durs de la Cassidaigne obtenues en 1971 par Bourcier et Zibrovius. De plus des observations visuelles au ROV non exploitées pour le moment du point de vue scientifique existent pour quatre campagnes de surveillance des conduites de Gardanne et de la Barasse pour 1993, 1998, 2003 et 2008. Cependant, les moyens de positionnement du bateau et du ROV sont beaucoup plus précis pour les deux dernières campagnes de surveillance. Les données incluses dans les rapports sont publiques et accessibles pour l'AAMP, il pourrait être envisagé une convention sur l'exploitation des enregistrements vidéo et sur une collaboration pour la prochaine campagne en 2012.

Bien que l'arrêt des rejets soit programmé pour fin 2015, il est nécessaire d'engager d'ores et déjà des discussions sur le devenir des conduites à l'issue de l'arrêt. En fait, il apparait trois alternatives :

- les conduites seraient utilisées pour d'autres rejets en mer ;
- les conduites doivent être enlevées après l'arrêt des rejets (position de l'Etat) ;

- les conduites pourraient être laissées en place en raison de leur passage sur des herbiers de posidonies espèces protégée en France et habitat prioritaire au titre de la Directive Européenne Habitats, la présence de l'oursin diadème *Centrostephanus longispinus* et probablement des coraux profonds sur la partie la plus profonde.

Il est proposé d'organiser un séminaire spécifique sur ce dossier, réunissant outre Rio Tinto et le CSS, le GIP Calanques, le GIS Posidonies, la municipalité de Cassis, les services maritimes et les services de l'Etat s'occupant du patrimoine naturel en mer. Ce séminaire pourrait avoir lieu en 2009.

### **Actions valorisation de la bauxaline en 2008 et les perspectives de valorisation**

Le tableau ci-dessous dresse un récapitulatif du tonnage de bauxaline valorisé de janvier à novembre 2008.

date	client	pour le site de	Tonnage (T)
avril	SMA	CSDU La Fare Les Oliviers dpt 13 (SMA)	2755,59
mai	SMA	CSDU La Fare Les Oliviers dpt13 (SMA)	398,32
juin	Guintoli	Fos XXL dpt 13 (Guintoli)	175
juin	ORTEC	CSDU Lancon de Provence Dpt 13 (Ortec)	559,19
juillet	IMERYS	Usine de Mably (dpt 42) (Imerys)	26,86
octobre	VALERIAN	CSDU Septèmes	9321,32
novembre	VALERIAN	CSDU Septèmes	4067,36
novembre	ORTEC	CSDU Lancon de Provence Dpt 13 (Ortec)	380,88
		<b>TOTAL</b>	<b>17684,52</b>

## **Chantiers de valorisation 2008**

Principalement des Centres de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU). Principal Intérêt de ce type de chantier : tonnage important

### Autres pistes travaillées :

- essai dans le domaine des briques,
- essai dans la réalisation de plate-forme,
- contacts avec service Mer de Marseille (Récif Artificiel),
- contact avec experts pour comblement de la carrière de Roquevaire,
- contact avec UNICEM (fédération des carriers) pour la réalisation de granulats artificiels,
- contact avec différentes entreprises pour incorporation de la Bauxaline® en tant que charge ou en tant que colorant de matériau...

## **Travaux en cours et perspectives de valorisation**

### \* CSDU Malespine (commune de Gardanne)

Contact avec M. Velly et Mr Bellenguer, SEMAG (exploitant).

Travaux 1ère tranche initialement prévue fin 2007. Reporté sur 2008/2009.

Commande et livraison en cours pour 2000T (couverture partie basse).

Potentiel 15 000T (pour ensemble de la couverture)

### \* CSDU Valentoulin (commune de Port de Bouc)

Contacts avec la Collectivité (CAOEB: Communauté d'Agglomération de l'Ouest Etang de Berre) et avec le bureau d'études en charge de ce dossier.

Fermeture du site fin octobre 2008.

Travaux initialement prévus fin été/automne 2008. Reportés en 2009

(en attente arrêté préfectoral + procédures administratives)

Potentiel valorisation : 78 000T

\* Contacts et échanges maintenus avec exploitants et collectivités d'autres CSDU de la Région (Entressen, Septèmes, La Fare Les Oliviers, Lançon de Provence...).

\* Contacts et échanges maintenus avec différentes entreprises de Travaux Publics au niveau régional

\* Suivi des chantiers pour lesquels la Bauxaline® pourrait être utilisée.

Le tableau ci-après dresse l'historique de la valorisation entre 1995 et 2007 ; il fait apparaître le bilan suivant :

<b>HISTORIQUE</b>	<b>APPLICATION</b>	<b>TONNES</b>
1995	Route	1 500
1997	CSDU	12 000
1998	CSDU Entressen en 1998	1 500
2002	Route	1 500
	CSDU	12 000
2003	CSDU	104 500
2006	CSDU Mentaure	8 620
	Route Mange-Garri	2 300
	Essais: Vicat & Circuit du Castellet	52
2007	CSDU	7 750
2008	CSDU, Divers	17685
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL 1995-2007</b>	<b>169 407</b>



## **Réglementation REACH (Registration, Authorization, Evaluation and Restriction of Chemicals)**

La Directive REACH (CE n°1907/2006) implique l'enregistrement des substances chimiques mises sur le marché européen auprès d'une Agence Européenne.

Premier échéancier : pré-enregistrement jusqu'au 1<sup>er</sup> décembre 2008, la bauxaline® a été pré-enregistrée pour un enregistrement programmé horizon 2010 (>1000T).

### **Discussion sur l'emploi de la Bauxaline®**

Le volume de Bauxaline® utilisé en 2008 (près de 20000 t en prenant en compte les 2000 t programmées en décembre) est plus important que celui de 2007 (moins de 8000 t) soit légèrement inférieur à celui de 2006 qui était de 11000 t ; il est cependant beaucoup plus faible que celui valorisé en 2003 année exceptionnelle avec plus de 100000 t. Des efforts de communication et de promotion de la Bauxaline® ont été entrepris mais des difficultés résident dans l'homologation et de promotion de la Bauxaline® et le coût du transport depuis la zone de stockage de Mange-Garri vers les zones d'utilisation. Comme recommandé en 2007, l'utilisation dans les CSDU est à privilégier ; des contacts doivent être repris avec le site d'Entressens comme celui d'Arbois d'Aix en Provence. Le site XXL de Fos offre également des possibilités d'utilisation de la bauxaline qui semble important de prospecter.

## Recommandations du Comité Scientifique de Suivi

Le Comité Scientifique de Suivi (CSS) remercie Rio Tinto Gardanne pour son accueil. Le CSS approuve le déroulement des études et recherches réalisées en 2008 et les projets d'utilisation de la Bauxaline® en 2009 telles qu'ils ont été présentés lors de la réunion annuelle du CSS du 3 décembre 2008.

A l'issue des exposés et en fonction des discussions qui ont suivi, le Comité Scientifique de Suivi recommande pour 2009 :

i) De considérer que la campagne 2007 a été suffisante pour donner des informations pertinentes sur la composition de la macrofaune, pour évaluer les éventuels effets écotoxicologiques et les analyses de radioactivité. Pour la chimie et la granulométrie des sédiments, il est suggéré d'étudier les rapports métalliques, de standardiser les analyses avec les teneurs rencontrées en fer ou en aluminium, de calibrer les analyses avec des SRM (Standard Research Materials), en enfin de rechercher des méthodes permettant d'identifier les sources/origines possibles des teneurs enregistrées entre :

- Les apports naturels, bruit du fond géologique (mais qui peut montrer une très grande variabilité inter-station) ;
- Les apports du Rhône ;
- Les apports anthropiques tels que les Stations d'épurations et ports de la région ;
- et ceux de la conduite de Gardanne.

Il apparaît également nécessaire de faire des analyses sur une (ou plusieurs) station (s) de référence hors influence des résidus inertes de la bauxite si des sédiments de tels sites sont disponibles dans les laboratoires du pourtour méditerranéen.

ii) De recentrer les utilisations de la Bauxaline® sur les Centres de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU) et de mettre en œuvre une démarche technico-réglementaire de conformité par rapport aux CSDU montrant (reconduction de la recommandation du CSS du 11 décembre 2007) :

- a) L'existence de nombreux essais et les retours d'expériences ;
- b) Les potentialités importantes d'utilisation de la Bauxaline® ;
- c) La simplicité de son utilisation ;
- d) L'acceptabilité sociale aisée ;
- e) De faire appel à une aide extérieure (bureau d'études spécialisés) pour monter le dossier ;
- f) Demander à la DRIRE PACA de valider la démarche ;
- g) et demander un entretien au MEDAD pour présenter le dossier accompagné de la DRIRE, du bureau d'étude sélectionné et d'un représentant du CSS.

iii) D'explorer la possibilité d'utilisation de la bauxaline sur le site XXL de Fos qui offre des besoins de matériaux importants dès 2009.

iv) D'encourager la valorisation des résultats scientifiques dans des revues internationales. A cet égard, deux publications sont en préparation par le groupe F. Garcia et G. Stora, il conviendra qu'elles soient soumises pour expertise en 2009. A cet égard, à la demande de l'industriel une publication scientifique décrivant la démarche conjointe entre l'Administration, le CSS et l'usine de Gardanne a été rédigée par le Président du Comité Scientifique et soumise le 30 mars 2009 pour être éditée dans la revue anglaise Marine Pollution Bulletin (voir résumé en annexe).

v) D'encourager la communication internationale d'ALCAN notamment européenne pour mettre en valeur l'expertise acquise dans le domaine de la gestion intégrée d'une question environnementale de cycle de vie d'un produit depuis la matière première (la bauxite) et son devenir dans l'environnement et son utilisation en CSDU reconduite de la recommandation du CSS du 11 décembre 2007). Il apparaît également nécessaire de proposer une communication écrite dans une revue à l'usage des communautés locales (municipalités, communautés d'agglomération, communautés urbaines...) de façon à faire

connaitre les qualités de la bauxaline® notamment pour les couvertures de décharges.

vi) D'organiser un séminaire spécifique sur le devenir des conduites à l'issue des arrêts des rejets, réunissant outre Rio Tinto et le CSS, le GIP Calanques, le GIS Posidonies, la mairie de Cassis et les services de l'Etat s'occupant du patrimoine naturel en mer. Ce séminaire pourrait avoir lieu en 2009 et être organisé de concert entre le CSS et RIO Tinto.

vii) De rédiger un résumé non technique du Rapport Annuel 2008, le CSS se chargeant de la relecture de ce «Digest», et de le diffuser le plus largement possible notamment via le site web ([www.alcan-gardanne-environnement.fr](http://www.alcan-gardanne-environnement.fr)).

**Wimereux le 1 avril 2009**

**Jean-Claude DAUVIN, Président du Comité Scientifique de Suivi  
Professeur des Universités, Université des Sciences et Technologies de Lille.**

**Annexe : abstract de l'article envoyé pour évaluation à la revue Marine  
Pollution Bulletin le 30 mars 2009**

**Towards an impact assessment of bauxite red mud waste on the knowledge  
of the structure and functions of bathyal ecosystems: the example of the  
Cassidaigne canyon (North-western Mediterranean Sea)**

Jean-Claude Dauvin

Université des Sciences et Technologies de Lille  
Laboratoire d'Océanologie et Géosciences UMR LOG CNRS 8187  
Station Marine de Wimereux, BP 80, F-62930 Wimereux

\* Corresponding author, *E-mail address*: [jean-claude.dauvin@univ-lille1.fr](mailto:jean-claude.dauvin@univ-lille1.fr)

**Abstract**

Since 1967, the alumina plants in the Marseilles area (Barasse and Gardanne) have been discharging the mineral residue (i.e., red mud) resulting from the alkaline processing of bauxite into the submarine Cassidaigne canyon (North-western Mediterranean Sea) through pipes situated at 320-330 m in depth. The Barasse pipe stopped being used in 1988. From 1987 to 1996, many decrees and regulations were promulgated by the French State to rule the conditions under which the Gardanne alumina refinery was authorized to dispose of the bauxite residue in the sea. The refinery was required: i) to study the hydrodynamic circulation in the Cassidaigne canyon to evaluate the potential dispersion and transport of fine elements discharged into the water mass and their impact on the pelagic ecosystem; ii) to survey the marine environment every five years to control the expansion and thickness of the red mud deposit and compare the evolution of the benthic macrofauna at representative sampling sites in the environment affected by the red mud discharge with that of reference sites outside of the red mud plume; iii) to study the effect of the discharge on fishing activities; and iv) to investigate the toxicity of the red mud, particularly its persistence, accumulation, interaction and effect on the marine ecosystem, paying special attention to the bio-accumulation of chromium and vanadium. A Scientific Committee was created to insure an independent evaluation of the studies promised by the manufacturer in response to the State's regulations. Since the beginning of the 1960s, data has been accumulating on the structure and long-term functioning of the Cassidaigne bathyal ecosystem. This paper presents the collaborative efforts of the State-Manufacturer-Committee triplet and summarizes the main results obtained during the last period's sea campaigns (1991-2007). This paper also illustrates how national regulations concerning manufacturers, such as Gardanne alumina refinery, have provided new knowledge about the structure and functioning of a bathyal ecosystem in the Cassidaigne canyon in the north-western Mediterranean Sea.

**Keywords:** impact assessment; bauxite red mud waste; bathyal ecosystems; North-western Mediterranean Sea; collaborative approach