

RAPPORT ANNUEL 2013

DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI

RESIDUS DE TRAITEMENT DE
BAUXITE
(BAUXALINE ®)

ALTEO-Alumina GARDANNE

Caen le 20 janvier 2014

RAPPORT ANNUEL 2013 DU COMITE SCIENTIFIQUE DE SUIVI RESIDUS DE TRAITEMENT DE BAUXITE (BAUXALINE ®) ALTEO-Alumina 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 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 | 2015 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Quantité déposée en mer en millions de tonnes | 1,04 | 0,5 | 0,33 | 0,31 | 0,25 | 0,18 | 0 |

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

- 1) Examine, 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 CODERST des Bouches-du-Rhône.

Rapport 2013

Les travaux entrepris en 2013 ont porté sur : 1) l'analyse et la présentation des résultats de la campagne en mer de septembre 2012 ; 2) la recherche de voies d'utilisation et de valorisation de la bauxaline ® et 3) la démarche du devenir de la conduite au-delà de l'arrêt des résidus inertes au 1 janvier 2016.

Bilan de la campagne en mer de 2012

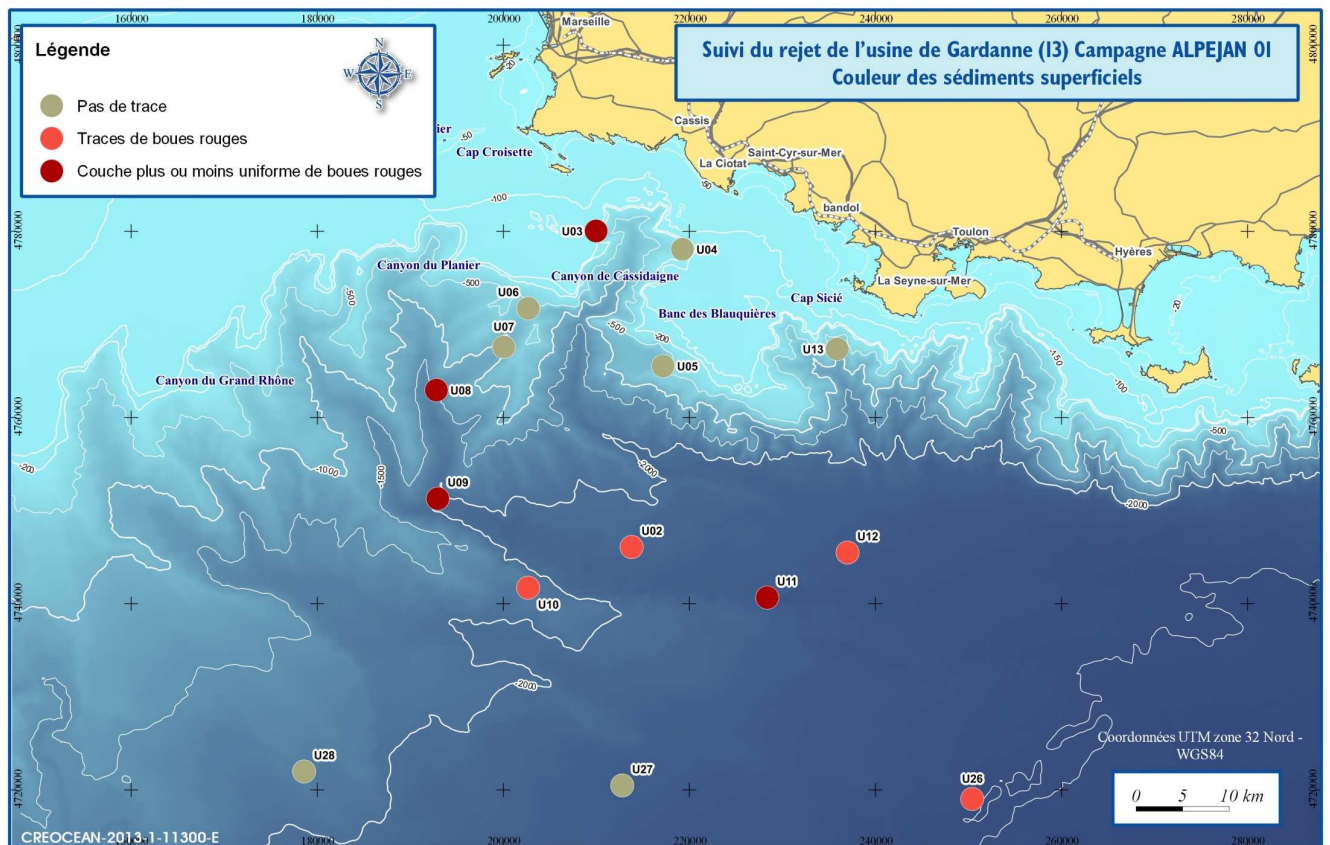
Les objectifs de la campagne de suivi en mer étaient de caractériser :

- la zone d'extension maximale des dépôts ;
- la qualité sédimentaire et chimique des sédiments ;
- l'évolution de la macrofaune benthique ;
- la diversité de la microfaune (foraminifères benthiques) ;
- l'évolution de l'écotoxicité des sédiments.

Le suivi de 15 stations déjà visitées dans les campagnes précédentes ont fait l'objet de prélèvements de la campagne ALPEJAN 01 qui s'est déroulée du 3 au 9 septembre 2012 à bord du Navire océanographique de la Comex le Janus II et les prélèvements benthiques ont été réalisés à l'aide du carottier USNEL, engin déjà utilisé lors des campagnes en mer précédentes. Outre Avon Marine consultant et l'Unité opérationnelle Environnement d'ALTEO ont participé à la campagne des membres de CREOCEAN, BIOTOX et l'Université d'Angers. La campagne s'est déroulée dans de bonnes conditions météorologiques et les moyens mis en œuvre ont été parfaitement opérationnels permettant des prélèvements à la benne USNEL sur les 15 stations prévues ; un seul prélèvement non représentatif (cailloux, coquilles...) a été obtenu à la station U04, il ne sera pas considéré dans plusieurs analyses de la campagne 2012. Il est suggéré d'abandonner ce site dans les prochaines campagnes.

Caractéristiques des stations échantillonnées lors de la campagne ALPEJAN 01

| Station | Latitude | Longitude | Profondeur m | Chimie Macrofaune Foraminifères | Ecotoxicologie |
|---------|-----------|-----------|-----------------|---------------------------------------|----------------|
| U02 | 42° 48,83 | 05° 29,96 | 2095 | X | |
| U03 | 43° 07,05 | 05° 26,11 | 265 | X | X |
| U04 | 43° 06,20 | 05° 33,00 | 230 | - | |
| U05 | 42° 59,39 | 05° 31,85 | 740 | X | X |
| U06 | 43° 02,40 | 05° 21,00 | 590 | X | X |
| U07 | 43° 00,10 | 05° 19,20 | 1065 | X | X |
| U08 | 42° 57,43 | 05° 14,04 | 1540 | X | |
| U09 | 42° 51,15 | 05° 14,53 | 1975 | X | |
| U10 | 42° 49,22 | 05° 21,95 | 2115 | X | |
| U11 | 42° 49,22 | 05° 40,80 | 2220 | X | |
| U12 | 42° 49,01 | 05° 46,98 | 2280 | X | X |
| U13 | 43° 00,78 | 05° 45,54 | 975 | X | |
| U26 | 42° 35,00 | 05° 57,50 | 2500 | X | |
| U27 | 42° 35,00 | 05° 30,00 | 2300 | X | |
| U28 | 42° 35,00 | 05° 05,00 | 1700 | X | |



**Localisation des stations échantillonnées en 2012
et couleur des sédiments superficiels (Carte CREOCEAN)**

Rejets des résidus inertes de l'usine de Gardanne dans le canyon de Cassidaigne. Campagne ALPEJAN 01. Caractérisation physico-chimiques des sédiments (Rapport de Elina DELORD et Sébastien THORIN, CREOCEAN, La Seyne-sur-Mer)

Un total de quatre carottes de 6 cm de diamètre et de 20 cm de longueur a été analysé pour les stations UE02 à U13 et seulement deux carottes pour les trois stations les plus profondes U26 à U28. Trois strates ont été considérées afin de pouvoir comparer les résultats à ceux des campagnes précédentes : strate 0-3 cm ; strate 3-6 cm et strate 6-9 cm. Les échantillons étiquetés avec précision ont été congelés après collecte. Les analyses ont été réalisées par l'ancienne plateforme IPL Nord, aujourd'hui Eurofins à Lille. Le tableau suivant donne les paramètres mesurés.

Paramètres recherchés dans le cadre du suivi du rejet de l'usine de Gardanne

| Paramètres | 2012 | 2007 | 2002 | 1999 | 1997 | 1991 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Granulométrie | X | X | X | X | X | X |
| Aluminium | X | X | X | X | X | X |
| Arsenic | X | | | | | |
| Cadmium | X | | | | | |
| Carbone Organique Total | X | | | | | X |
| Chrome total | X | X | X | X | X | X |
| Cuivre | X | X | X | X | X | X |
| Fer total | X | | X | X | X | X |
| Manganèse | X | X | X | X | X | X |
| Matière organique | X | | | | | |
| Matières calcinables | | | | | | X |
| Matières sèches | X | | | | | |
| Mercuré total | X | | | | | |
| Nickel | X | | | | | |
| Plomb | X | X | X | X | X | X |
| Titane | X | X | X | X | X | X |
| Vanadium | X | X | (X)* | X | X | |
| Zinc | | | | X | X | X |

*un seuil de détection trop élevée, attribuée à une perte de sensibilité du spectromètre d'émission utilisé pour le dosage du vanadium, conduit à l'absence quasi-totale de valeurs significatives, [...] (Amoux et Stora, 2003)

Les pré-traitements et méthodes analytiques mis en œuvre au cours du suivi du rejet usinier sont précisés dans une annexe 'Méthodes analytiques' non reproduites ici car utile qu'aux spécialistes de géochimie. Ces premiers paragraphes ont pour objectifs d'indiquer s'il est possible d'établir une relation entre les diverses méthodes analytiques utilisées en 2012 par rapport à celles utilisées précédemment notamment en 2007 et 2002.

Plusieurs différences méthodologiques sont à noter :

- Modification de certains paramètres du protocole (température, équipements (reflux, miro-onde, digibloc), proportion des acides, présence/absence de solution tampon ionique). Par exemple, l'utilisation d'un digibloc permet la décomposition sous haute pression du sédiment et par conséquent donne lieu à une attaque plus complète que celle menée par reflux.
- Modification de l'ensemble du protocole de minéralisation en 2007. Jusqu'en 2002, le choix s'était porté sur une méthode 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 contamination du site par les boues résiduaire de l'industrie d'aluminium. 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.

En définitive, la conclusion reste la même que celles des années précédentes : la mise en œuvre de protocoles analytiques différents induit d'une part une perte non négligeable d'informations et d'autre part, une limitation d'une comparaison avec les mesures acquises précédemment sur la qualité chimique du sédiment. Afin de pallier à ce biais méthodologique, Arnoux et Garcia avaient calculé et étudié des rapports intermétalliques. Or, il ressort de ces travaux que les prises en compte de ces rapports intermétalliques ne peut être envisagée en raison des écarts différents de variations constatés pour chaque métal (Rapport de A. Arnoux en 2002)

Par conséquent, compte tenu des différences méthodologiques et des écarts parfois très importants d'un jeu de données à un autre, l'évolution temporelle au sein des carottes et sur la zone d'étude est effectuée à travers la similitude des profils des carottes des différentes stations à l'image du travail réalisé en 2007 (Rapport Garcia et al., 2007).

Incohérence de certains résultats en 2012

Théoriquement, l'attaque des oxydes métalliques est croissante entre les différentes méthodes de minéralisation, dans l'ordre : digestion par eau régale, minéralisation par attaque fluoro-perchlorique et attaque par fusion alcaline. Les teneurs obtenues suite à une mise en solution par fusion alcaline provoque l'élimination complète de la silice et par conséquent permet de fournir des résultats proches de la réalité minéralogique. Les valeurs obtenues par cette technique peuvent donc être utilisées pour une normalisation. La minéralisation par attaque fluoro-perchlorique permet également d'appréhender correctement la réalité minéralogique. Les teneurs mesurées par une telle méthode représentent entre 95% et 100% de la valeur obtenue par fusion alcaline. En revanche, la minéralisation par eau régale permet d'appréhender la contamination d'un milieu. En résumé, les teneurs mesurées devraient être supérieures lorsque l'échantillon est traité par attaque fluoro-perchlorique par rapport au même échantillon traité par une digestion à l'eau régale. Or, les données acquises en 2012 dans le cadre du suivi du rejet des résidus inertes de l'usine de Gardanne suite à une minéralisation par attaque fluoro-perchlorique sont très souvent inférieures à celles obtenues par eau régale. Cette incohérence s'explique par le choix d'une prise d'essai de 1 g pour la minéralisation par attaque fluoro-perchlorique alors qu'elle est de 0,5 g pour la minéralisation partielle. Par conséquent, les éléments métalliques n'ont pas été entièrement solubilisés. Ces données brutes ne seront donc pas utilisées pour l'étude de l'évolution spatio-temporelle du rejet en mer des résidus inertes de l'usine de Gardanne.

Carte de l'extension des dépôts

La couleur rouge caractéristique des rejets de l'usine peut constituer un indice de la présence des boues rouges. Aussi, une attention particulière a été apportée à l'aspect de l'échantillon et plus particulièrement à celui de l'interface, dès l'arrivée de la benne sur le pont du bateau. L'essentiel de ces observations est présenté dans la carte présentée en début de ce rapport.

L'effort d'échantillonnage a toujours été différent entre deux campagnes. Cependant, dans la mesure du possible, les stations proches du rejet ont été échantillonnées. Les données d'observations sont disponibles pour les années 1997, 1999, 2002, 2007 et 2012.

Trois groupes de stations peuvent être distingués en 2012 :

- Les échantillons au niveau desquels aucune trace des boues rouges n'est perceptible. Il s'agit des échantillons prélevés :
 - ❖ A l'est de la tête (U04), à l'est du flan (U05) du canyon de Cassidaigne et au niveau de la branche est du canyon du Planier (U06 et U07) ;
 - ❖ A l'est du banc des bauquières - tête d'un canyon sans nom (U13 - station de référence)
 - ❖ Dans la plaine bathyale (U27 et U28).

- Les échantillons dans lesquels des traces de boues rouges sont perceptibles, soit à la surface du dépôt, soit sous forme de petits nodules inclus dans la partie superficielle du prélèvement. De tels échantillons ont été prélevés au niveau de l'exutoire profond des systèmes Marseille-Planier (U02, U10 et U12) et à la station U26 située dans la plaine bathyale et dans l'axe du Canyon de Cassidaigne.

- Les échantillons au niveau desquels une couche uniforme, plus ou moins épaisse, recouvre toute la surface du prélèvement. Les échantillons présentant un dépôt de boues rouges ont été prélevés :

- ❖ A l'ouest de la tête du canyon de Cassidaigne (U03)
- ❖ Dans l'axe du canyon du Planier (U08 et U09)
- ❖ Au niveau de l'exutoire profond des systèmes Marseille-Planier (U11) qui se trouve au-delà des stations U10 et U02 au niveau desquelles seules des traces avaient été observées. Au niveau de la station U11, la couche de boue rouge est épaisse (plusieurs centimètres). Il est probable que cette accumulation soit liée à la localisation de la station U11 dans une dépression non visible sur la bathymétrie disponible (modèle numérique à 100 m établi en 2010 par l'association SHOM Ifremer à partir de données historiques).

Pour résumer, aucun dépôt rouge n'a été observé dans la partie est des canyons et dans les stations ouest de la plaine bathyale. En revanche, la présence de ces dépôts dans la zone des canyons jusqu'à la base du talus est avérée bien qu'il n'y ait pas d'uniformité entre les stations relativement éloignées du point de rejet ou des couloirs d'étranglement dans lesquels s'accumulent les boues. Un constat similaire était formulé lors des précédents suivis. Arnoux (1997) indiquait que ' cette absence d'uniformité (...) 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'. A noter que de rares dépôts ont été observés à l'est de la plaine bathyale.

Evolution temporelle de la répartition des boues rouges

La présence des boues rouges au niveau de la station U03, située à proximité du rejet, est plus marquée qu'au cours des années précédentes. En effet, malgré la proximité de la station au rejet et les concentrations mesurées dans le sédiment collecté à ce niveau, les premières observations réalisées mettaient en évidence l'absence de dépôt visible. En revanche, les observations s'accordent sur la présence de traces voire sur

la présence d'une pellicule de boues rouges dans la zone des canyons jusqu'à la base du talus. L'absence d'uniformité sur la caractérisation de ce dépôt est à relier à la subjectivité de l'attribution du critère en l'absence des photographies des campagnes précédentes.

Granulométrie

Les résultats granulométriques de la benne a et de la benne b d'une même station ont été comparés. Etant donné leur analogie, il a été choisi de présenter les données établies à partir des résultats de l'analyse des échantillons prélevés au sein de la première benne remontée sur le pont (benne a).

Evolution verticale de la granulométrie dans la colonne sédimentaire

L'étude de la stratification des carottes sédimentaires permet de mettre en évidence trois groupes de stations :

- Les stations de la zone des canyons (U03, U06, U07, U08, U09) et les stations U13 et U05 pour lesquelles les profils de répartition de la granulométrie des différentes strates échantillonnées sont comparables. La répartition est plurimodale avec un mode dominant compris entre 7 et 9 μm .
- Les stations de la base du talus (U10, U02, U11, U26, U27 et U28) au niveau desquelles les horizons présentent des types granulométriques légèrement différents. Cette différence est marquée entre l'horizon supérieur et les horizons inférieurs. Le mode dominant de l'ensemble des strates est similaire et compris entre 5,9 et 7,8 μm . Cependant les particules les plus fines (inférieures à 4 μm) sont nettement plus représentées dans les strates inférieures. On remarque toutefois une particularité au niveau de la station U11 : les particules comprises entre 4 et 10 μm sont largement dominantes à la surface.
- La station U04 du plateau continental dont la répartition granulométrique est similaire entre les horizons est de type bimodal (mode 517 μm et mode non déterminé mais supérieur à 2 mm). Cette station a par la suite été écartée des

interprétations en raison de son profil particulier et de la difficulté rencontrée pour l'échantillonner.

Si l'on exclut le cas particulier de la station U04, on distingue : les stations de la zone des canyons et situées à l'est de celle-ci, dont les profils granulométriques sur la colonne sédimentaires sont comparables et les stations de la base du talus, dont le profil granulométrique de l'interface diffère de celui des autres horizons.

Enfin, une analyse statistique élémentaire (moyenne, médiane et mode) met en évidence que les grains sont plus grossiers depuis les horizons inférieurs vers l'interface. A noter que cette évolution est légère puisqu'elle est de l'ordre du dixième de μm à quelques μm .

Evolution spatiale de la granulométrie

Les boues rouges contiennent de fortes proportions de particules très fines ($< 1 \mu\text{m}$). Un tel apport pourrait modifier de manière tangible la distribution granulométrique comme cela a été mis en évidence en 2002 aux stations U02, U03, U06, U07 et U12. Cependant, aucune station étudiée en 2012 ne présente de valeur remarquable de proportion inférieure à $1 \mu\text{m}$, ni même $2 \mu\text{m}$ ou $4 \mu\text{m}$, comme en témoignent les faibles valeurs d'écart-types calculés sur les données des différentes stations :

- La fraction inférieure à $1 \mu\text{m}$ constitue $3,9 \% \pm 0,5 \%$ de la fraction inférieure à 2 mm ;
- La fraction inférieure à $2 \mu\text{m}$ représente quant à elle, en moyenne $12,3 \% \pm 1,2 \%$ de la fraction inférieure à 2 mm ;
- La fraction inférieure à $4 \mu\text{m}$ constitue en moyenne $25,7 \% \pm 2,4 \%$ des particules constituant le sédiment en place et elle est maximale à la station U02 (31 %).

On note toutefois, qu'en 2012, le laboratoire d'analyses n'a pas eu recours aux ultrasons. Il est donc possible que la fraction inférieure à $1 \mu\text{m}$ soit sous-estimée car les particules de cette taille sont agglomérées les unes aux autres. Ceci pourrait expliquer la dominance des particules comprises entre 4 et $10 \mu\text{m}$ notamment à la station U11 au niveau de laquelle s'accumulent les boues rouges sur plusieurs

centimètres d'épaisseur. En 2012, l'étude de la fraction inférieure à 10 μm permet en définitive la distinction de trois groupes de stations :

- U02 et U11 au niveau desquelles elle représente respectivement 61 % et 64 % ;
- U03 où elle constitue 48 %. Cette faible valeur peut s'expliquer par la topographie (tête du canyon de Cassidaigne), non propice au dépôt des particules émanant du rejet, pourtant proche.
- Les autres stations où elle constitue 54,9 % \pm 2,2 %

Evolution spatio-temporelle de la granulométrie

Rappel sur le paysage sédimentaire en 1997

Le paysage sédimentaire a été étudié en 1997 suite au traitement des sédiments prélevés par granulométrie laser et mise en œuvre de l'algorithme de calcul Fraunhofer. Pour rappel, l'utilisation de cet algorithme induit une sous-estimation des particules les plus fines. Il ressort néanmoins de cette analyse que :

- Les sables grossiers sont abondants sur le plateau continental (U04, U15, U16, et U17) mais aussi au sud-est de la zone d'étude U11, U21 et U22) ;
- La présence des sables fins est marquée à la station U03 au Nord mais également aux stations situées au sud-ouest de la zone d'étude (U09, U10, U19 et U20) ;
- Les limons grossiers dominent les stations de bathymétrie intermédiaire dont la station de référence U13 (U13, U05, U06, U07, U08, U18) (Rapport Arnoux, 2000).

Rappel sur le paysage sédimentaire en 1999 et 2002

En 1999 et 2002, l'étude du paysage sédimentaire a été menée à partir de données granulométriques estimées par granulométrie laser et selon l'algorithme de calcul de Mie. Il s'avère que, sur l'ensemble des échantillons traités en 1999, la station 12, située dans le prolongement du canyon de Cassidaigne, est la plus révélatrice de

l'impact des boues rouges et des modifications granulométriques qu'elles entraînent sur la distribution granulométrique dans la partie superficielle de dépôt (Rapport Arnoux, 2000). L'étude de 2002 révèle, à son tour, l'importance de la fraction très fine ($0,4 \mu\text{m}$) en surface à la station U06 et dans les 10 premiers centimètres de la station U12. Cette proportion de particules très fines est encore notable aux stations U02, U03 et U07 (Rapport Arnoux, 2002).

Paysage sédimentaire en 2012

L'étude de la granulométrie en 2012 confirme que les stations situées en bordure immédiate du plateau continental ou à la tête du canyon de Cassidaigne (U03 et U04) sont caractérisées par un sédiment légèrement plus grossier qu'au niveau des autres stations. A noter cependant, la disparition du matériel supérieur à $500 \mu\text{m}$ en U03 depuis 1997. En résumé, on observe une diminution notable et générale de la proportion des particules fines dans toutes les stations par rapport à 2002.

Géochimie

Les résultats complets sont disponibles dans le rapport de CREOCEAN et ses annexes techniques. Il a été choisi de présenter dans ce rapport du Comité Scientifique de Suivi que les résultats de deux métaux indicateurs de présence de boues rouges, i.e. Chrome, Titane et Vanadium.

Chrome total

La répartition du chrome est comparable entre les deux bennes ; elle suit la même tendance mais elle permet cependant de distinguer trois groupes de stations :

La station U11 (base du talus) et dans une moindre mesure les stations situées dans la zone des canyons (U07, U08 et U09a) qui se caractérisent par une valeur élevée à l'interface eau-sédiment.

Les stations dont les écarts de concentration entre strates sont plus faibles mais dont certaines se démarquent encore par des valeurs légèrement plus élevées au sein de l'interface eau-sédiment (U03b, U05b et U09b).

Les stations les plus profondes dont les teneurs sont homogènes sur toute la colonne sédimentaire (U026, U027 et U028).

La répartition des concentrations normalisées par la fraction $< 20 \mu\text{m}$ met en évidence : une valeur maximale à la station U11, des valeurs croissantes depuis la tête de la branche orientale du canyon du Planier (U06) vers l'aval (U09) et des faibles valeurs pour les trois stations les plus profondes (U026, U027 et U028).

Les évolutions spatio-temporelles du Chrome total permettent de souligner les points suivants :

Conservation d'un profil similaire de la répartition des concentrations aux quatre stations U03, U04, U06 et U08 avec une différence plus marquée entre la concentration mesurée en surface, plus faible, et les concentrations mesurées dans les horizons inférieurs notamment en U03.

Distinction de la concentration mesurée à la surface des stations U07, U08 et U10, dont la teneur déjà plus élevée à celles au sein des autres niveaux dans les campagnes précédentes se confirme et semble se singulariser par un écart de concentration plus important.

Distinction depuis 2002 de la strate 3-6 cm en U05 par une teneur plus élevée que dans le reste de la colonne sédimentaire.

Distinction remarquable en 2012 de la concentration en Chrome total à la surface de la station U11 et de la station U09, mais également dans la strate 6-9 cm de la station U09.

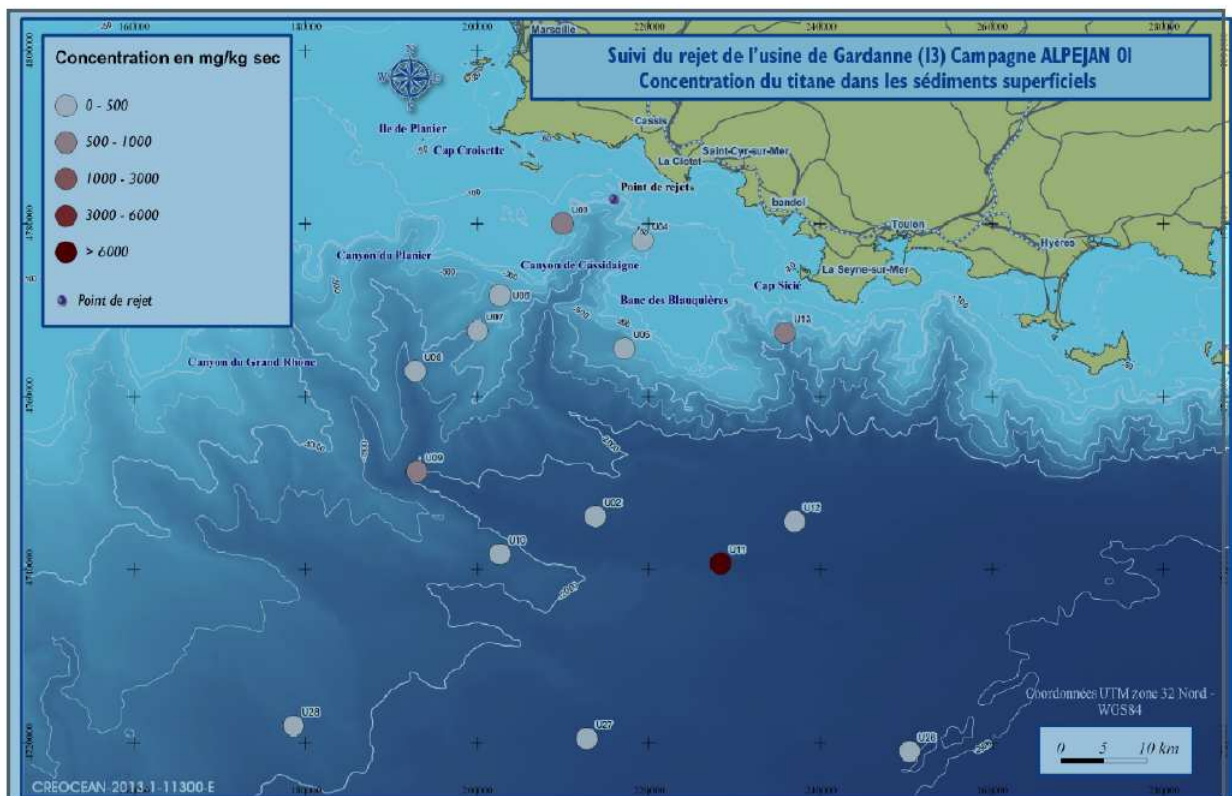
Enfin, une accentuation de la différence entre la strate de surface qui paraît diminuer au regard des autres strates à la station U13.

En résumé, la concentration à la strate de surface de la station U11 est devenue de plus en plus importante que celle mesurée dans les horizons inférieurs au cours du temps et se caractérise par une valeur de Chrome total exceptionnellement élevée. Dans une moindre mesure, la strate de surface des stations situées dans le canyon du Planier et dans la branche Est du même canyon semble s'être enrichie au cours du

temps en Chrome total. Le même constat est formulé pour la station située à l'exutoire profond des systèmes des canyons Marseille/ Planier.

Titane

Les répartitions des concentrations mesurées suite à une fusion alcaline et suite à une mise en solution par eau régale présentent quelques différences. La concentration mesurée en surface, quelle que soit la méthode de mise en solution, de la station U11 se distingue par une très forte teneur au regard des autres horizons. Les concentrations mesurées en surface suite à une digestion partielle aux stations U13, U09 et U03 se distinguent également par des plus fortes valeurs qu'au niveau des horizons inférieurs. Les valeurs de concentration de titane normalisée par la fraction inférieure à $20\ \mu\text{m}$ sont maximales à la station U11 et se distinguent, de nouveau, aux stations U13 (station de référence), U09 et U03. Les valeurs sont faibles dans les autres stations.



Concentration en mg/kg de sédiment sec en titane dans les sédiments superficiels lors de la campagne ALPEJAN 01 (CREOCEAN)

La comparaison des profils de concentration en titane, suite à une digestion partielle, permet de mettre en évidence ce qui suit :

- conservation d'un profil similaire en U04, U05, U07, U08, U10 et U13 ;
- homogénéisation des concentrations en U02 et U12 ;
- diminution de la concentration dans la strate 0-3 cm par rapport aux niveaux inférieurs en U03 ;
- plus fortes teneurs dans les strates 0-3 cm et 3-6 cm que dans les autres niveaux dont la surface en U06 ;
- augmentation des teneurs en U09 avec la teneur la plus importante mesurée au niveau de l'interface
- distinction remarquable en 2012 de la concentration en titane à la surface de la station U11.

En résumé, la concentration mesurée à la surface de la station U11 est devenue plus importante que celle mesurée dans les horizons inférieurs depuis 1997 et se caractérise par une valeur exceptionnellement plus élevée. Par ailleurs, on remarque l'enrichissement de la station U09 exempt en titane en 1997.

Vanadium

Les teneurs en vanadium sont très homogènes sur la colonne sédimentaire d'une même station ; seule la station U11 se distingue par une concentration plus élevée dans la strate supérieure. Les valeurs de concentrations normalisées par la fraction inférieure à 20 μm sont importantes à la station U11. Les valeurs sont homogènes au niveau des autres stations de la zone explorée en 2012 avec une particularité aux stations U09 et U13. La comparaison des profils de concentration en Vanadium permet de mettre en évidence les points suivants :

Conservation d'un profil vertical similaire en U03, U05, U06, U08, U010 et U13 ;

Homogénéisation des concentrations en U02 ;

Diminution des concentrations dans la strate 3-6 cm par rapport au niveau inférieur en U07 ;

Enrichissement de la colonne sédimentaire en U09 marquée au contraire du profil établi en 1997 ;

Distinction remarquable en 2012 de la concentration en vanadium à la surface de la station U11.

En résumé, la concentration mesurée à la surface de la station U11 est devenue plus importante que celle mesurée dans les horizons inférieurs depuis 1997 et se caractérise par une valeur exceptionnellement élevée. Dans une moindre mesure, la surface de la station U09 s'est enrichie en vanadium au cours du temps.

Discussion

Les rejets en mer ont fortement diminué au cours du temps cependant c'est dans un milieu ayant déjà reçu des apports massifs de résidus que le suivi de 2012 a été effectué. Les divers suivis ont été réalisés en 1991, 1997, 1999, 2002, 2007 et 2012. Cependant, il n'y a pas eu de continuité dans les méthodes analytiques utilisées pour le dosage des métaux et pour la caractérisation de la granulométrie en raison du changement de laboratoire. Dans le cadre du présent suivi, le laboratoire d'analyses n'a pas eu recours aux ultrasons. Il est donc probable que la fraction inférieure à 1 μm soit sous-estimée car les particules de cette taille sont agglomérées les unes aux autres. Par ailleurs, la comparaison des données brutes de métaux n'a pas semblé judicieuse et dans le cadre de l'analyse spatio-temporelle du devenir en mer des résidus inertes issus du traitement de la bauxite, il a été préféré la comparaison des profils de la répartition des concentrations. Ainsi, les observations et analyses obtenues en 2012 vont dans le sens de la diminution des indicateurs de concentration en métaux et de l'homogénéisation des valeurs au sein de la colonne sédimentaire et entre les stations.

Si les écarts observés en termes de granulométrie ou de géochimie sont moins francs entre les stations que lors des précédentes années, ils témoignent néanmoins des

processus d'accumulation et de mobilisation des sédiments émanant du rejet. En effet, les analyses démontrent une présence accrue de boues rouges et d'éléments métalliques associés non pas au niveau même du rejet mais au niveau des stations U07, U08, U09 et U11 principalement. Cela révèle non seulement une diminution des impacts directs des rejets au niveau de l'émissaire, où les analyses ne révèlent aucun écart significatif, mais aussi un déplacement des matériaux émanant du rejet selon la morphologie du fond et la courantologie dans les canyons. Il peut être évoqué le glissement des matériels fluides déjà présent sur le fond, le long des parois des canyons. En effet, 'les quantités énormes de résidus accumulés dans le site depuis la mise en service de l'émissaire peuvent faire l'objet de remaniements entraînant des effets sur l'ensemble du domaine concerné' (Rapport Arnoux, 2002).

Ce constat est cependant contraire à celui formulé en 2002 par le Pr. Arnoux lequel mettait en évidence que 'depuis la mise en application du programme de réduction du rejet des boues, le champ d'expansion des particules dans la zone du talus a été réduit, ce qui se traduit par une chute des concentrations aux stations U07 et U08 et à un enrichissement des stations les plus proches du canyon U06 et U03.

La station U13, située à l'est du canyon de Cassidaigne, se distingue en 2012 par des concentrations en métaux à la surface, dont le titane, supérieures voire très supérieures à celles mesurées dans les horizons inférieurs. Ces teneurs sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur l'ensemble de la zone d'étude et parfois significatives (aluminium, chrome total, titane, vanadium).

Rejets des résidus inertes de l'usine de Gardanne dans le canyon de Cassidaigne. Campagne ALPEJAN 01. Caractérisation de la macrofaune benthique (Rapport de Elina DELORD, Laura BARDET et Sébastien THORIN, CREOCEAN, La Seyne-sur-Mer)

Un total de deux prélèvements (50 cm x 50 cm soit une surface de 0,25 m²) a été analysé pour les stations U02 à U13 et seulement un seul prélèvement pour les trois stations les plus profondes U26 à U28. Le tamisage des sédiments a été réalisé comme lors des campagnes précédentes sur un tamis de 250 µm. Les refus de tamis ont été fixés au formaldéhyde 4 % puis stockés avant d'être acheminés et analysés sous la responsabilité du Dr Daniel MARTIN, Centre d'Etudes de Blanes en Espagne.

Les paramètres de base (richesse taxonomique, densité et biomasse) ont été déterminés puis plusieurs indices ont été calculés par CREOCEAN : indice de diversité de Shannon, indice d'Equitabilité de Pielou, indices de similitude de Sorensen et de Bray-Curtis, indice de raréfaction et indice trophique afin de caractériser les communautés macrobenthiques échantillonnées en 2012.

Le tableau suivant récapitule les résultats concernant les principaux paramètres démographiques obtenus sur les 15 stations échantillonnées en 2012.

| | Profondeur | Distance au rejet | Richesse spécifique | Densité moyenne | Biomasse |
|-----|-------------|-------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Mètres | Kilomètres | Nb. d'espèces | Nb. ind./m ² | Grammes / m ² |
| U03 | 288 | 5,82 | 80 | 3734 ± 794 | 5,288 ± 4,137 |
| U06 | 598 | 16,14 | 42 | 1000 ± 212 | 0,989 ± 0,454 |
| U07 | 1050 | 21,20 | 44 | 704 ± 136 | 0,385 ± 0,17 |
| U08 | 1547 | 29,66 | 34 | 276 ± 20 | 0,269 ± 0,09 |
| U09 | 1968 | 38,18 | 33 | 412 ± 256 | 0,066 ± 0,042 |
| U10 | 2126 | 42,42 | 25 | 180 ± 28 | 0,034 ± 0,014 |
| U02 | 2104 | 36,15 | 35 | 164 ± 28 | 0,033 ± 0,005 |
| U11 | 2222 | 43,53 | 18 | 100 ± 44 | 0,018 ± 0,007 |
| U12 | 2290 | 42,60 | 29 | 176 ± 92 | 0,079 ± 0,07 |
| U04 | 219 | 5,68 | 86 | 2316 ± 188 | 2,067 ± 0,195 |
| U05 | 745 | 16,78 | 49 | 460 ± 24 | 0,138 ± 0,002 |
| U13 | 958 | 25,32 | 44 | 518 ± 442 | 0,418 ± 0,101 |
| U26 | 2432 | 72,20 | 22 | 284 | 0,091 |
| U27 | 2250 | 61,74 | 17 | 164 | 0,11 |
| U28 | 1758 | 70,51 | 20 | 152 | 0,046 |

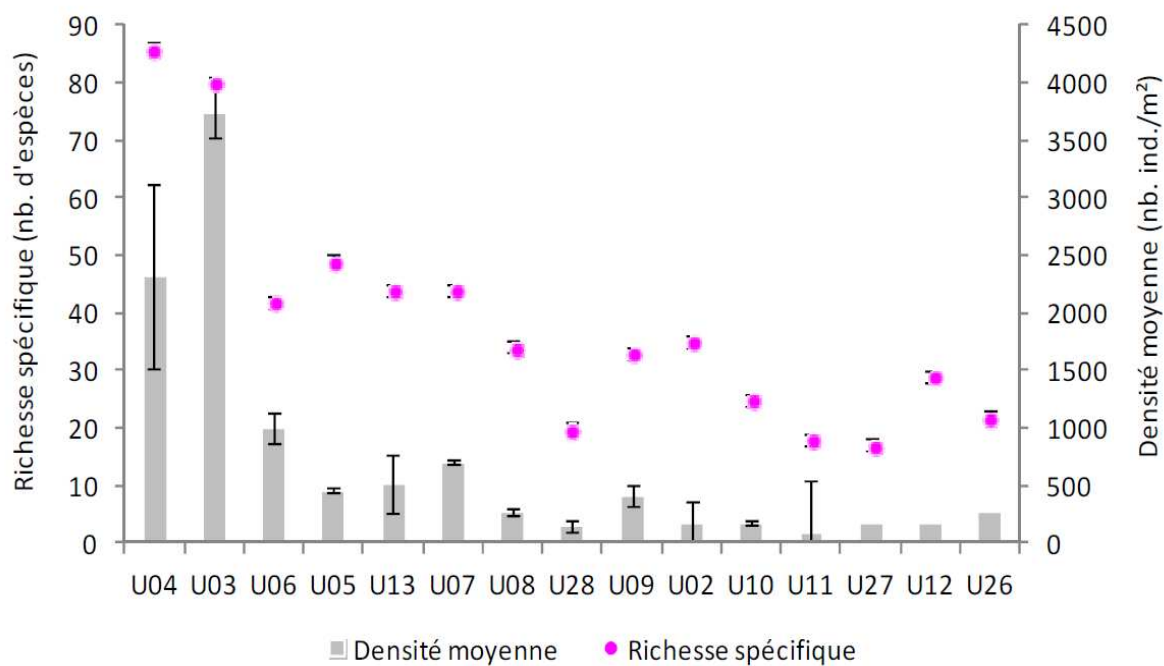
Paramètres structurels de la macrofaune benthique

Richesse taxonomique

Les 2660 organismes identifiés appartiennent à 184 catégories taxonomiques ; seulement 49 % ont été déterminés jusqu'à l'espèce selon le niveau d'identification suivant :

| | | |
|--------------------------------------|-----|-------|
| Nombre total d'organismes différents | 184 | 100 % |
| Identification jusqu'au phylum | 3 | 2 % |
| Identification jusqu'à l'ordre | 10 | 5 % |
| Identification jusqu'à la famille | 16 | 9 % |
| Identification jusqu'au genre | 65 | 35 % |
| Identification jusqu'à l'espèce | 90 | 49 % |

La richesse taxonomique correspond au nombre total de catégories recensées sur une station (deux prélèvements sauf les trois stations les plus profondes). Les valeurs sont comprises entre 17 (U27) et 80 (U13). Cette richesse diminue en fonction de la profondeur et de la localisation de la station.



Densité et richesse taxonomique des stations échantillonnées en 2012

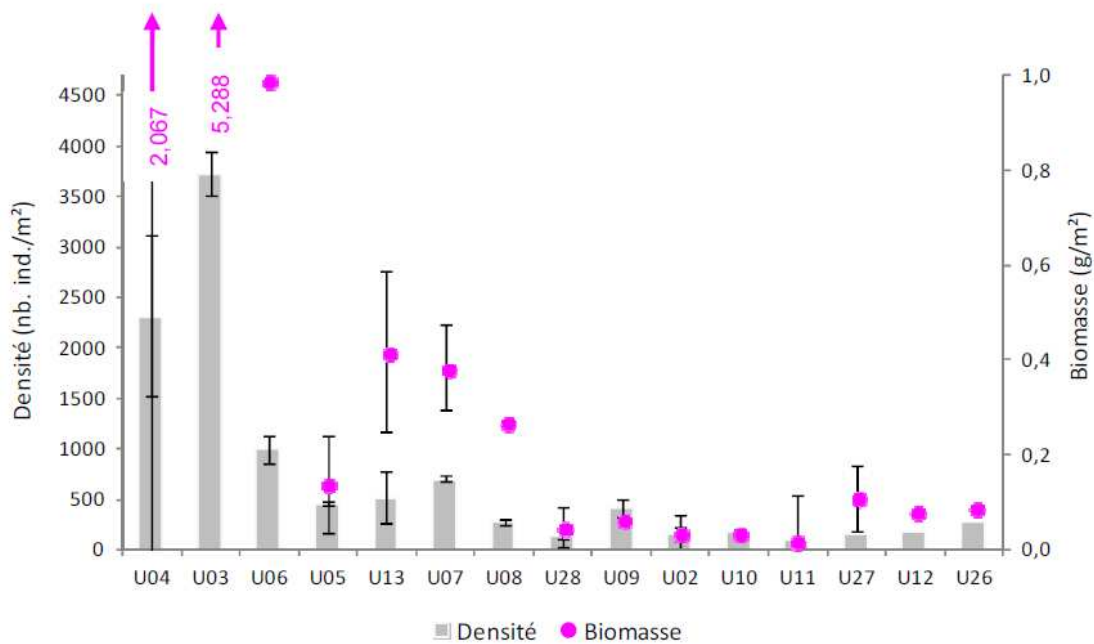
Du fait d'un effort d'échantillonnage différent, la méthode de raréfaction permet de calculer le nombre de taxa espéré pour un même nombre d'organismes collectés dans les différentes stations. Ainsi c'est la station la moins profonde et la proche du rejet U02 qui présente la richesse taxonomique pour 300 individus la plus élevée (38 taxa). De plus, cette analyse montre qu'en moyenne 33 taxa sont estimés dans les stations localisés à une profondeur inférieure à 1000 m alors qu'en moyenne 23 taxa sont comptés pour des profondeurs intermédiaires situées entre 1000 et 2000 m et seulement 19 taxa dans les stations les plus profondes dont la bathymétrie est supérieure à 2000 m. Le gradient bathymétrique de diminution du nombre de taxa avec la profondeur est donc bien vérifié sur cette campagne 2012 comme cela avait été auparavant montré sur les campagnes antérieures. Enfin, il est intéressant de remarquer que la station U11 recevant des matériaux fins et fluides accumulées plus en amont dans le canyon de Cassidaigne présente la richesse taxonomique la plus faible probablement en relation avec une accumulation accrue dans ce site de boues rouges chargées d'éléments métalliques comme le Titane ou le Chrome.

Densités

La densité correspond au nombre total d'organismes de la macrofaune tout taxon confondu présent sur chaque station par unité de surface soit le mètre carré. Les valeurs sont comprises entre 100 individus par m² à la station U11 sous influence d'apport de boues rouges et 3734 individus par m² dans une station peu profonde (U03), valeur légèrement supérieure de celle estimée à la station U04 (2316 individus par m²) malgré des difficultés d'échantillonnage de cette station de sédiments détritiques. Comme pour la richesse taxonomique les densités diminuent avec la profondeur.

Biomasses

La biomasse correspond au PSLC (Poids Sec Libre de Cendres) des individus par unité de surface (m²).



Densité et biomasse des stations échantillonnées en 2012

Les valeurs varient très fortement entre 0,017 (station U12) et 5,287 g. m⁻² (station U013). Comme pour les deux autres paramètres structurels de la macrofaune, la biomasse diminue avec la profondeur et est liée avec les valeurs des densités.

Indices de diversité et trophique

Il existe une tendance à la diminution de la diversité de Shannon avec la profondeur avec des valeurs extrêmes de 2,83 bits à la station U11 (station perturbée) à la station la plus riche en individus et en taxons (station U03) ; l'indice d'équitabilité de Pielou montre une homogénéité de valeur entre les stations et donc non liée à la bathymétrie avec des valeurs supérieures à 80 % témoin d'une distribution uniforme des taxons au sein des stations. En termes de densités, ce sont les annélides polychètes qui dominent et constituent plus de 50 % des organismes collectés. Les crustacés, les nématodes et dans une moindre mesure les mollusques sont bien représentés. En revanche, les autres groupes taxonomiques, les sipunculides, les échinodermes et les autres groupes faunistiques sont plus faiblement représentés. Il

faut remarquer qu'en U11, la macrofaune est dominée par des crustacés, groupe sensible souvent absent des milieux contaminés, et constituent plus de 50 % des individus recueillis en cette station. En termes de biomasse, les crustacés dominent dans 10 des 15 stations (U02, U05, U07, U08, U09, U11, U12, U13 et U26). En U03 et U06 ce sont les sipunculides qui dominent alors que ce sont les mollusques pour les stations U27 et U28.

En se focalisant sur les taxa dominants en termes de densités, trois groupes de stations peuvent être distingués parmi les taxa caractéristiques exclusifs de la biocénose des vases profondes.

Stations dominées par les nématodes, de 15 à 35 % des organismes récoltés : U02, U05, U06, U07, U08, U09, U10, U12, U13 et U28 ;

Stations U26 et U27 dominées par l'annélide polychète *Fauveliopsis brevis* ;

Les trois autres stations U03, U04 et U11, dominées par d'autres taxa et notamment à la station U11 par les crustacés copépodes Harpacticoïdes (31 % des individus collectés à cette station).

L'indice trophique des stations U03, U04, U11 et U13 indique un enrichissement en matière organique du sédiment qui sont bien liés aux concentrations en Carbone Organique Total mesurés notamment dans les deux stations U03 et U13.

Caractérisation structurelle de la macrofaune benthique

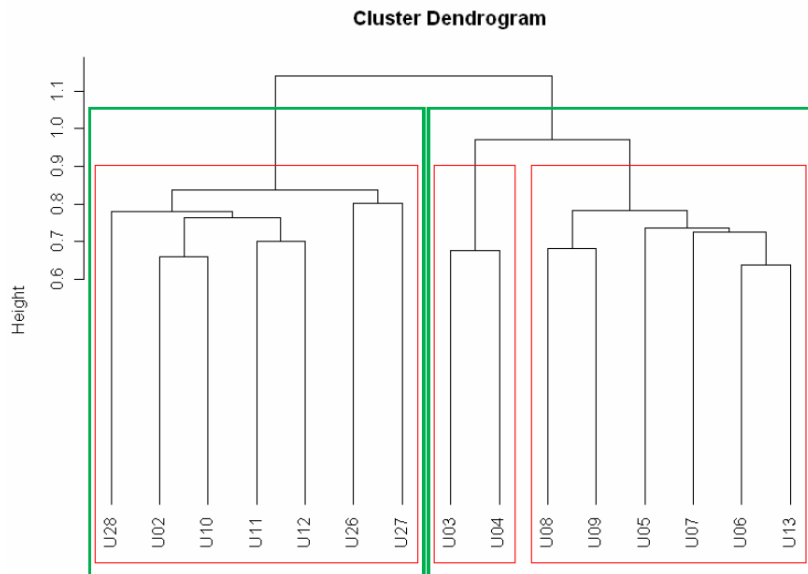
L'analyse qualitative sur les taxa identifiés sur les 15 stations a été effectuée à l'aide de l'indice de Sorensen, alors que l'analyse quantitative après transformation des densités en (log+1) a été réalisée avec l'indice de Bray-Curtis.

Ces deux analyses permettent principalement de mettre en évidence trois groupes de stations.

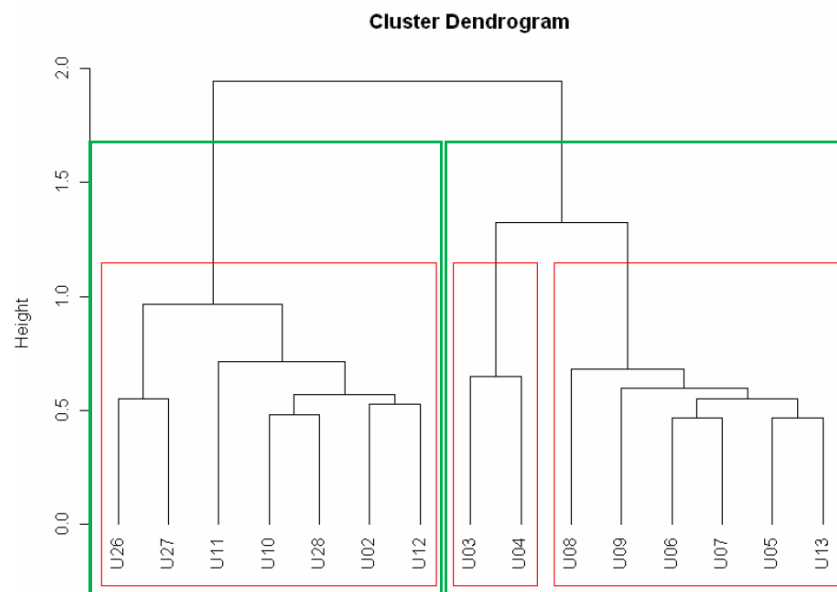
- les stations localisées à une profondeur comprise entre 500 et 2000 m (U05, U06, U07, U08, U09 et U13)

- les stations profondes > 2000 m (U02, U10, U11, U12, U26, U27 et U28) sauf pour U28 qui est à 1758 m.
- Les stations U03 et U04 situées sur le plateau continental qui possèdent les valeurs les plus élevées de richesse taxonomique et de densité moyenne.

La position bathymétrique apparaît donc comme le facteur écologique important dans la composition en espèce des peuplements benthiques sur la zone d'étude.



Dendrogramme représentant les affinités qualitatives des stations obtenues à partir de la matrice présence/absence des taxa (indice de Sorensen).



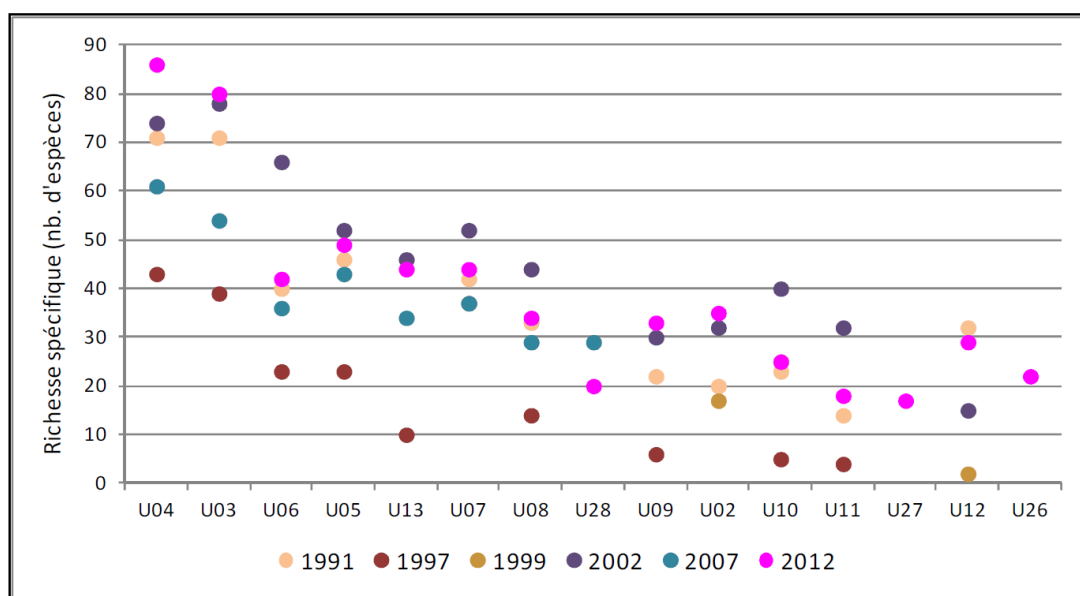
Dendrogramme représentant les affinités quantitatives des stations obtenues à partir de la densité des taxa (indice de Bray-Curtis).

Evolution temporelle

Le suivi de la macrofaune benthique dans le secteur du canyon de Cassidaigne existe depuis plus de 20 ans. Des prélèvements de sédiments ont été effectués afin de réaliser des biologiques dans différentes stations ayant des profondeurs comprises entre 200 et 2500 m. Il est important de préciser que les coordonnées de ces stations ont évolué au cours du temps. Par conséquent, l'évolution temporelle n'a pu être effectuée qu'entre les stations communes aux différentes campagnes.

Richesse taxonomique

Au regard de l'ensemble des données acquises depuis 1991, le point essentiel est la diminution de la richesse taxonomique avec la bathymétrie.



Evolution temporelle de 1991 à 2012 de la richesse taxonomique

En deuxième lieu, il existe une variation temporelle de la diversité taxonomique même si les prélèvements ont tous été faits à la même période annuelle (de la fin de l'été au début de l'automne), ainsi entre 1991 et 1997, une forte diminution du nombre de taxa s'observait pour chacune des stations, avec une perte maximale de 34

taxa pour la station U13 et une richesse minimale de seulement 5 taxa pour la station U07. Après la mise en place de la diminution des rejets début 2000, une amélioration des conditions environnementales auraient pu s'observer, en se traduisant notamment par une augmentation du nombre de taxa dans l'ensemble des stations. Or, aucune augmentation progressive de la richesse taxonomique n'a été observée sur les stations depuis cette date. En effet, une perturbation du milieu se note en 2007 avec des valeurs inférieures aux années 1999 et 2002 dans toutes les stations. Il est important de souligner le fait que ces valeurs sont également inférieures à celles de 1991 où aucun effort de réduction des rejets n'avait encore été mis en place. Les valeurs de 2012 sont également le signe d'un changement du milieu au niveau de l'ensemble des stations. Contrairement à 2007, ce changement s'accompagne d'un enrichissement en taxon. Cependant, les valeurs de 2012 ne correspondent pas au maximum atteint dans la majorité des stations (U06, U05, U13, U08, U28, U10, U11 et U12) au cours des précédents suivis.

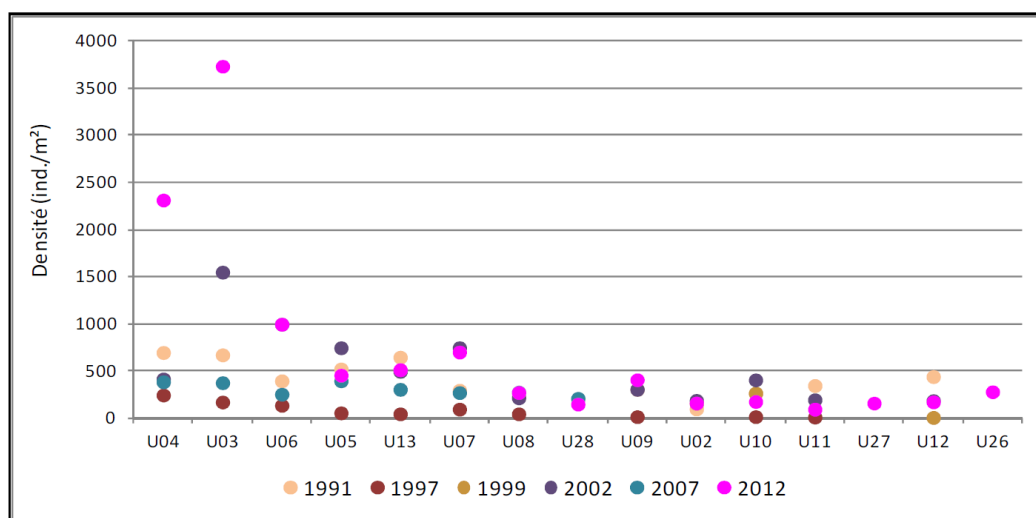
Les résultats de 2012 doivent cependant être modulés par le fait que les identifications des organismes a été effectué par un expert benthologue différent de celui des précédents suivis ce qui peut se traduire par des niveaux d'identification taxonomique distincts selon les expertises et la connaissance de la faune bathyale. Ce changement peut entraîner un biais dans les résultats acquis lors de cette dernière campagne et sur leurs comparaisons avec les campagnes précédentes.

Toutefois, le suivi réalisé depuis 1991 montre trois principales conclusions :

- Réduction de la richesse taxonomique avec la bathymétrie ;
- Variation pluriannuelle de la diversité taxonomique (il y a 5 ans d'écart entre les campagnes ;
- Richesse taxonomique plus faible dans les stations sous les effets des apports de boues rouges.

Densité

La densité moyenne de la macrofaune benthique a légèrement fluctué au cours du temps dans l'ensemble des stations.



Evolution temporelle de 1991 à 2012 de la densité moyenne

L'évolution temporelle de la densité suit une tendance identique à celle de la richesse spécifique : diminution avec la bathymétrie et variations pluriannuelles. En effet, l'année 1997 est également l'année où les densités moyennes sont les plus faibles. Les valeurs des stations U04, U05, U06 et U09 sont maximales en 2012. Une distinction peut néanmoins se faire car, de façon globale, les stations les moins profondes ont une amplitude de variation plus importante liée à des changements dans les dominances des taxa dominants ; de plus, ces stations sont également plus soumises aux pressions d'origines anthropiques s'exerçant depuis les côtes ou même aux variations interannuelles naturelles s'exerçant sur la masse d'eau côtière.

Répartition des groupes faunistiques

Depuis 1997, la majorité des stations étudiées est dominée par les annélides polychètes, suivies par les crustacés et les mollusques. D'une façon générale, une augmentation des nématodes et une diminution des mollusques s'observent au cours des cinq dernières campagnes de prélèvements. Cela s'observe plus particulièrement pour les stations situées sur le plateau et la pente continentale (U03, U05, U08 et U09). Dans certaines stations, des évolutions de la macrofaune benthique se

remarquent. En effet, au niveau de la station U07, les annélides polychètes ont toujours dominés la macrofaune en place. Cependant, le deuxième taxon le mieux représenté en 2002 était celui des mollusques avec 25 %. En 2007, ce taxon a fortement régressé passant à 7 % au profit de celui des crustacés qui atteignent 18 %. Tandis qu'en 2012, ce sont les nématodes qui occupent la deuxième place avec 24 %. D'autres stations, comme U04 s'avère plus stable avec le même ordre de grandeur de dominance des taxa au cours des années de suivis et malgré le problème d'échantillonnage qui a eu lieu en 2012.

L'évolution pluriannuelle des compositions taxonomiques permet d'observer une variabilité marquée des taxa en position dominante et sub-dominante, traduisant une structuration différente de la macrofaune selon la date de prélèvement. Un basculement en 2012 de la macrofaune vers une dominance de taxa affectionnant des sédiments plus sableux ne peut pas être affirmé. En effet, certains taxa typiques de fond vaseux sont en augmentation et d'autres en régression. Ainsi, la polychète *Fauveliopsis brevis*, espèce caractéristique des fonds vaseux profonds, semble avoir évolué de façon différente entre les stations. Cette espèce n'a pas été récoltée dans les deux stations U08 et U13 à partir de 1997 où elle constituait 6,25 % de la macrofaune. Sans la station U09, son absence de récolte semble avoir eu lieu après 2002 (10 %). D'autre part, une diminution de moitié se note au niveau des stations U10 et U11, passant en moyenne de 33 % en 1997 à 16% en 2012. D'autres espèces telles que les polychètes *Glycera tessalata* ou encore *Paraonis gracilis* qui fréquentent également de façon préférentielle les substrats vaseux profonds sont absents des prélèvements, dès 1997 pour la première année et seulement à partir de 2012 pour la seconde.

Par ailleurs, *Glycera capitata* a tendance à coloniser l'ensemble des stations. Elle était présente uniquement dans la station U15 en 1997, alors qu'en 2002 elle est retrouvée dans 11 stations sur les 12 étudiées cette année-là. Elle arrive même à dominer la macrofaune dans les stations U05, U06 et U13 avec des pourcentages proches des 11 %. En 2012, cette espèce est encore fortement présente avec des pourcentages de dominance similaires ; cependant, ce sont les Nématodes qui dominent de façon majoritaire l'ensemble des stations.

D'une façon générale, les espèces caractéristiques exclusives de la biocénose de la vase profonde dominant dans l'ensemble des stations encore en 2012. Aucun indicateur biologique n'a été mis en évidence afin de caractériser une perturbation du milieu suite au rejet de l'usine.

Discussion

Il ressort de cette étude que la profondeur joue un rôle majeur sur la composition de la macrofaune en place. Les valeurs de richesses taxonomiques, densités et diversités observées en 2012 sont en augmentation comparées à celles du suivi de 2007 sur la grande majorité des stations. Compte tenu des biais divers soulignés auparavant (laboratoire et benthologues différents) pouvant minimiser ou majorer l'état des lieux, le constat général, ce changement indique une amélioration de l'état écologique général des communautés de macrofaune en place.

En résumé, trois groupes de stations se distinguent en fonction de leur profondeur :

- les stations U03 et U04 sur le plateau continental les proches du rejet ;
- les stations situées sur la pente continentale (U05, U06 et U08)
- les stations situées aux delà de 2000 m de fond (U09, U10, U11, U12, U13, U26, U27 et U28).

Contrairement aux précédents suivis, il n'existe pas de différences significatives entre les stations situées à l'est et celles situées à l'ouest du rejet, malgré la dispersion préférentielle de celui-ci vers le canyon du Planier. D'autre part, la station U11, qui se différencie par de plus fortes teneurs en titane et en vanadium en surface, se caractérise par une macrofaune équilibrée mais pauvre de par ses plus faibles valeurs de richesse spécifique, de densité et de biomasse. A cette station la macrofaune est dominée en densité et en biomasse par les crustacés au contraire des autres stations. Enfin, la macrofaune a peu évolué au cours du temps et bien que les espèces caractéristiques de la biocénose de vase profonde dominant l'ensemble des stations ; certaines espèces rencontrées indiquent une diminution de la fraction

granulométrique vaseuse, ce que corroborent les résultats du suivis de la qualité des sédiments.

Étude des communautés de Foraminifères profonds (Rapport de Christophe FONTANIER, Maître de Conférences à l'Université d'Angers, UMR-CNRS 6112 LPGN LUNAM)

La mission a permis de récolter la quasi-totalité du matériel prévu dans le cahier des charges « Microfaune benthique » à savoir une carotte d'interface par station et ceci pour 14 stations. Seule la station U04 n'a pas fait l'objet d'un traitement classique pour des raisons d'échantillonnage impossible dans un sédiment extrêmement grossier. Les 14 carottes dédiées à l'étude des foraminifères benthiques (organismes unicellulaires eucaryotes vivant dans le sédiment) ont été prélevées dans la première benne déployée à chaque station.

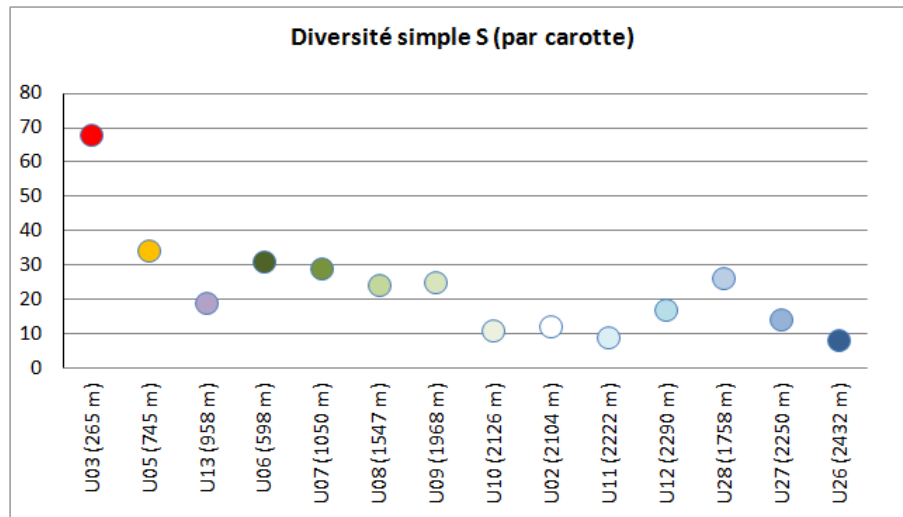
Les foraminifères benthiques sont des eucaryotes unicellulaires (Rhizaires) vivant dans les premiers centimètres des sédiments marins. Ils possèdent une coquille calcaire ou agglutinée leur assurant un potentiel certain de fossilisation. Ce sont des outils solides de bio-indication des stress anthropogéniques affectant les écosystèmes benthiques marins. En raison de cycles de vie extrêmement courts (quelques jours à quelques mois) et des niches écologiques très variées, ils sont à même d'enregistrer par des changements rapides de diversité les modifications environnementales variées. Il est ainsi important de signaler l'importance des foraminifères comme bio-indicateurs environnementaux.

Les résultats de l'étude des faunes se déclinent en trois points remarquables :

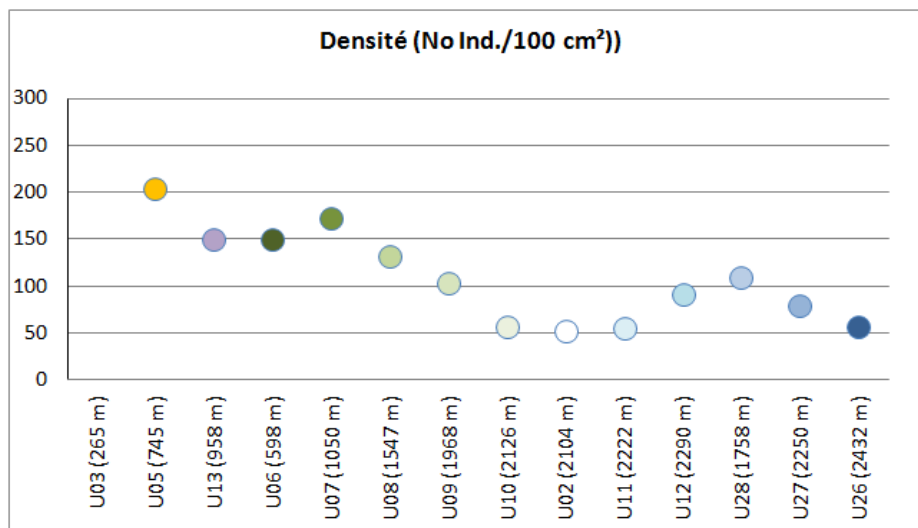
(1) Les 14 sites étudiés sont caractérisés par des microfaunes dont les diversités ainsi que les contributions absolues (densités) et relatives (pourcentages) des espèces majeures traduisent des écosystèmes naturels, typiques des canyons de la marge nord-occidentale méditerranéenne et du bassin profond. Ces microfaunes sont caractéristiques de milieux méso-oligotrophes (faiblement ou moyennement enrichis en nourriture) soumis à un contexte hydro-sédimentaire non contraignant.

2) L'absence de contribution significative d'espèces opportunistes d'environnements physiquement perturbés.

(3) L'absence de malformation des tests (= coquilles carbonatées) des foraminifères présents aux sites étudiés.



Nombre d'espèces de foraminifères par station classées selon la profondeur (S < 20 taxons pour les stations > 2000 m et S > 20 taxons pour les stations < 2000 m à l'exception de la station U13).

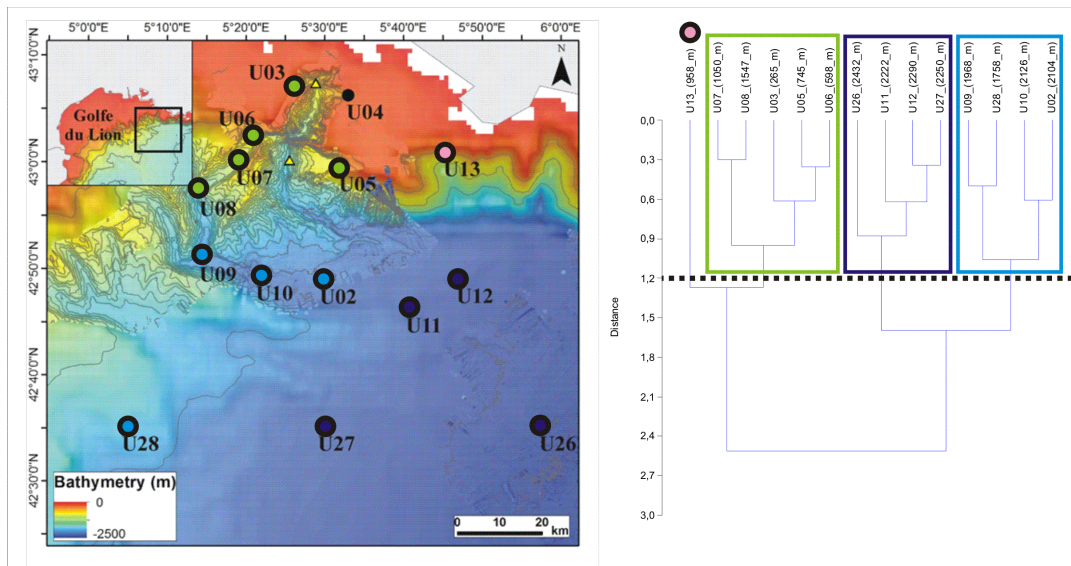


Densités par station (nombre de foraminifères pour 100 cm²) classées selon la profondeur (Densités faibles aux stations >2000 m et densités modérées aux stations <2000 m).

L'utilisation de l'analyse hiérarchique selon la méthode de classification de Ward a permis de rassembler les stations en groupes selon leur contenu faunistique. Les stations U11, U12, U27, et U26 sont regroupées au sein du même groupe. Elles

constituent les sites situés à plus de 2200 m de profondeur. Les stations U11 et U12 présentent un niveau lithologique infra-centimétrique superficiel de sédiments rougeâtres alors que les stations U26 et U27 ne présentent que des tâches ocres isolées à l'interface eau sédiment. Toutes les stations sont caractérisées par une faible diversité (moins de 17 taxons) et de faible densité de foraminifères benthiques (< 90 ind./100 cm²). En ce sens, la forte contribution de *Nodellum membranaceum*, de *Pyrgo* spp. et d'espèces agglutinées suspensivores témoigne d'écosystèmes oligotrophiques (pauvres en nourriture) naturels qui sont caractéristiques du bassin profond de la Méditerranée occidentale et du nord-est Atlantique.

Les stations U02, U09, U10 et U28 sont regroupées au sein du même groupe. Elles sont localisées entre 1700 et 2200 m de profondeur dans les systèmes des canyons du Planier et de Marseille et sur l'interfluve entre les canyons du Petit Rhône et du Grand Rhône (station U28). La station U09 présente un niveau millimétrique de sédiment ocre à la surface de la carotte. En ce qui concerne les stations U10, U02 et U28, l'interface eau-sédiment est ponctuellement tâchée de sédiments ocre. Ces stations sont caractérisées par des espèces oligotrophes et mésotrophes. Les diversités et les densités sont classiques d'environnements naturels oligo-mésotrophes.



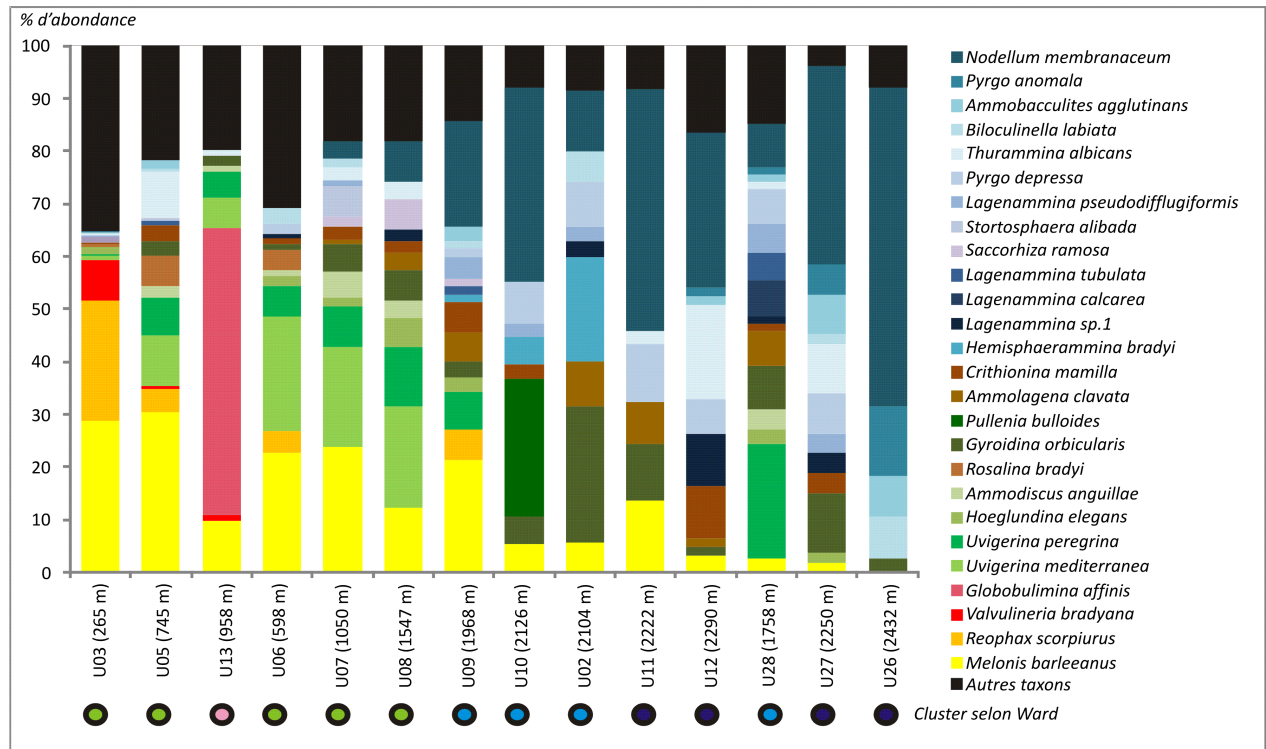
Résultats de l'analyse hiérarchique selon la méthode de Ward sur les données transformées d'abondance relative des espèces importantes (>5%) des 14 stations de la campagne ALPEJEAN 01. La distance exprimée dans l'arbre hiérarchique correspond aux distances euclidiennes au carré. L'absence de faune à la station U04 n'a pas permis d'intégrer cette station dans l'analyse.

Les stations U03, U05, U06, U07 et U08 sont regroupés au sein du même groupe. Elles constituent des sites situés au sein des canyons du Planier et de Cassidaigne, entre 260 et 1500 m. Dans le détail, il est possible de différencier deux sous-groupes rassemblant respectivement les stations au-delà de 1000 m de profondeur (U07 et U08) et les stations comprises entre 260 et 750 m de profondeur (U03, U05 et U06). La station U03 (265 m) présente un niveau pluri-centimétrique de boues rouges. Les stations U05 et U06 ne présentent pas de niveaux ocre. La station U07 (1050 m) présente des traces rouges à la surface du sédiment. La station U08 (1547 m) présente un niveau infra-centimétrique de boues rouges. Toutes les stations sont caractérisées par la dominance de *Melonis barleeanus*, une espèce méso-eutrophe classique des milieux riches en détritiques organiques dégradés. *Uvigerina mediterranea* et *U. peregrina* sont également des espèces mésotrophes et méso-eutrophes abondantes aux stations U05, U06, U07 et U08. Les diversités (>20 taxons) et les densités (>125 ind./100 cm²) observées à ces quatre sites sont en accord avec la présence de conditions mésotrophiques naturelles prévalant à ces sites. A la station la moins profonde (U03), la dominance et l'abondance absolue des espèces eutrophes et méso-eutrophes soulignent un milieu benthique enrichi en matière organique. La présence de résidus de boue rouge n'a visiblement aucun impact écologique remarquable sur la structure des communautés de ces cinq stations.

Enfin, la station U13 est isolée des autres groupes dans l'analyse hiérarchique. Ce site est situé bien à l'écart des canyons de Cassidaigne et du Planier. Cette station présente de faibles indices de diversité comparés aux stations situées dans la même gamme bathymétrique (U07 et U05). La densité est relativement modérée. La faune est dominée par *Globobulimina affinis*, une espèce à métabolisme anaérobie facultatif qui se développe dans des sédiments riches en détritiques organiques au niveau de la limite entre sédiment oxygéné et sédiment anoxique. Les conditions de la présence de ce taxon spécialisé sont une certaine stabilité géochimique et sédimentaire du milieu benthique. De plus, la présence d'*Uvigerina mediterranea* et *U. peregrina* renforce l'idée d'un environnement bathyal stable méso-eutrophique. *G. affinis* est une espèce qui occupe des microhabitats endopéliques profonds (souvent au niveau de la zone de dénitrification). Toutefois, les espèces dominantes observées

n'appartiennent pas à des taxons opportunistes potentiellement liés à un stress environnemental.

Pour conclure, les faibles contributions (voire l'absence) d'espèces opportunistes classiques d'environnements perturbés, l'absence de malformation des coquilles des foraminifères présents aux sites étudiés (qu'ils soient ou non caractérisés par un niveau lithologique de type boue rouge) et les compositions spécifiques normalement naturelles observées aux 14 stations suggèrent que les environnements benthiques étudiés ne présentent pas de pollution(s) notable(s) (i.e. pollution hydro-sédimentaire, organique ou chimique) et susceptible(s) d'être enregistrée(s) par les microfaunes benthiques.



Abondance relative des espèces importantes (>5%) des 14 stations de la campagne ALPEJEAN 01. L'absence de faune à la station U04 n'a pas permis d'intégrer cette station dans ce graphique. Les stations sont classées selon les critères énoncés en début de la section résultat. Les pastilles de couleur associées aux stations font référence à l'analyse hiérarchique de la figure précédente.

Synthèse des données d'écotoxicité sur les échantillons de sédiments marins collectés dans le cadre des travaux du Comité Scientifique de Suivi entre 1997 et 2012 (Rapport de Julie TABERLY et Daniel RIBERA, BIO-TOX, Talence)

Les essais écotoxicologiques ont été réalisés sur cinq (U03, U05, U06, U07 et U12) des 15 stations de la Campagne ALPEJAN. Le choix des stations et des essais a été validé lors du CSS de décembre 2011 et est justifié par : 1) la sensibilité des tests pratiqués ; 2) les cibles étudiées (aiguës, chroniques, génotoxicité) et 3) la possibilité de comparer l'évolution temporelle de l'écotoxicité de ces sédiments.

Afin de comparer ces résultats avec ceux précédemment collectés de 1997 à 2007, il a été décidé de réaliser les prélèvements dans les mêmes conditions : dans chaque benne, collecte d'un sous-échantillon dans les 10 à 15 cm supérieurs correspondant à la partie théoriquement biotique du sédiment, homogénéisation manuelle, répartition de l'homogénat dans des flacons nalgène et congélation à -18°C des échantillons ainsi prélevés.

Stations échantillonnées en vue des analyses écotoxicologiques

| station | Campagne | | | | |
|---------|----------|------|------|------|------|
| | 1997 | 1999 | 2002 | 2007 | 2012 |
| U02 | | X | | | |
| U03 | | | X | X | X |
| U04 | | | X | | |
| U05 | X | | X | X | X |
| U06 | X | | X | X | X |
| U07 | X | | X | X | X |
| U08 | X | | | | |
| U09 | X | | | | |
| U10 | X | X | | | |
| U11 | X | | | | |
| U12 | | | | | X |
| U13 | | | X | | |
| U18 | X | | | | |
| U23 | | X | | | |
| U24 | | X | | | |
| MT06 | | X | | | |
| MT12 | | X | | | |
| PT02 | | X | | | |
| PT06 | | X | | | |

Quatre tests différents ont été pratiqués :

- test de la fraction lixiviée sur le développement larvaire de l'huître ;
- test d'inhibition de la luminescence de la fraction lixiviée sur la bactérie *Vibrio fisheri* ;
- test de la fraction solide sur le développement larvaire de l'huître ;
- test d'inhibition de la luminescence de la fraction solide sur la bactérie *Vibrio fisheri*, test d'AMES sur la fraction lixiviée ;
- test de toxicité aiguë des sédiments marins et estuariens vis-à-vis des amphipodes sur *Corophium* sp.

Les principaux résultats sont :

- Absence d'effet des lixiviats sur le développement larvaire de l'huître ;
- Absence d'effet des lixiviats sur la bactérie luminescente *Vibrio fisheri* ;
- Absence d'effet de la fraction solide sur le développement larvaire de l'huître ;
- Absence d'effet de la fraction solide sur la bactérie luminescente *Vibrio fisheri* (selon le protocole Environnement Canada) ;
- Absence d'effet de la fraction lixiviée sur le test d'AMES ;
- Absence d'effet de la fraction solide sur le test de toxicité aiguë des sédiments marins et estuariens vis-à-vis des amphipodes sur *Corophium* sp.

Evolution de l'écotoxicité des lixiviats des échantillons de sédiments marins dans les stations ayant été suivie au niveau de l'écotoxicité

| | | Test d'inhibition de la luminescence (CE50) | | | | Test de développement larvaire (CE50) | | | | Test de mutation génique (Test d'AMES) | | | |
|----------|------|---|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|
| Stations | | U03 | U05 | U06 | U07 | U03 | U05 | U06 | U07 | U03 | U05 | U06 | U07 |
| Dates | 1997 | - | Nég | Nég | Nég | - | Nég | Nég | Nég | - | Nég | Nég | Nég |
| | 2002 | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | - | - | - | - |
| | 2007 | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | - | - | - | - |
| | 2012 | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég | Nég |

- : non mesuré

Nég. Négatif = La CE 50 est supérieure à la plus forte dose testée

Evolution de l'écotoxicité de la fraction solide des échantillons de sédiments marins

| Stations | | Test d'inhibition de la luminescence (CE50) | | | | Test de développement larvaire (% net de larves anormales 5g/L) | | | |
|----------|------|--|-----|-----|-----|--|--------|--------|--------|
| | | U03 | U05 | U06 | U07 | U03 | U05 | U06 | U07 |
| Dates | 1997 | - | - | - | - | - | 23,30% | 38,90% | 35,50% |
| | 2002 | Nég | Nég | Nég | Nég | 12,80% | 9,90% | 9,40% | 6,10% |
| | 2007 | Nég | Nég | Nég | Nég | 22,80% | 20,00% | 23,10% | 28,10% |
| | 2012 | Nég | Nég | Nég | Nég | 38,90% | 20,50% | 13,90% | 15,90% |

- : non mesuré

Evolution de la note de risques des échantillons de sédiments marins

| station | | Test d'inhibition de luminescence (test Microtox) | | | | Test de développement larvaire (% larve anormales à 5g/L) | | | |
|---------|------|--|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|
| | | U03 | U05 | U06 | U07 | U03 | U05 | U06 | U07 |
| Dates | 1997 | - | - | - | - | - | 1 | 2 | 2 |
| | 2002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 2007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |

- : non mesuré

Les résultats collectés ne montrent pas d'évolution temporelle entre 1997 et 2012 de l'écotoxicité de la fraction liquide des sédiments pour les stations U03, U05, U06 et U07. Concernant les tests en phase solide (contact tests), les résultats des tests d'inhibition de la luminescence et de développement embryonnaire diffèrent légèrement. Ces différences semblent témoigner de la plus grande sensibilité du test de développement embryonnaire. Pour ces derniers, il n'y a pas de dégradation de la note de risque pour les stations U05, U06 et U07. Pour le point U03, la note de risque augmente légèrement en 2012 indiquant une 'toxicité moyenne'. Toutefois, il convient de préciser que le pourcentage net de larves anormales est proche de la limite inférieure de cette classe de toxicité (voir ci-après les notes de risques attribuées). De plus, comme le montrent particulièrement les stations U06 et U07, il existe une grande variabilité de ce pourcentage d'une campagne à l'autre. Enfin, les résultats observés en 2012 ne sont pas cohérents entre eux : le seul effet observé est

pour le test embryo-larvaire en phase solide et pour ce test il n'y a pas de corrélation entre les effets sur la fraction aqueuse et solide. La note de 2 attribuée au point U03 ne semble donc pas ou peu significative. Afin de lever toute ambiguïté, il faudrait établir les relations concentrations-effets. Le postulat est que si les effets mesurés ne sont pas proportionnels aux concentrations en éléments traces métalliques (ETM), ils ne peuvent être associés à la présence de résidus de bauxite en mer.

Notes de risques attribuées en fonction de la réponse de différents tests à des sédiments contaminés

Source : IFREMER (1999). Dragages et environnement marin, état des connaissances, pp 12-14 et pp 132-134.

Notes attribuées par le test d'embryotoxicité chez l'oursin ou les bivalves (concentration 5g/l sédiment sec)

| Pourcentage de larves « D » anormales | Toxicité | Note de Risque |
|---------------------------------------|-------------|----------------|
| < 10 % | Négligeable | 0 |
| 10 à 30 | Faible | 1 |
| 30 à 50 | Moyenne | 2 |
| >50 | Forte | 3 |
| Blocage au stade embryon | Très forte | 3 |

Notes attribuées par le test d'inhibition de la luminescence chez la bactérie *Vibrio fischeri* (test microtox)

| CE, 20 mn (g/l) sédiment sec | Toxicité | Note de Risque |
|------------------------------|-------------|----------------|
| < 10 % | Négligeable | 0 |
| 10 à 30 | Faible | 1 |
| 30 à 50 | Moyenne | 2 |
| >50 | Forte | 3 |

Notes attribuées par le test Toxicité aiguë vis-à-vis des amphipodes du genre *Corophium*

| CE, 20 mn (g/l) sédiment sec | Toxicité | Note de Risque |
|------------------------------|-------------|----------------|
| > 100 | Négligeable | 0 |
| 50 à 100 | Faible | 1 |
| 10 à 50 | Moyenne | 2 |
| <10 | Forte | 3 |

Commentaires

Le CSS félicite l'équipe de la campagne de septembre 2012 puisque l'ensemble des 15 stations prévues lors de la campagne 2012 a pu être effectué même si sur trois d'entre elles un seul prélèvement au carottier USNEL a pu être réalisé par manque de temps. Les résultats sur les essais écotoxicologiques confirme ceux des campagnes précédentes : nécessité de faire une batterie de tests afin d'avoir un diagnostic complet, sensibilité plus importante du test de développement embryonnaire (déjà signalé pour les autres campagnes). Il y a donc une absence de toxicité aiguë, chronique et de génotoxicité à partir de la batterie de tests réalisés sur du sédiment pris en profondeur.

Le groupe des foraminifères est un compartiment biologique benthique intéressant à analyser en complément de l'indicateur macrofaune. Il n'est pas montré d'anomalie majeure sur ce compartiment mais une originalité de la station U13 signalé pour les éléments métalliques. La cause de cette anomalie mériterait d'être recherchée. De plus, il est à noter que les faunes de foraminifères profonds avaient été étudiés à deux stations benthiques du Canyon de Cassidaigne en 2010 lors de la campagne IFREMER ESSROV2010 par C. Fontanier. La station située à la tête du canyon à ~725 m de profondeur présentait une diversité extrêmement faible et des espèces opportunistes inhabituelles pour des milieux naturels de canyon. Ce déséquilibre écologique témoignait d'un stress mécanique associé vraisemblablement au contexte hydro-sédimentaire particulier dans l'axe du canyon. Plus en profondeur (~1530 m), les faunes vivantes de foraminifères benthiques étaient diversifiées et correspondaient à des environnements naturels méso-oligotrophiques ; ceci a été vérifié lors de la campagne de septembre 2012. Les foraminifères comme la macrofaune révèlent l'effet mécanique de l'écoulement des boues dans l'axe du canyon rendant la vie benthique (au niveau du fond) difficile voire impossible.

Le CSS note la cohérence des résultats présentés par CREOCEAN sur la granulométrie, géochimie et macrofaune benthique par rapport à ceux des autres campagnes. Il est noté que les stations occidentales les plus éloignées de l'émissaire et les plus profondes ne montrent pas d'indication de présence de résidus ; la limite

ouest serait par conséquent atteinte, en revanche la présence de résidus à la station la plus à l'est est curieuse. De même, les analyses chimiques de la station 13 en fond de canyon du Cap Sicié sont surprenantes et mériteraient d'être analysées dans le contexte d'autres apports notamment des émissaires urbains de la région de Toulon. Il apparaît des difficultés de comparaison entre la campagne 2012 et les campagnes précédentes liées aux changements de techniques d'extraction des métaux (nécessité de normalisation ou de calibration) ou des niveaux d'identification de la macrofaune mais qui ne sont pas du fait d'ALTEO. Le CSS réitère sa demande de constitution de collection de référence 2012 des taxa de macrofaune permettant dans le futur de vérifier les identifications. Il a appris l'existence de sédiment congelé de l'ensemble des stations échantillonnées en 2012 ; il est indispensable de garder ces échantillons au moins jusqu'à la réalisation de la prochaine campagne pour garder la possibilité de comparer les mesures avec les mêmes techniques d'extraction des métaux. Il juge nécessaire d'apporter des éléments complémentaires aux deux rapports CREOCEAN : caractérisation physico-chimique des sédiments et caractérisation de la macrofaune benthique. Il demande que pour ce compartiment biologique tout soit mis en œuvre pour récupérer les données brutes du Centre Océanologique de Marseille.

En résumé, la campagne 2012 met en exergue les points suivants :

- Diminution de la richesse en espèces et de l'abondance de la microfaune (foraminifères) et macrofaune avec la bathymétrie ;
- Accumulation des boues au pied de la zone d'écoulement du canyon (station 11) ;
- Plus grande hétérogénéité des résultats en 2012 que lors des campagnes précédentes (mais il y avait moins de stations visitées) suggérant des arrivées massives de matériel stocké en tête de canyon vers le bathyal (éboulement de turbidites classique lors d'événement paroxysmique comme des microséismes, apports continentaux liés à des crues...).
- Existence de situations particulières : station U04, dans du sédiment grossier détritique difficile à échantillonner à la benne USNEL qu'il conviendrait

d'abandonner par la suite ; station U11 avec des apports massifs entre 2007 et 2012 et station U13 dont les origines des métaux y compris le titane en surface mériteraient d'être recherchées.

A l'issue de cette campagne, il serait intéressant de :

- Rédiger une synthèse non technique de la campagne (le CSS) ;
- Faire une analyse croisée de l'ensemble des résultats acquis au cours de cette campagne 2012 qui pour le moment ont été analysés séparément, cette analyse pourrait être faite par les participants de la campagne 2012.
- Réaliser une analyse spatio-temporelle de l'ensemble des campagnes historiques sur les aspects granulométrie, géochimie et macrofaune benthique afin d'avoir une véritable chronique du devenir des résidus en mer qui fait défaut pour le moment.

Actions de valorisation de la bauxaline ® en 2013 et actions proposées pour 2014

Bilan 2013

- 3156 t valorisées sur la nouvelle application récurrente : argiles expansées, nouvelle application depuis 2012 (essais labos en 2011 et démarrage industriel en 2012) : expansion et vitrification dans des fours rotatifs, à 1100°C (5% de bauxaline ®) : additif source d'oxyde de fer pour les billes d'argile expansé avec des applications dans des bétons allégés, des blocs de construction isolants, ...valeur ajoutée : source de fer pour permettre l'expansion des granulats et obtenir la couleur rouge. Des difficultés techniques rencontrées par l'utilisateur en milieu d'année : arrêt puis reprise à un rythme inférieur.
- Couverture de décharge : pas de chantier suffisamment proche pour être économiquement compétitif.
- Dépollution : capture des polluants métalliques et phosphates ; traitement sols pollués, effluents et déchets miniers ou industriels, traitement de l'eau ; évaluation de la bibliographie scientifique et technique sur le sujet

(mécanismes, performance ...) en collaboration avec l’Ineris ; essais en laboratoire sur une vingtaine d’effluents et sols, très grande variabilité (pH, nature des polluants, réserve d’acidité ...), résultats positifs, avec des « recettes » adaptées.

Le tableau ci-après dresse l’historique de la valorisation entre 1995 et 2012 ; il fait apparaître le bilan suivant :

| HISTORIQUE | APPLICATION | TONNES |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|
| 1995 | Route | 1 500 |
| 1997 | CSDU | 12 000 |
| 1998 | CSDU Entressen en 1998 | 1 500 |
| 2002 | CSDU et route | 13500 |
| 2003 | CSDU | 104 500 |
| 2006 | CSDU, Divers | 10972 |
| 2007 | CSDU | 7750 |
| 2008 | CSDU, Divers | 17685 |
| 2009 | CSDU, Divers | 9703 |
| 2010 | CSDU, Divers | 11571 |
| 2011 | CSDU, Divers | 78886 |
| 2012 | CSDU, argiles expansés, divers | 26910 |
| 2013 | Argiles expansés | 3156 |
| TOTAL | TOTAL 1995-2013 | 298633 t |

Projets 2014

Dépôt d’un dossier de sortie du statut de déchet pour la bauxaline ®.

Poursuite de la voie argiles expansés : voir si d’autres sites en Europe peuvent être intéressés

Projet Baux Geste

Projet Baux Geste



Les filières retenues pour le projet Baux Geste :

Matières Premières Secondaires : Tuiles / Briques ; Argiles Expansées ; marché en développement (bétons allégés, blocs de construction isolants) et Bauxaline® utile dans certaines formulations

Géopolymères : polymérisation de composés minéraux contenant alumine, silice, soude ; dépollution ; drainages miniers acides et effluents acides ; traitement des sols ; déphosphatation ; extraction de constituants majeurs : oxyde de fer, de titane, alumine et mineurs : terres rares et métaux stratégiques (Y, La, Sc, Ce)

Les filières retenues à l'issue de la phase P : toutes les filières testées sont prometteuses, mais aucune n'est prête à être mise en œuvre à moyen terme : seulement des résultats de laboratoire voire pilotes limités et non applicables ; acquisition de données technico-économique théoriques ; aspects réglementaires et environnementaux non disponibles. Des contacts ont été pris et un intérêt notable de certains partenaires a été reçu.

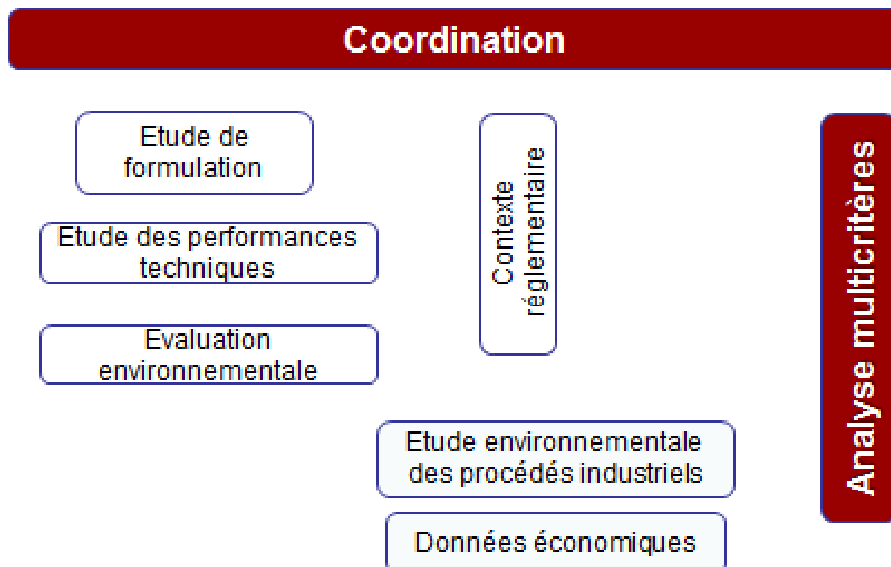
L'équipe du projet Baux Geste traite de la problématique sous tous ses aspects (économiques, techniques, scientifiques et environnementaux) et associe les

expertises R&D et ingénieries : Mines de Paris – CRC ; Insa de Lyon – Provademse (+CSTB) ; Ecole des Mines de Douai ; Université de Nice Sophia Antipolis ; Ineris ; Efficient Innovation –financement innovation ; Neo-Eco – Ingénierie procédé ; Via habilis – Ingénierie environnementale et Idco – applications industrielles des micro-ondes.

Les objectifs du projet sont de produire ou collecter toutes les données techniques, économiques, environnementales et réglementaires pour pouvoir sélectionner les filières les plus pertinentes et préparer des démonstrateurs

Cartographie des filières pour la phase 1

| Extraction de constituants | Dépollution | MPS |
|----------------------------|------------------------|-------------------|
| majeurs | DMA et effluent acides | tuiles/briques |
| mineurs | Sols | Argiles expansées |
| | Déphosphatation | Géopolymères |
| Analyse Multicritère | | |



Commentaires

ALTEO a engagé la construction du deuxième filtre presse sur le site de Mange Garri ; la fin de sa construction est prévue fin 2013 pour une mise en service probablement début 2014. Le troisième et dernier filtre presse sera également localisé sur le site de 'Mange Garri', sa construction commencera probablement au cours de 2014.

Il est constaté une très faible utilisation de la bauxaline ® en 2013 ; l'usine ne peut plus financer son transport sur les sites potentiels d'utilisation. Il est par conséquent prévu son stockage après séchage sur filtre-presse à 'Mange Garri'.

Le CSS encourage ALTEO de continuer dans les approches menées depuis trois ans sur la bauxaline ® et ceci dans une vision à long terme (horizon 2020) : esprit d'innovation et recherche de bons partenaires industriels et commerciaux. La possibilité d'utiliser la bauxaline ® pour la dépollution doit être poursuivi.

Projet d'arrêt des rejets en mer des résidus de bauxite

Ce projet a été présenté à CSS au titre d'information, le CSS ne faisant pas partie du Comité de Pilotage de ce projet. Seules les questions interférant avec les missions du CSS sont reprises ci-après. Après la présentation de l'argumentaire étayé ayant abouti au scénario de réutilisation de la conduite pour rejeter des eaux industrielles en mer, un zoom technique et écologique sur la solution du rejet des eaux en mer a été commenté.

Les installations de traitement envisagées permettront d'assurer une concentration < 35 mg/L de matières en suspension versus (120000 mg/L actuellement, sauf épisodes accidentels) et une maîtrise des scénarios accidentels.

L'arrêt des rejets de boues rouges en mer au 31 décembre 2015 s'est traduit par un investissement dans des filtres presses rendant les résidus minéraux d'extraction 100 % valorisables avec de nouvelles filières d'économie circulaire en développement. La solution de traitement d'eau proposée répond aux exigences d'amélioration de la qualité du milieu fixées par le Parc National des Calanques et l'Agence de l'Eau ; elle

est compatible avec les normes en vigueur et présente de loin le plus faible impact environnemental de toutes les cinq autres alternatives possibles.

Les résultats de l'étude d'impact coordonnée par SAFEGE ont montré que l'eau traitée envoyée en mer sera sans effet toxique sur le milieu, sans impact sanitaire lié au rejet (comme c'est déjà le cas actuellement), l'habitat sous-marin exceptionnel sera préservé. Il va être proposé le maintien d'un CSS et d'un programme de vérification des conclusions de l'étude d'impact et de suivi des résidus historiques.

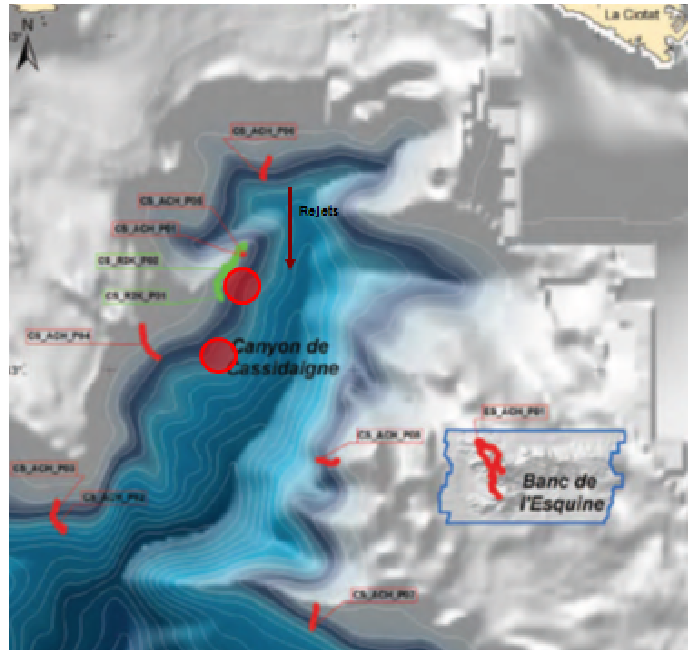
Il est proposé que les Membres du Comité Scientifique de Suivi (CSS) continuent à être nommés par arrêté préfectoral, avec invitation du président du CS du Parc national des Calanques, recentrage des compétences en écotoxicologie, géochimie, et écologie des milieux benthiques profonds.

Les missions du CSS seraient de suivre l'extension des dépôts et l'évolution des milieux suite à l'arrêt des rejets solides et d'assurer le suivi de contrôle des effets des nouveaux de rejets. Il continuerait à rédiger un rapport annuel et à le présenter au CODERST.

Au niveau du suivi, il est proposé d'échantillonner en 2016 deux stations dans l'axe du canyon afin d'évaluer les phénomènes de recolonisation et de réaliser des tests d'écotoxicologie ainsi que déterminer les qualités sédimentaires, géochimiques et macrofaune de ces stations. La qualité de l'eau serait faite de façon ponctuelle : réalisation de profil ponctuel de conductivité (sondes CTD) à proximité du point de rejet à partir de campagnes en fonction des conditions météorologiques types. Il serait également envisagé le suivi de deux stations de substrats durs pour lesquelles existent des données historiques acquises en 1972 et en 2010 (voir carte ci-après) afin de suivre la mégafaune benthique (évaluation des phénomènes de recolonisation) à partir d'analyse de vidéo (ROV), composition spécifique, abondance...

Les campagnes à grande échelle (14 stations du réseau des campagnes précédentes + deux nouvelles stations dans l'axe du chenal) seraient programmées tous les 5 ans avec la première en 2021.

Localisation des deux stations de suivre de la mégafaune benthique des substrats durs



Commentaires

Le CSS remercie Messieurs Javel et Thomas pour le point d'information présentant l'état de l'avancement des travaux réalisés en 2013. Il reconnaît que les engagements pris pour réaliser l'ensemble des multiples actions en support de ce dossier complexe ont été tenus et que les pièces du dossier pourront être fournies à l'Administration au cours du premier semestre 2014 soit plus de 18 mois avant l'arrêt des rejets solides le 31 décembre 2015.

Le CSS note l'évolution proposée de ses missions et sa composition. Il souhaite cependant être maintenu dans sa forme actuelle au moins jusqu'en décembre 2014 date de sa prochaine réunion plénière puis être renouvelé totalement au début de 2015.

Afin qu'il n'y ait pas de confusion avec le nouveau Comité Scientifique de Site (création réglementaire en 2014), il est proposé d'appeler la nouvelle structure Conseil Scientifique d'ALTEO (CSA). Le président du Conseil Scientifique du Parc National des Calanques devrait être membre à part entière et non seulement invitée dans le CSA.

Le CSS n'approuve pas le projet de suivi 2016 sur un nombre limité de stations puis 2021 sur l'ensemble des stations suivies depuis 1997. Il recommande de réaliser la prochaine campagne à l'automne 2017. En revanche, il approuve dans le suivi l'addition de deux nouvelles stations de substrat meuble dans l'axe du canyon et des deux stations de suivi sur substrat dur. Il recommande de suivre les mêmes indicateurs que pendant la campagne 2012 à savoir : qualité sédimentaire et géochimique des sédiments ; écotoxicité des sédiments ; macrofaune benthique et foraminifères benthiques.

Recommandations 2013 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 2013 et les projets de valorisation et d'utilisation de la Bauxaline® en 2014 tels qu'ils ont été présentés lors de la réunion annuelle du CSS du 6 décembre 2013.

A l'issue des exposés et en fonction des discussions qui ont suivi, le Comité Scientifique de Suivi recommande pour 2014 :

- 1) De continuer la démarche cohérente d'anticipation de la demande de rejets en mer d'eau industrielle au-delà du 31 décembre 2015 par la construction des deux filtres presse sur le site de Mange Garri.
- 2) De poursuivre dans les pistes et approches menées depuis trois ans sur la valorisation de la bauxaline ® et ceci dans une vision à long terme (horizon 2020) (les quantités valorisées en 2013 sont très faibles) : esprit d'innovation et de recherche de bons partenaires industriels et commerciaux. La possibilité d'utiliser la bauxaline ® pour la dépollution doit être poursuivi.
- 3) De compléter les travaux réalisés à l'issue de cette campagne 2012, en :
 - Rédigeant une synthèse non technique de la campagne (le CSS) ;
 - Réalisant une analyse croisée de l'ensemble des résultats acquis au cours de cette campagne 2012 qui pour le moment ont été analysés séparément, cette analyse pourrait être faite par les participants de la campagne 2012.
 - Réalisant une analyse spatio-temporelle de l'ensemble des campagnes historiques sur les aspects granulométrie, géochimie et macrofaune benthique afin d'avoir une véritable chronique du devenir des résidus en mer qui fait défaut pour le moment.

- 4) De s'assurer de la constitution d'une collection de référence 2012 des taxa de macrofaune permettant dans le futur de vérifier les identifications ; de garder les sédiments congelés de l'ensemble des stations échantillonnées en 2012 ; il est indispensable de conserver ces échantillons au moins jusqu'à la réalisation de la prochaine campagne pour garder la possibilité de comparer les mesures avec les mêmes techniques d'extraction des métaux. De même, il est indispensable que tout soit mis en œuvre pour récupérer les données brutes macrofaune des campagnes réalisées par le Centre Océanologique de Marseille.

- 5) De tenir informé le CSS sur la démarche du devenir des rejets en mer des eaux industrielles au-delà de l'arrêt des résidus solides le 31 décembre 2015 et de la nécessité compte tenu du type nouveau du rejet d'étendre le suivi à la colonne d'eau. Il apparaît cependant plus intéressant de mettre en place à demeure une chaîne instrumentée permettant d'assurer les mesures en continu que de faire des mesures ponctuelles des caractéristiques physico-chimiques de la colonne d'eau.

- 6) Le CSS n'approuve pas le projet de suivi 2016 sur un nombre limité de stations puis de suivi en 2021 sur l'ensemble des stations échantillonnées depuis 1997. Il recommande de réaliser la prochaine campagne à l'automne 2017. En revanche, il approuve dans le suivi l'addition de deux nouvelles stations de substrat meuble dans l'axe du canyon et des deux stations de suivi sur substrat dur afin de permettre de mieux préciser le devenir à long terme des résidus déjà en place. Il recommande de suivre les mêmes indicateurs que pendant la campagne 2012 à savoir : qualité sédimentaire et géochimique des sédiments ; écotoxicité des sédiments ; macrofaune benthique et foraminifères benthiques. La station U4 devrait être abandonnée.

- 7) De renouveler le CSS en 2015. En effet, le CSS approuve le souhait d'évolution proposée de ses missions et sa composition en se focalisant sur les questions relatives à l'environnement marin en ciblant les aspects d'écotoxicologie, de géochimie et d'écologie des milieux benthiques profonds. Il souhaite cependant être maintenu dans sa forme actuelle au moins jusqu'en décembre 2014 date de sa prochaine réunion plénière puis être renouvelé totalement au début de 2015. Afin qu'il n'y ait pas de confusion avec le nouveau Comité Scientifique de Site (création réglementaire en 2014), il est proposé d'appeler la nouvelle structure Conseil Scientifique d'ALTEO (CSA). Le président du Conseil Scientifique du Parc National des Calanques devrait être membre à part entière et non seulement invitée dans le CSA.
- 8) De continuer à communiquer vers le grand public le plus largement possible sur les actions menées via le site web (www.alcan-gardanne-environnement.fr) et de poursuivre les liens avec les partenaires du Parc National des Calanques.

**Rapport rédigé par Jean-Claude DAUVIN
Président du Comité Scientifique de Suivi**