



Nord Est **SUD** Ouest
INTERREG III C



COMMISSION EUROPEENNE
DIRECTION GENERALE AUX POLITIQUES REGIONALES ET A LA COHESION

PROGRAMME OPÉRATIONNEL INTERREG III C – ZONE SUD

BEACHMED-e: La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée (code 3S0155R)

Mesure 2.4



Européen Dragage Rechargement Environnemental Protocole

Partage, perfectionnement et application du protocole ENV1 aux activités de dragage et de rechargement avec des sables fossiles, et applications spécifiques pour l'étude de la turbidité.

Phase A - Rapport final

Applicabilité du protocole ENV1 dans les régions impliquées

Copartage du protocole ENV 1

Recherches spécifiques sur le problème de la turbidité





Participants à la rédaction du rapport de la phase A

ICRAM (Région du Latium)

Luisa Nicoletti
Daniela Paganelli
Loretta Lattanzi
Barbara La Porta
Alfredo Pazzini
Monica Targusi
Paola La Valle

ARPA-IA (Région de l'Emilie-Romagne)

Mentino Preti
Maurizio Morelli
Margherita Aguzzi
Nunzio de Nigris

DISTART UNIBO (Région de l'Emilie-Romagne)

Alberto Lamberti
Luca Martinelli

Province de Livorno (Région de Toscane)

Enrico Bartoletti
Alessandro Bini
Rebecca degl'Innocenti
Irene Nicotra
Jessica Vacava

Université Democritus de Thrace (Région de l'Est Macédoine et Thrace)

Vassilios A. Tsihrintzis
Georgios K. Sylaios

ARPAL (Région de Ligurie)

Rosa Maria Bertolotto
Eliana Paoli
Cecilia Cuneo
Sergio Tucci
Marco Capello



SOMMAIRE

INTRODUCTION

1 – ANALYSE CRITIQUE DU PROTOCOLE ENV1

1.1 – Présentation d'ENV1

1.2 – Les réglementations de référence dans les Pays et dans les Régions participantes

1.2.1 - Réglementations nationales

1.2.2 - Réglementations régionales

1.3 – Les caractéristiques environnementales à protéger dans les Régions participantes au Sous-projet

1.3.1 - Région du Latium

1.3.2 - Région d'Emilie-Romagne

1.3.3 - Région de Toscane

1.3.4 - Région Est Macédoine et Thrace

1.3.5 - Région de Ligurie

1.4 – Les propositions d'avenant au protocole ENV1

1.4.1 - Les propositions d'ICRAM

1.4.2 - Les propositions d'ARPA-IA et de DISTART-UNIBO

1.4.3 - Les propositions de la Province de Livorno

1.4.4 - Les propositions de l'Université Democritus de Thrace

1.4.5 - Les propositions d'ARPAL

2 – TURBIDITÉ ET TAUX DE SÉDIMENTATION NATURELS DANS LES RÉGIONS PARTICIPANTES AU SOUS-PROJET

2.1 - Le cas du Latium

2.2 - Le cas de l'Emilie-Romagne

2.3 - Le cas de la Toscane

2.4 - Le cas de l'Est Macédoine et Thrace

2.5 - Le cas de la Ligurie

3 – LES HABITATS À PROTÉGER

3.1 – Les Phanérogames marines

3.2 – La *Posidonia oceanica*

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Dans ce sous-projet, l'intention est d'évaluer la valeur et l'applicabilité dans différents cadres territoriaux du protocole ENV1, le seul document officiel actuellement disponible sur les études d'impact sur l'environnement pour le dragage et le rechargement par des sables fossiles et, éventuellement, de procéder aux révisions possibles.

Le Protocole ENV1 "Protocole Méthodologique Spécifique pour l'Etude des Aspects Environnementaux en vue de l'Utilisation des Dépôts Marins Sableux du Large et du Remblayage des Plages (BEACHMED-ENV1)", rédigé et développé par l'ICRAM, a été produit en conclusion du travail effectué dans le cadre du projet européen INTERREG IIIB MEDOCC – BEACHMED ([BEACHMED, 2004](#)).

Ce protocole, mis au point et optimisé au cours de plusieurs années d'étude et d'applications expérimentales, a déjà été adopté en 2004 par la Région du Latium, la Région de Toscane, la Région de Ligurie et par la Generalitat Valenciana (ES).

Compte tenu du fait que les activités de dragage de sables fossiles comportent l'emploi de technologies innovantes pour le bassin méditerranéen, et vu que ce protocole a été rédigé sur des résultats expérimentaux rapportés à un petit nombre de cas, de nouvelles études et des données supplémentaires pourraient inciter à l'enrichir par des apports spécifiques.

Selon les expériences acquises ces dernières années et comme le souligne bien le protocole ENV1, l'un des aspects les plus importants à considérer pendant ces activités est l'augmentation de solide en suspension, qui pourrait avoir des effets considérables sur l'environnement.

Dans la zone de dragage prévaut l'effet rattaché à l'*overflow* (formation de sédiments le long de la colonne d'eau pendant le dragage), avec formation d'une *plume* de turbide, qui entraîne une augmentation localisée temporaire de la turbidité (diminution de pénétration de la lumière)¹. Dans la zone de rechargement on assiste à une augmentation de la turbidité, due principalement à la mobilité accrue du sédiment qui vient d'être déposé, avec éloignement de la fraction plus fine sous l'effet de la houle. La mobilité accrue du sédiment peut comporter en outre une augmentation des taux de sédimentation².

Pour un traitement plus complet des effets induits par le dragage et par le rechargement sur le milieu marin, nous renvoyons le lecteur à la bibliographie citée ([BNP, 1995](#), [Newell et al., 1998](#); [Green, 2002](#); [Hitchcock et Bell, 2004](#); [SANDPIT, 2005](#); [Nicoletti et al., en impression](#)).

En règle générale, il convient de rappeler que la turbidité engendrée par le dragage est produite pendant les phases de travail de la drague, pour le déchargement hors-bord d'un mélange de sédiment fin et d'eau (*overflow*). Le nuage turbide pendant sa descente vers le fond subit les effets des courants qui agissent le long de la colonne d'eau, et qui favorisent la diffusion de la *plume* dans le sens du courant. En Méditerranée, on a observé la formation de *plumes* localisées à

¹ La mesure de la turbidité d'une masse d'eau se base sur la mesure de la perte d'intensité lumineuse que subit une impulsion de lumière en parcourant un trajet donné à travers une solution. L'atténuation de l'impulsion dépend des caractéristiques physiques de la masse d'eau ainsi que de la substance particulée en suspension et de la substance dissoute (principalement acides humiques). L'atténuation de la luminosité en fonction de la profondeur est aussi mesurée empiriquement comme profondeur maximum à laquelle un objet donné (disque Secchi) est visible de la surface. La turbidité, enfin, est souvent mesurée comme concentration de solide en suspension dans un volume d'eau donné.

² Les taux de sédimentation expriment la quantité totale de sédiment qui se dépose journalièrement sur le fond de la mer. Ils existent deux types de sédimentation, primaire (les particules autochtones qui n'ont jamais touché le fond) et secondaire (les sédiments déposés au fond et successivement remises en suspension).

Une méthode de mesure pour les taux de sédimentation prévoit l'utilise des pièges pour sédiment. Les pièges pour sédiment sont constitués d'un entonnoir et un collecteur, qui présentent des rapports dimensionnels différents en fonction des conditions ambiantes. Les pièges, appuyés sur le fond de la mer, ramassent, en absence de courant, le flux total de sédimentation. Le flux journalier est calculé par le rapport entre le flux total (matériel présent dans le piège divisé l'aire de recueillie du piège) et l'intervalle de recueilli (en jours).

l'endroit de la thermocline, avec la création de queues allongées dans le sens du courant (Toumazis, 1995; ICRAM, 2004a; Barbanti *et al.*, 2005).

La partie la plus dense du matériau libéré en surface descend rapidement vers le fond, tandis que les sédiments fins, plus légers et donc moins denses, descendent plus lentement, formant la *plume*. Les courants qui agissent le long de la colonne d'eau dévient le parcours des sédiments en phase de descente, influencent les phénomènes de mélange et favorisent la diffusion de la *plume* dans le sens du courant. En présence de la thermocline, les eaux plus denses qui se trouvent au-dessous de la thermocline tendent cependant à entraver la descente vers le fond des sédiments fins, "en limitant" en partie les phénomènes de dispersion aux eaux moins denses situées au-dessus de la thermocline.

L'extension et la durée de la *plume* dépendent de la nature et du volume du sédiment mobilisé, des caractéristiques de la drague et des conditions hydrodynamiques locales (Newell *et al.*, 1998).

Un autre effet à considérer, dans la zone de dragage, est l'augmentation de la turbidité près du fond, (*plume* de fond) engendrée sous l'effet direct de l'action exercée par la tête aspirante de la drague sur le fond. Les dimensions de la *plume* de fond sont généralement de 4 ou 5 ordres de grandeur inférieurs à celles de la *plume* superficielle (Hitchcock *et al.*, 1999).

Des troubles préexistants du fond (dragages répétés et/ou pêche au chalut) peuvent entraîner l'amplification des phénomènes de remise en suspension du sédiment, déjà altéré dans ses caractéristiques mécaniques (Morton, 1996).

On a effectué de nombreuses études pour évaluer les dimensions de la zone intéressée par la *plume* ainsi que les temps de récupération des zones impliquées par la redéposition du sédiment. Les estimations calculées au moyen de modèles (Newell *et al.*, 1998; Louis Berger Group, 1999), indiquent une durée supérieure à celle qui a été relevée expérimentalement (Whiteside *et al.*, 1995; Hitchcock et Drucker, 1996;). On a expliqué ce fait en admettant que d'autres facteurs, biologiques (production de boulettes d'excréments) et physiques (phénomènes de floculation et agrégation, formation de courants de densité) interviennent pour réguler les modalités de transport et de redéposition des sédiments, entraînant un accroissement des vitesses de sédimentation, et par conséquent la diminution de la zone intéressée par la redéposition (Hay *et al.*, 1990; Newell *et al.*, 1998; Louis Berger Group, 1999). Au contraire, la présence de lipides et de carbohydrates en suspension (provenant de la destruction de la matière organique générée par le dragage) semble pouvoir réduire les taux de sédimentation du matériau fin (Newell *et al.*, 1999).

En ce qui concerne l'augmentation de la turbidité dans la zone de rechargement, elle s'observe par suite du reflux du sable sur la plage, produit par la grande mobilité du sédiment qui vient d'être déposé (encore peu compacté).

En général, la turbidité pendant les activités de rechargement est élevée au voisinage immédiat des conduites de déchargement du sable et disparaît quelques heures après la fin des travaux; 97-99 % de la charge suspendue se dépose dans les quelques dizaines de mètres autour du point de déchargement (Green, 2002).

En cas de forte houle, on assiste, immédiatement après le rechargement, à une augmentation encore plus sensible des particules en suspension, due à l'éloignement de la fraction fine, favorisé aussi par le faible degré de compactation du sédiment qui vient d'être déposé. Mais la turbidité revient rapidement à des valeurs proches de celles du *background* (Green, 2002).

La présence de boulettes de boue (*mud balls*), silt et argile, dans le matériau versé sur la plage, peut toutefois causer une turbidité persistante (Green, 2002).

En Italie, pour éviter des phénomènes de turbidité persistante, la région de Ligurie, en cas de rechargement, fixe réglementairement les limites en pourcentage de pélite acceptable dans le matériau utilisé.

On peut en outre imputer un accroissement prolongé de la turbidité à des différences éventuelles de composition (minéralogiques) qui peuvent se traduire en différences de propriétés physiques

comme la dureté des granules: des phénomènes de frottement entre granules de dureté différente peuvent favoriser une turbidité évidente persistante.

Dans la zone de rechargement, l'importance de la remise en suspension est fonction de plusieurs facteurs:

- énergie de la houle (le sédiment de fond va en suspension quand l'effort de cisaillement dépasse le niveau critique);
- volume de matériau déversé;
- pourcentage de sédiment fin éventuellement présent dans le matériau déversé;
- modalités de déversement.

Sauf pour la zone de rupture, la concentration de sédiment resuspendu est comparable à celle des que l'on s'attend à observer en conditions de tempête ([Green, 2002](#)).

Soulignons qu'il est important d'évaluer la durée de ces effets, directement rattachée à la durée des travaux de rechargement, car dans des conditions naturelles il est probable que des turbidités élevées soient observées pendant une période de temps limitée (quelques jours) immédiatement après les événements météorologiques marins les plus importants. Au contraire, les activités de rechargement peuvent affecter une même zone pendant une période décidément plus longue.

La question fondamentale liée à ces problématiques, pour laquelle aucune réponse n'a encore été trouvée, se rapporte au concept d'"augmentation significative" de la turbidité ou de valeur de seuil acceptable au-delà de laquelle l'impact est tel qu'il impose des limitations ou des interruptions (définitives ou temporaires) des activités de dragage et de rechargement.

La littérature en la matière, nationale et internationale, n'indique pas de solutions à cette problématique; en ce qui concerne, plus particulièrement, l'augmentation de turbidité produite en milieu côtier à la suite du rechargement, elle souligne qu'il faut approfondir cet argument spécifique ainsi que celui, plus général, de la modification des processus côtiers entraînée par le rechargement ([Guillen et Hoekstra, 1997](#); [Benedet et al., 2004](#); [Guillen et al., 2004](#); [Orpin et al., 2004](#); [Wilber et al., 2005](#)).

Pour les milieux côtiers, l'estimation d'une variation "significative" du niveau de turbidité à la suite d'activités anthropiques est compliquée par le fait que le régime de turbidité naturelle est extrêmement variable dans l'espace et dans le temps; c'est pourquoi on ne peut faire abstraction de l'étude du régime naturel de la bande côtière sujette à l'intervention.

L'Etat de Floride a limité les niveaux de turbidité acceptables à 29 NTU (unités néphélométriques de turbidité); on remarquera toutefois que cette donnée semble plus officieuse qu'officielle, car elle n'a pas été établie en fonction de raisons biologiques et n'a pas été basée sur des études publiées ([BNP, 1995](#)). D'autres Etats n'ont pas établi de limites sur les niveaux de turbidité que l'on observe à proximité des décharges de conduites utilisées pour le rechargement; en particulier, une campagne de mesure a été effectuée, limitée à la zone autour de la décharge d'une conduite pendant une opération de rechargement en Caroline du Sud (USA) ([BNP, 1995](#)). On a observé des valeurs de turbidité qui dépassaient les niveaux de background d'une quantité variant de 50 à 150 NTU jusqu'à 200 m du point de décharge. Les niveaux de background avaient été déterminés en conditions de calme et ne représentaient donc pas les maxima que l'on atteignait lorsque la mer était grosse. [Van Dolah et al. \(1984\)](#), dans une zone soumise à un rechargement, ont enregistré une turbidité maximum de 200 NTU, pour des valeurs de turbidité naturelle, en conditions de tempête, égales à 100 NTU, affirmant que la resuspension générée peut être considérée comme acceptable et comparable à la turbidité élevée que l'on observe dans des conditions météorologiques particulières.

C'est pourquoi l'un des aspects traités durant cette première phase (sur une base bibliographique) est justement celui qui a trait à la turbidité et aux taux de sédimentation naturels dans les zones de dragage et dans les zones de rechargement pour les régions qui participent au sous-projet. En effet, le but est de comparer la turbidité "naturelle" et celle qui est

présente pendant les dragages et les rechargements par des sables fossiles, puis d'essayer d'établir des "valeurs de seuil" d'attention en vue d'une bonne gestion de l'environnement.

A cet effet on mettra aussi en place des projets pilotes spécifiques dans toutes les régions qui participent à EuDREP. Dans les zones du large où existe ce type de dépôts sablonneux, on étudiera la variation de turbidité induite par le dragage, en rapport plus spécialement aux différents types de dépôts (dépôts affleurants ou couverts par une couche de sédiments pélitiques). Dans les aires côtières qui sont intéressées par le rechargement, on étudiera donc la variation du taux de sédimentation soit en conditions naturelles, soit pendant ces activités, et aussi en présence d'écosystèmes sensibles, comme dans le cas de la *Posidonia oceanica*. En effet, la *Posidonia oceanica*, phanérogame marine endémique de la Mer Méditerranée, qui peut former de véritables herbiers submergés à une profondeur de 0 à 45 m, est très sensible aux variations de turbidité et de taux de sédimentation. En outre, les herbiers de *Posidonia*, et les phanérogames en général, ont une grande importance d'un point de vue écologique et environnemental et font l'objet de mesures particulières de protection (Directive "Habitat" 92/43 CEE, UNEP Mediterranean Action Plan du 19 mars 2001) ([Terrados et Borum, 2004](#)).

Vu la grande sensibilité de la *Posidonia* aux altérations des caractéristiques environnementales et du fait qu'elle est l'un des peuplements végétaux les plus étendus et les plus communs du plan sub-littoral méditerranéen, elle est normalement utilisée comme indicateur biologique ([Ardizzone et Pelusi, 1983](#); [Pergent, 1991](#); [Peirano et Bianchi, 1995](#); [Pergent et al., 1995](#)). En particulier, les caractéristiques générales des herbiers de *Posidonia*, comme la limite inférieure, la densité, la production primaire et la morphométrie des feuilles, sont souvent utilisées comme indicateurs d'impacts anthropiques et/ou naturels éventuels ([Pergent et al., 1995](#)).

En cas de rechargement, les effets attendus sur les herbiers sont essentiellement les effets liés à l'augmentation de la turbidité de l'eau et à l'ensevelissement possible à cause de la mobilité accrue des sédiments qui viennent d'être déposés (hypersédimentation) ([Tunesi et Boudouresque, 2006](#)).

On trouvera ci-après les résultats de cette première phase, sur l'analyse critique du protocole ENV1 (qui contient une évaluation de son applicabilité dans les régions intéressées, entre autres par rapport à la réglementation nationale et régionale en vigueur), la revue bibliographique sur la turbidité et sur les taux de sédimentation naturels (dans les régions participantes), l'étude des effets du dragage et du rechargement par des sables fossiles sur les herbiers de *Posidonia oceanica*.

1 – ANALYSE CRITIQUE DU PROTOCOLE ENV1

1.1 – Présentation du Protocole ENV1

Le Protocole ENV1 "Protocole Méthodologique Spécifique pour l'Etude des Aspects Environnementaux en vue de l'Utilisation des Dépôts Marins Sableux du Large et pour le Remblayage des Plages (BEACHMED-ENV1)", rédigé et développé par l'ICRAM, a été produit en conclusion du travail effectué dans le cadre du projet européen INTERREG IIB MEDOCC – BEACHMED ([BEACHMED, 2004](#)).

Ce protocole, perfectionné et optimisé durant plusieurs années d'étude et d'applications éparimentales sur le terrain, a été approuvé par la Région du Latium, la Région de Toscane, la Région de Ligurie et la Generalitat Valenciana (ES); il constitue une référence valable, nécessaire pour développer des normes spécifiques. En effet, ce document a été considéré comme un protocole méthodologique approprié à la spécificité particulière de ce domaine d'application, à la suite de comparaisons effectuées entre différentes études, mais surtout après les expériences directes effectuées par les partenaires du projet.

L'expérience acquise par l'ICRAM, grâce en particulier aux études sur l'environnement menées dans ce domaine le long de la plate-forme continentale du Latium, a permis de définir certains paramètres et modalités de travail nécessaires pour effectuer des études sur l'environnement en vue de surveiller le dragage et le rechargement par des sables fossiles. Plus spécialement, le protocole ENV1 a été conçu comme un instrument de travail capable de venir en aide aux administrations locales et/ou aux décideurs auxquels est confiée la tâche de gérer et d'administrer le territoire.

Le protocole ENV1 examine les paramètres suivants: ([BEACHMED, 2004](#)):

- Morphologie du fond et caractéristiques granulométriques et chimiques des sédiments. La caractérisation de la morphologie du fond sert à pouvoir disposer d'un encadrement général de la zone où sont présents les dépôts sablonneux même en termes de nature des fonds sous-marins, comme typologie du sédiment qui fait surface, ainsi que l'éventuelle présence de substrats rocheux et d'écosystèmes sensibles, comme les herbiers de *Posidonia oceanica*. Dans le cas spécifique de la zone de dragage, la caractérisation physiographique du fond sous-marin sert aussi, après le dragage, à pouvoir mettre en évidence et mieux définir les variations morphologiques et à déterminer avec exactitude l'étendue de la zone mouvementée. Dans ce but on exécutera des relevés au sonar à scansion latérale (Side Scan Sonar) et Multibeam, respectivement en ce qui concerne les aspects morphologiques et bathymétriques. Les recherches effectuées dans la zone de dragage sur les caractéristiques granulométriques du sédiment superficiel permettent de mettre en évidence la texture du fond marin et d'évaluer l'éventuelle fraction fine qui pourrait être mise en suspension par les activités de dragage. Les analyses chimiques des sédiments (métaux et contaminants organiques) fournissent des informations sur la qualité du sédiment qui doit être mouvementé, car il n'est pas permis, pour le rechargement, d'utiliser du sédiment contaminé.
- Caractéristiques hydrologiques et dynamiques des masses d'eaux. Le déplacement de matériau sur les fonds marins peut entraîner comme nous l'avons vu, des effets sensibles sur la qualité de l'eau, par l'introduction de quantités parfois importantes de solide en suspension. C'est pourquoi il est évidemment important de connaître, dans les zones intéressées, les concentrations naturelles de solide en suspension et les caractéristiques chimiques et physiques (profondeur, température, salinité, oxygène dissous, densité et transparence optique) et dynamiques (courants marins) de la colonne d'eau, dans le but d'évaluer les possibilités de diffusion du solide suspendu pendant les actions de mouvementation du fond. Le sédiment resuspendu, apporté en charge par les courants, pourrait aussi affecter des environnements sensibles, comme les herbiers de *Posidonia oceanica*, causant de graves dommages à tout l'écosystème.

- Peuplement benthonique. L'étude des peuplements benthoniques permet de disposer d'informations utiles sur les conditions générales de l'environnement. En plus, les organismes benthoniques représentent un instrument utile pour étudier les changements, naturels ou d'origine anthropique, du système marin, grâce à leur forte association avec le fond et à leur faible mobilité. Pour l'échantillonnage du macro benthos on pourra utiliser une benne Van Veen. Dans l'étude du peuplement benthonique des côtes à recharger, il faudra faire particulièrement attention à la faune des mollusques d'intérêt commercial. Dans ce but, on pourrait prévoir des échantillonnages *ad hoc* au moyen de l'équipement de pêche traditionnel.
- Peuplement ichtyologique. La caractérisation des peuplements ichtyologiques de profondeur est importante dans le but de mettre en évidence des situations particulières, telles que les présences d'espèces sensibles, ou bien de phases critiques du cycle biologique d'espèces commerciales à certaines périodes de l'année. L'association étroite avec le fond marin des espèces de profondeur les rend en effet plus directement intéressées par les activités éventuelles de déplacement de matériau sur le fond marin. Les sondages relatifs à la caractérisation du peuplement ichtyologique doivent s'effectuer durant toutes les saisons, en vue d'identifier les zones de nursery et de frai.
- Obligations et utilisations de la mer. La détermination des utilisations de la mer permet de connaître toutes les zones où certaines utilisations de la mer ne sont pas compatibles avec le déplacement de sédiments marins (obligations) ou peuvent limiter ou conditionner sensiblement ces activités. Il faudra donc signaler, dans la zone intéressée, la présence éventuelle de zones marines protégées, de parcs nationaux, de zones de décharges de matériels portuaires, de câbles et conduites, de bornes off-shore, de zones d'interdiction de mouillage et de pêche, de barrages artificiels et polygones militaires, ainsi que le périmètre de la bande des 3 milles nautiques à partir de la côte ou de la bande comprise dans les 50 m de profondeur (Loi 963/1965³ et DPR 1639/1968⁴).

La procédure proposée dans le protocole ENV1 comporte un programme de relevés en trois Phases principales, nommées Phase A, Phase B et Phase C, dont chacune a un objectif spécifique.

La Phase A, qui a pour but de fournir un cadre le plus complet possible des connaissances actuellement disponibles sur les différentes disciplines du domaine marin, porte sur une étendue suffisamment vaste, de façon qu'on puisse couvrir soit les zones d'intervention (sites de dragage et plages à recharger), soit les zones environnantes dans un vaste rayon ; elle sera désignée ci-après comme vaste étendue ; cette phase prévoit la récolte et l'analyse critique des données existant dans la littérature.

Dans la Phase B, afin de fournir un cadre de détail plus riche et de combler les carences bibliographiques éventuellement constatées durant la Phase A, on procède à la caractérisation de la vaste étendue par des relevés directs.

La Phase C comporte des relevés de détail, à exécuter avant (C1), pendant (C2, contrôle en cours de travail) et après (C3, suivi) les activités en question, sur les sites d'intervention dans toutes les zones où ont été repérés des gisements potentiellement exploitables (et dans les plages à recharger) comme dans les zones de proximité. L'objectif est, après avoir caractérisé en détail les sites d'intervention, d'enregistrer les changements éventuels de l'environnement, induits par les travaux de dragage et de rechargement, et aussi de relever la capacité de récupération éventuelle aux alentours des sites de dragage ou de rechargement.

³ Loi n°963 du 14/07/1965 : "Discipline de la pêche en mer"

⁴ Décret du Président de la République n°1639 du 2 octobre 1968 "Règlement d'application de la Loi n°963 du 14 juillet 1965, portant discipline de la pêche en mer"

1.2 – Les réglementations de référence dans les pays et dans les régions participantes

1.2.1 - Réglementations nationales

Italie

En Italie, il n'existe pas de réglementation particulière disciplinant les activités de dragage des sables fossiles.

Les mouvements de sédiments marins dans le cas spécifique du rechargement par des sédiments provenant des fonds sous-marins sont essentiellement disciplinés par les dispositions du Décret Ministériel du 24 janvier 1996 pour ce qui a trait au contenu des activités d'instruction, et à la Loi n° 179 du 31 juillet 2002, qui définit le passage des compétences pour l'autorisation de l'Etat à la Région; la Région devient l'autorité compétente pour l'instruction du dossier et la délivrance de l'autorisation, mais elle doit respecter les critères fixés dans le Décret Législatif cité, n° 152/1999 (art. 35 et art. 62, 8° alinéa).

Lorsque sont employés pour le rechargement des matériaux provenant de l'excavation de fonds marins, la Région, en entreprenant l'instruction du dossier pour la délivrance de l'autorisation, doit entendre l'avis de la commission consultative de la pêche et en informer le Ministre de l'Environnement et de la protection du territoire et de la mer.

En cas d'interventions qui intéressent ou qui peuvent influencer des Sites d'Importance Communautaire pSIC et SIC (un cas typique est celui de la présence de *Posidonia oceanica*) ou des Zones de Protection Spéciale ZPS, une Evaluation d'incidence est prévue à l'art. 6, 3° alinéa, de la Directive 92/43/CEE (Habitat), et à l'art. 5 du Décret du Président de la République n°357 du 8 septembre 1997 dans son texte modifié. La procédure est lancée par la même instance de mise en œuvre des procédures relatives à l'évaluation d'impact sur l'environnement (VIA). En effet, les Régions devront présenter une instance relative à l'assujettissement à la VIA régionale, conformément à la Directive 85/377/CEE (annexe II) et au Décret du Président de la République du 12 avril 1996.

Une dernière notation porte sur la réglementation plus étroitement liée à la qualité du sédiment marin, en particulier le décret ministériel 367/2003, qui fixe les standards de qualité pour le milieu marin côtier, par rapport à quelques substances dangereuses prioritaires (2455/2001/EC). Le Décret Ministériel précité, bien que non spécifique pour évaluer la conformité de sédiments de plate-forme, est encore actuellement la seule référence nationale pour la protection du milieu marin.

Grèce

En Grèce, le rechargement des plages n'est pas une pratique courante pour combattre l'érosion côtière. La majorité des projets sont des structures rigides pour la protection côtière, mais il y a quelques cas de rechargement de faible portée combinés avec la construction de structures rigides (jetées, groins, etc.). Dans ces cas, le volume de matériau assuré est de l'ordre de quelques milliers jusqu'à 10.000 m³ (Hanson *et al.*, 2002).

La législation au sujet de la protection côtière et du rechargement de la plage est basée sur les lois nationales suivantes, les actes ministériels communs et les circulaires ministérielles:

- ❖ Loi 1650/1986, sur l'environnement et la protection de l'environnement,
- ❖ Loi 2344/1940, sur la plage et la protection côtière,
- ❖ Loi 2791/2001, sur la protection des plages et de la zone côtière,
- ❖ Acte ministériel commun 5796/16-9-1996, sur la définition des frontières du parc national de delta du Fleuve Nestos, de la lagune de Vistonis et du lac Ismarida.
- ❖ Acte ministériel commun 69269/5387/24.10.90, sur la classification des travaux et des activités en catégories, description du contenu pour des études d'évaluation d'incidences sur l'environnement, description du contenu pour des études spéciales d'évaluation d'incidences sur l'environnement,

- ❖ Acte ministériel commun 47159/1996, sur l'approbation des études d'évaluation d'incidences sur l'environnement pour les travaux spéciaux de la catégorie (a), article 3 de la loi 1650/1986 aux autorités régionales,
- ❖ EU directive 85/337/EOK (27/6/95) sur l'évaluation des incidences sur l'environnement de travaux privés et publics sur la zone côtière,
- ❖ Circulaire 17/1994 du Ministère de l'Environnement et des Travaux Publics, sur les instructions pour l'exécution de l'acte ministériel commun 69269/5387/24.10.90,
- ❖ Circulaire 41/1991 du Ministère de l'Environnement et des Travaux Publics, sur les études d'évaluation d'incidences sur l'environnement pour des travaux côtiers et portuaires,
- ❖ Circulaire B5/BM15/3259/24-8-1984 du Ministère de l'Environnement et des Travaux Publics, sur la concession de marchés de travaux publics sur des plages et des côtes,
- ❖ Circulaire 1076528/6204/0010/ΠΟΛ1175/17-7-1989 du Ministère des Finances, sur la gestion des dépôts alluviaux marins,
- ❖ Circulaire Δ3399/873/ΠΟΛ100/26-7-1983 du Ministère des Finances, sur la concession de marchés de travaux publics sur des plages et des côtes,
- ❖ Circulaire 3511.91/7/90/29.11.90 du Ministère de l'Expédition Commerciale, sur la gestion des dépôts alluviaux marins,

Plus spécifiquement, la loi 2791/2001 est le cadre juridique de base pour la protection, la restauration et le rechargement des plages et de la zone côtière. La loi définit le «bord de mer» comme la bande de terre inondée par la mer sous l'action maximum des vagues, y compris les falaises hautes non couvertes par la végétation. Les zones, les côtes et les plages du bord de mer sont communales et publiques et appartiennent à l'Etat Grec, qui est responsable de leur gestion et de leur protection selon les principes de durabilité et de planification territoriale. Le Ministère des Finances et de l'Economie est chargé de développer une base de données d'information géographique pour enregistrer toutes les zones de bord de mer, plages et zones côtières pour la détermination, la gestion, l'exploitation et la protection de ces zones. Pour la détermination et la définition des bords de mer, plages et côtes, on utilise des photocartes numériques en couleur (échelle 1:1.000). En l'absence de ces cartes, une série de facteurs physiques doit être considérée pour la détermination de la zone côtière, comme: a) la géomorphologie côtière (pente, type de sol et végétation), b) la morphologie du fond de la mer, c) l'information météorologique et les données sur les vagues, et d) la présence d'ouvrages techniques. Aux termes des paragraphes 1 et 2 de la loi 2791/2001, l'utilisation du bord de mer, de la plage, de son sous-sol et de son espace ou les fonds sous-marins adjacents, est permise pour: a) objectifs d'hygiène publique ou de restauration de l'équilibre ambiant, b) travaux maritimes, c) installation d'équipements d'aquiculture, d) recherches, e) rechargement de la plage et travaux de réforme, f) installation des plates-formes permanentes ou mobiles, construction des jetées et des groins, ou tous autres ouvrages et infrastructures.

Des travaux de restauration des plages attaquées par l'érosion, aux termes de la loi 2791/2001 sont permis, sur la base d'une étude technique approuvée, qui décrit en détail les travaux et les processus de la déposition du sable recueilli pendant le dragage du fond sous-marin. Ces travaux ne peuvent être entrepris qu'après approbation d'un Comité, certifiant que la plage est érodée par l'action des vagues ou par des éboulements.

1.2.2 – Réglementations régionales

Région du Latium

Le cadre normatif relatif aux problèmes de l'environnement liés aux activités de défense de la côte s'impose sur deux volets distincts: les organismes compétents pour délivrer les autorisations et les modalités d'autorisation.

La Région du Latium, comme toutes les Régions d'Italie, est l'administration compétente pour autoriser, dans son territoire, les interventions de protection de la bande côtière et, plus particulièrement, de rechargement de la côte, après l'abrogation de la Loi 319/76 par le Décret Législatif 152/99 et compte tenu des précisions apportées par l'art. 21 de la Loi 179/2002. Comme

l'indique ce dernier texte, si l'activité de rechargement comporte l'utilisation de sables prélevés sur les fonds marins, la Région doit prendre l'avis de la Commission Locale pour la Pêche, créée dans le cadre de la Région elle-même (Décret Législatif 154/2004) et en informe le Ministère de l'Environnement et de la Protection du Territoire et de la Mer.

L'attention avec laquelle la Région du Latium traite les questions d'environnement liées aux activités de rechargement est manifeste dès la Loi Régionale n° 53 du 11 décembre 1998, portant "organisation régionale de la défense du sol en application de la loi n° 183 du 18 mai 1989" qui discipline la réorganisation des fonctions administratives en matière de défense du sol, y compris la défense de la côte. La loi régionale citée porte, à l'art. 7 (Ouvrages de défense des côtes):

1. Les ouvrages de défense des côtes (*omissis*) ont pour objet:
 - a) de protéger les habitats et les importantes infrastructures côtières;
 - b) de limiter les processus d'érosion et de reconstituer les plages, entre autres par des rechargements artificiels;
 - c) de rétablir le milieu naturel de la bande côtière, de protéger et de reconstituer la dune bordière.
2. Pour les interventions visées au premier alinéa, on doit adopter des techniques en mesure de minimiser l'impact sur l'environnement et de permettre, à long terme, de poursuivre un objectif d'un rétablissement général du cadre naturel des plages et de la reconstitution des habitats aquatiques à proximité des côtes.
3. Les projets d'intervention sont étudiés en fonction de mesures appropriées de la houle, d'études sur la nature géologique et stratigraphique de la côte et sur l'habitat côtier, et aussi en fonction de prévisions sur l'évolution des processus littoraux.

Conformément à ces intentions, la Région du Latium a favorisé et développé au fil des ans, avec ICRAM, des lignes directrices pour l'étude des Problèmes d'Environnement liés à l'Utilisation des Dépôts Marins Sableux du Large et au Remblayage des plages, document accrédité, entre autres, par l'approbation de la Région de Toscane et de la Région de Ligurie, dans le cadre du projet européen Interreg IIIB Beachmed (Protocole BEACHMED-ENV1).

La Région du Latium applique actuellement le protocole ENV1 à toutes les interventions de dragage marin et de rechargement côtier.

En ce qui concerne la délivrance de l'autorisation d'effectuer des activités de dragage des fonds marins et de rechargement côtier, la Région du Latium se réfère, dans l'attente de nouvelles directives, au Décret Ministériel 24/01/96 et au Décret du Ministre pour l'Environnement 367/03, aux normes nationales pour l'Evaluation d'Impact sur l'Environnement (VIA) et pour l'Evaluation d'Incidence et aux lois régionales qui en découlent.

Le Décret Ministériel du DM 24/01/1996, dans le respect des compétences, contient des indications de procédure qui servent de référence pour les modalités techniques de l'instruction des dossiers.

La procédure d'assujettissement obligatoire à la VIA (Vérification de l'Impact sur l'Environnement) des projets de rechargement et de dragage de fonds marins est prévue par la loi régionale n°6 du 7 juin 1999, selon les conditions, les critères et les normes techniques visées par le Décret du Président de la République du 12/4/96 et dans les annexes aux directives communautaires 85/337/CE du 27 juin 1985 et 97/11/CE du 3 mars 1997, qui donnent la liste de ces opérations. On notera que l'activité particulière de dragage de fonds marins n'est pas indiquée dans les listes du Décret du 12/4/96, alors qu'elle est mentionnée de manière spécifique dans l'annexe 2 de la Dir. 85/337.

Région d'Emilie Romagne

Il existe en Emilie Romagne deux lois régionales qui, transposant les Directives Communautaires, visent à préserver et à protéger la biodiversité des habitats naturels, en tenant compte en même temps des exigences économiques, sociales et culturelles des populations vivant sur le territoire :

- la loi régionale Emilie-Romagne n° 7 du 14 avril 2004 reprend la Directive Habitat 92/43/C.E.E., promulguée par la Communauté Européenne le 21 mai 1992, reprise en Italie par D.P.R. (Décret du Président de la République) n° 357 du 8 septembre 1997, successivement modifié par le D.P.R. n° 120 du 12 mars 2003.
- la loi régionale Emilie-Romagne n° 6 du 17 février 2005 (modifiée et complétée par la Loi Régionale n° 10 du 21 février 2005), pour la mise en œuvre des politiques régionales poursuivant l'objectif du développement durable par la préservation du territoire et la protection des ressources naturelles.

Ces normes ne développent pas, et par conséquent ne fixent pas de prescriptions sur les niveaux de turbidité dérivant des activités de dragage des sédiments marins et de leur déversement sur les plages.

D'autre part, la Loi Régionale n°7 du 14 avril 2004 introduit le principe d'Evaluation de l'Incidence de Plans et Projets (reprise au niveau national par le Décret du Président de la République 357/97-Annexe « G » et ses modifications, en application de la Directive 92/43/CEE concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages), à partir du moment où ils concernent des zones d'intérêt spécial pour la conservation.

L'Evaluation de l'Incidence doit permettre de quantifier et de décrire l'impact des activités du Projet sur les habitats biotiques et abiotiques, ainsi que sur les espèces animales et végétales présentes. La procédure d'Evaluation de l'Incidence se compose d'une « Etude d'incidence », effectuée par le sujet proposant le Plan ou Projet, puis d'une phase d' « Evaluation » proprement dite, à la charge de l'Institution qui est censée l'approuver.

Il convient de préciser que, par rapport aux valeurs ambiantes présentes sur le littoral régional et sur la portion de mer correspondante, la lacune normative en matière de protection contre les effets des opérations de dragages des fonds marins s'explique probablement par l'absence d'habitats naturels sensibles comme les environnements caractérisés par la présence d'herbiers de Posidonie, une situation qui s'avère par contre beaucoup plus contraignante dans d'autres contextes, comme dans de nombreux points de la côte tyrrhénienne.

L'ensemble de la législation italienne concernant l'institution, la protection et la gestion de zones spéciales telles que les Zones Marines Protégées (DPR 1639/98), les Sites d'Importance Communautaire (SIC) et les Zones de Protection Spéciale (SPS) ainsi que les Zones de protection biologique, reste bien évidemment en vigueur, tout comme la réglementation des secteurs de production reposant sur l'environnement marin tels que la pêche au large (L.963/65) ou la conchyliculture, ainsi que la réglementation sur le transport des sédiments marins (Décret Ministériel du 24 juin 1996).

La Délibération du Conseil Régional d'Emilie-Romagne du 20 juin 2005, n° 645 a abouti à l'approbation des «Lignes Directrices pour la gestion intégrée des zones côtières (GIZC)».

La GIZC est un instrument visant à réorienter toutes les activités concernant la côte de l'Emilie-Romagne vers une approche durable de l'environnement, de l'économie et de la société.

La GIZC se présente comme un Plan spécial dont le but est de guider un développement harmonieux des activités reposant sur l'exploitation du littoral et d'influer positivement sur l'ensemble des facteurs, maritimes ou terrestres, qui pèsent sur ce territoire en équilibre fragile. L'objectif est de définir des politiques capables de prévoir et d'affronter de façon coordonnée des phénomènes de nature et d'intensité nouvelles, tels que la hausse du niveau de la mer et la transformation géologique et géomorphologique des territoires.



La Région d'Emilie-Romagne a donc choisi d'affronter les problématiques du littoral en mettant en relation différentes variables à caractère physique, biologique, écologique, économique et social :

- Système physique côtier, facteurs de risque et stratégies de défense
- Charges polluantes, gestion des ressources hydriques, suivi
- Système portuaire, déchets de navires, risques dérivant du transport maritime
- Valorisation des habitats, de la biodiversité et du paysage
- Tourisme
- Pêche et aquaculture
- Agriculture
- Ressources énergétiques
- Système d'implantation et infrastructures (services et mobilité)

A chaque variable correspond une ligne directrice spécifique contenant les stratégies d'intervention recommandées.

La GIZC de la Région d'Emilie-Romagne concentre son attention sur les stratégies de défense et de requalification de l'environnement côtier et détermine trois domaines d'intervention :

- 1) gestion intégrée du littoral et systématisation des connaissances
- 2) élimination ou atténuation des causes d'érosion des plages et réduction du risque d'ingression marine comme choix stratégique
- 3) défense et requalification des plages en tant qu'action à court terme

En ce qui concerne le premier domaine, l'intention est d'affirmer une vision unitaire et intégrée dans l'approche des problématiques liées à la côte et de renforcer le système de collecte et de gestion des informations sur le système côtier, mais aussi d'affiner l'analyse et la définition des scénarios futurs.

Le second domaine définit une stratégie destinée à produire des effets à long terme. Celle-ci est fondée sur l'élimination de la composante anthropique de la subsidence, sur le retour, ne serait-ce que partiel, des apports solides des fleuves pour réactiver l'engraissement naturel des plages, sur l'interdiction de fortifier ultérieurement la bande littorale et de faire construire d'autres ouvrages de défense rigides en mer.

Le troisième domaine définit les actions et les interventions à court terme. En outre il prévoit:

- le rechargement en sables sous-marins;
- la préservation des plages ne présentant pas d'ouvrages de défense rigides ;
- la requalification des plages protégées par de tels ouvrages;
- l'élargissement et le rehaussement du niveau des plages.

Région de Toscane

Au cours des vingt dernières années, les plages toscanes ont perdu environ 214.000 m³ de sable à cause du phénomène d'érosion côtière, dû à la houle et à l'apport sédimentaire réduit des cours d'eau. Ce phénomène concerne plus de 35% des littoraux toscans.

Pour y faire face, la Région de Toscane a approuvé le "Projet de Plan Régional de gestion intégrée de la côte pour le réaménagement hydrogéologique" (Délibération de la Commission Régionale n° 1214 du 5 novembre 2001). De plus, en date du 22 novembre 2002, elle a signé un Protocole

d'entente avec les «Provinces» côtières de Massa, Carrare, Lucques, Pise, Livourne et Grosseto pour partager les mêmes objectifs. En application de ce protocole, une Commission technique a été instituée, afin de garantir l'homogénéité et le caractère organique des études et des projets à l'échelle régionale. Enfin, le Programme extraordinaire des investissements stratégiques a été approuvé, ainsi que la liste des interventions prioritaires de récupération et de réaménagement du littoral (Délibération du Conseil Régional n°47 du 11 mars 2003).

La Région de Toscane est aussi la seule, en Italie, à avoir délégué des compétences aux "Provinces" en matière de transit des matériaux d'excavation des fonds marins et en matière de défense de la bande côtière, dans la Loi Régionale pour la Toscane n° 19 du 4 avril 2003; en revanche, elle conserve la compétence sur la localisation et la gestion des dépôts marins sableux du large (carrières marines).

Pour garantir l'homogénéité et le caractère organique des études et des projets à l'échelle provinciale, la "Province" de Livourne a été la seule province de Toscane à signer un Protocole d'Entente avec les communes côtières (D.G.P. n° 228 du 16/09/2003). De cette façon, on a fixé des "Lignes directrices pour définir les interventions entre Vada et Cecina – voir n° 8, 9, 10 et 11 (de Pietrabianca au Fossé de la Cecinella) de la Liste des interventions prioritaires pour la récupération du littoral". A l'intérieur de ces lignes ont été établis le plan du projet et les choix stratégiques de fond pour définir les interventions de rééquilibrage de la côte.

Dans ce document, on peut lire que : *"pour tout l'arc côtier existe la volonté précise de rédiger un avant-projet qui ne serait pas uniquement lié aux coûts de la Liste des interventions prioritaires de récupération et de rééquilibrage du littoral (D.C.R. n° 47 del 11 marzo 2003) mais qui serait destiné à... tenter de résoudre le problème (au moins au niveau de projet)".*

Ces lignes directrices représentent encore aujourd'hui les seules indications sur les interventions côtières prévues par la Région de Toscane.

Dans les Lignes Directrices on trouve aussi la liste des stratégies de fond sur les caractéristiques des interventions de défense à réaliser, qui touchent aussi bien les questions d'environnement en phase de projet que les aspects économiques et les développements futurs de la gestion.

La "Province" de Livourne veillera également à intégrer la cartographie des herbiers de *Posidonia oceanica*, sur la base de ce qui a déjà été réalisé par les administrations provinciales et communales, sur les fonds marins faisant front à tout l'arc côtier. Elle formulera des hypothèses de principe pour les interventions de tutelle et le rétablissement du cordon de dunes ainsi que des évaluations sur la réutilisation possible des feuilles de *posidonia* s'accumulant sur la rive.

Les sites de la région caractérisés par un paysage ou un environnement de grande valeur font partie des secteurs d'intervention prévus dans la Liste des interventions prioritaires de récupération et de rééquilibrage du littoral (D.C.R.T. n° 47/2003) correspondant au Projet de Plan Régional de gestion intégrée de la côte dans le but d'une réorganisation hydrologique" (D.G.R.T. n° 1214/2001), et constitue en particulier l'intervention n°13 de cette liste. Aux termes de la L.R.T. 91/98 dans sa version modifiée et complétée, et compte tenu du Protocole d'entente avec les communes côtières approuvé par D.G.P.L. n° 228/2003, la province de Livourne est l'organisme réalisateur de l'intervention.

La présence de Zones naturelles protégées (aux termes de la L.R.T. 49/95) et d'habitats naturels d'intérêt communautaire comporte que, aux termes de l'art. 5, 3° alinéa, de la L.R.T. 79/98 dans sa version modifiée et complétée, (Règles d'application de l'évaluation d'impact sur l'environnement) on suit la Procédure d'Evaluation d'Impact sur l'Environnement (VIA). Aux termes de l'art.5, 4° alinéa, du DPR 357/97 dans sa version modifiée et complétée, l'Evaluation d'Incidence prévue par la Directive Habitat pour les sites d'importance communautaire est comprise dans le cadre de la procédure de VIA, qui dans ce cas, conformément à l'article en question, *"considère aussi les effets directs et indirects des projets sur les habitats et sur les espèces des sites en question qui ont été localisés"*.

La Procédure de V.I.A., pour l'intervention citée ci-dessus de l'Etude préliminaire de faisabilité Environnementale, tient compte de toutes les indications du Protocole ENV1, comportant les modifications dûes, comme l'explique l'analyse critique du document.

La Région de Toscane a initialement discipliné les procédures d'évaluation d'impact sur l'environnement par la L.R. n° 68 du 18.4.1995, entrée en vigueur le 13.5.1995 et devenue opérante, pour les seules catégories d'ouvrages visées à l'annexe 3, le 11.8.1995. Cette réglementation a conservé son efficacité jusqu'au 28.5.1999, date à laquelle est devenue opérante, pour les procédures relevant de la Région, la L.R. n° 79 du 3.11.1998, qui discipline encore à présent la matière (pour les procédures relevant des Municipalités, Provinces et Administrations des Parcs, la L.R. 79/98 est devenue opérante le 28.11.1999)

Dans le cadre des procédures d'évaluation d'impact sur l'environnement, telles qu'elles sont définies par l'ensemble de la législation communautaire, nazionale et régionale, outre la V.I.A., la Région a mis en place:

- des Lignes directrices, à usage du proposant, qui permettent une bonne gestion des activités et des obligations imposées au proposant au cas où est lancée une procédure de V.I.A. prévue par la nouvelle loi régionale;
- des Normes techniques d'application, pour discipliner les procédures administratives dans leur ensemble et pour fournir une aide éventuelle utile à la compétence d'autres Autorités.

Région d'Est Macédoine et Thrace

La Région d'Est Macédoine et Thrace n'a pas de législation régionale spécifique pour la réglementation du dragage et du rechargement.

Région de Ligurie

La gestion de la bande côtière peut comporter la réalisation d'interventions au moyen d'immersion de matériel en mer: ces opérations ont une forte incidence sur l'environnement puisqu'elles peuvent influencer la qualité des eaux marines côtières et des biocénoses de valeur.

Une protection efficace du milieu marin ne peut pas faire abstraction d'une activité de contrôle rapide et ciblée lors de la réalisation d'interventions de ce genre.

La réglementation de la Région de Ligurie en matière de rechargement comprend, depuis 1999, une Loi Régionale et différents Arrêtés de la Commission Régionale :

- Loi régionale n° 13 du 28 avril 1999 - réglementation des fonctions en matière de défense de la côte, rechargement des plages, protection et observation du milieu marin et côtier, domanial maritime et des ports –
- Arrêté de la Commission Régionale n° 1553 du 20 décembre 2001 - Loi régionale n° 13/99 Approbation des critères généraux à observer dans le projet des interventions saisonnières de rechargement des plages, abrogée par l'arrêté de la Commission Régionale n° 173 du 27 février 2006
- Arrêté de la Commission Régionale n° 1176 du 18 octobre 2002 - Loi régionale n° 13/99 Intégration aux critères pour les rechargements des plages de la R.C.R. 1553/2001 Abrogée par la R.C.R. n° 173 du 27 février 2006
- Arrêté de la Commission Régionale n° 1177 du 18 octobre 2002 - Règlement Régional portant: « Réglementation de la procédure relative à l'approbation des interventions saisonnières de rechargement des plages », art. 5, alinéa 1, lettre a) de la loi régionale 13/99, ultérieurement modifiée –

- Arrêté de la Commission Régionale n° 222 du 28 février 2003 - Approbation des critères généraux pour le projet et l'exécution des ouvrages de défense de la côte et des habitats côtiers, et du rechargement des plages –
- Arrêté de la Commission Régionale n° 456 du 7 mai 2004 - Loi régionale n° 13/99 art. 2 5^e alinéa, Approbation des lignes directrices relatives aux contrôles techniques sur la réalisation des activités d'immersion en mer de matériel, visé à l'art. 35 du décret législatif 152/99 –
- Arrêté de la Commission Régionale n° 253 du 15 février 2005 - Modernisation des critères généraux à respecter dans le projet des interventions saisonnières de rechargement, visés à la R.C.R. n° 1553 du 20/12/2001 –
- Arrêté de la Commission Régionale n° 1793 du 30 décembre 2005 - Critères généraux pour le monitoring des ouvrages de défense de la côte et des habitats côtiers et du rechargement des plages, visés à la R.C. R. n° 222 du 28 février 2003 –
- Arrêté de la Commission Régionale n° 173 du 27 février 2006 - Critères généraux à observer dans le projet des interventions saisonnières de rechargement –

La loi régionale n° 13/1999, article 5, désigne la municipalité comme étant l'autorité compétente pour autoriser les rechargements saisonniers, c'est-à-dire ayant exclusivement pour but de rétablir les profils de plage avant des manifestations éventuelles d'érosion, et prévoyant un apport de sable en quantité inférieure à 10 mètres cubes par mètre linéaire de plage. Cette même loi confie à la région la définition des critères généraux, des conditions qualitatives requises et des modes d'opération à respecter dans le projet et la réalisation des interventions.

Dans l'exercice de ces fonctions, la Région de Ligurie a publié en 2002 le règlement régional n° 6 «Réglementation de la procédure relative à l'approbation des interventions saisonnières de rechargement des plages» (approuvés par la R.C.R. n° 1177 du 18/02/2002), et en 2001, les «Critères généraux à respecter dans le projet des interventions saisonnières de rechargement des plages» (approuvés par la R.C.R. n° 1553 du 20/12/2001, complétés et mis à jour par la R.C.R. n° 1176 du 18/02/2002 et par la R.C.R. n° 253 du 15/02/2005), qui déterminent aussi bien les caractéristiques de l'intervention saisonnière de rechargement que le contenu de la relation technique que doit annexer le promoteur à l'instance d'approbation de son intervention.

L'expérience acquise pendant les quatre dernières années a mis en évidence la nécessité de souligner certains aspects techniques, et de fournir des orientations relatives à l'évaluation de la compatibilité de l'intervention, spécialement en ce qui concerne la compatibilité chimique du matériau à employer. La nouvelle rédaction des « Critères généraux à respecter dans le projet des interventions saisonnières de rechargement des plages » (approuvés par la R.C.R. n° 173 du 27/02/2006), qui remplacent intégralement les critères précédemment promulgués, répond justement à ces besoins.

Actuellement, les rechargements saisonniers sont réglementés par les documents suivants:

- Critères généraux à respecter dans le projet des interventions saisonnières de rechargement des plages (arrêté n° 173/2006); le document établit les aspects techniques nécessaires pour caractériser l'intervention, mais également pour l'évaluer, sous le profil tant de l'efficacité que de la compatibilité du matériau avec l'environnement.
- Règlement régional n° 6 « Discipline de la réglementation relative à l'approbation des interventions saisonnières de rechargement des plages »; il s'agit de la procédure administrative qui doit être suivie pour obtenir les autorisations d'effectuer les interventions (DDG 173/2006).

Pour l'évaluation des sables fossiles, la réglementation en vigueur de la Région de Ligurie prévoit de suivre l'A.M. 24/01/1996.

L'arrêté de la Commission Régionale n° 173 du 27 février 2006 remplace les arrêtés techniques 1553/2001 et 1176/2002. Dans cet arrêté, il est question du protocole rédigé par l'ARPAL (Agence Régionale pour la Protection de l'Environnement Ligurie) pour les analyses et l'échantillonnage du matériau destiné au rechargement saisonnier des plages ; puisque la norme régionale a été modifiée, ARPAL assurera la modification du protocole en vigueur pour l'uniformiser à cette dernière.

Le protocole ARPAL a été révisé pour la dernière fois en mai 2005.

Le document précité est divisé en cinq parties :

- Introduction
- Indications pour l'échantillonnage
- Origines possibles du matériau utilisé
- Paramètres à déterminer
- Documentation de référence pour évaluer la qualité du matériau

Deux annexes ont été rédigées à la fin du document. La première traite de l'échantillonnage pour la caractérisation du matériel relatif aux dragages portuaires ([Pellegrini et al., 2002](#)) la seconde traite du schéma géologique-structurel de la Région de Ligurie.

Échantillonnage du site d'origine: le Protocole énumère comme typologies de sites d'origine du sédiment, des cours d'eau, des amas et des matériaux provenant du dragage portuaire. Par conséquent, le protocole ENV1, qui traite exclusivement des sables fossiles du large comme matériau de rechargement, peut en constituer un complément et un appoint utile.

Échantillonnage du site de destination: Au sens de la réglementation actuelle (R.C.R. 173/2006), il faudra tenter de connaître la morphologie, la composition et la texture des sédiments ; la couleur et les caractéristiques biologiques (description des biocénoses présentes, et vérification de la position ou non du site d'intervention sur une côte sensible, comme dans le tableau joint aux critères régionaux). Le protocole décrit de manière détaillée comment faire les prélèvements de matériau sur le site à recharger : si la plage ne dépasse pas 5-6 mètres de largeur et si sa forme change peu, lors d'une modification longitudinale du rivage, on peut effectuer l'échantillonnage le long d'une ligne médiane imaginaire, en établissant un point au moins tous les 50 m linéaires (environ 250-300 m²). Les points seront plus nombreux si, lors d'une première inspection visuelle, on a constaté une grande hétérogénéité de la plage.

Si la plage est plus large, on peut établir plusieurs lignes médianes; si par contre la forme tend à changer, l'échantillonnage devra être adapté à la ligne de côte.

La caractérisation de la plage est complétée par une série de prélèvements le long de la laisse, en suivant le critère précédent, et en tenant compte, que plus l'étendue de la plage est importante, plus il faudra détailler la caractérisation.

Pour toute portion de plage qui présente des caractéristiques différentes du reste de la plage, il faut choisir un échantillon représentatif de cette partie, de manière que, lors de l'évaluation globale, après l'homogénéisation des différents échantillons prélevés, aucune information ne se soit perdue.

Dans le protocole ENV1, fiche 5, il est décrit en détail comment définir les lieux d'enquête pour caractériser la zone de dragage, tandis que la caractérisation des plages à recharger permet plus de liberté.

Matériau à évaluer : ARPAL a rédigé une liste des paramètres obligatoires à évaluer selon l'origine du matériau, défini ici comme :

- de carrière ;
- de lit de fleuve, de plage, de fonds marins, d'origine alluviale et de toute autre provenance autre que celle d'une carrière.

Les sables fossiles appartiennent donc au second groupe de matériau. Les paramètres obligatoires prévus par le protocole ARPAL sont énumérés dans le tableau qui suit (**tableau 1**).

Tableau 1 - Paramètres à évaluer pour l'étude des sables fossiles (protocole ARPAL)

PARAMÈTRES	PRINCIPE DE LA MÉTHODE	U.M.	MÉTHODE RÉFÉRENCE DE
Granulométrie	Défini dans le protocole ARPAL	%	M.I.
Couleur	Évaluation visuelle <u>in situ</u>		
Odeur	Évaluation olfactive <u>in situ</u>		
Amiante (*)	Microscopie électronique par balayage		M.I. GE
Mercur	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA vapeurs à froid ou PIC	mg/Kg ES	Solubilisation : Méth. sols Lecture en AA : M.I. Lecture avec PIC : M.I. Dip SV PIC AES
Cadmium	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols – Méth. Ministère Lecture en AA: Méthode UNICHIM 910 Lecture avec PIC: M.I. SV ICP AES
Plomb	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols– Méth. Ministère Lecture en AA: Méthode UNICHIM 916 Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES
Arsenic	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols Méth. Ministère Lecture en AA: Méthode Interne Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES

Chrome total	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols Méth. Ministère Lecture en AA : Méthode UNICHIM 912 Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES
Cuivre	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols Méth. Ministère Lecture en AA : Méthode UNICHIM 917 Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES
Nickel	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols Méth. Ministère Lecture en AA : Méthode UNICHIM 915 Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES
Zinc	Digestion acide, dans un minéralisateur à micro-ondes, ou à retombée, avec eau régale. Lecture successive en AA ou PIC	Id.	Solubilisation : Méth. Sols Méth. Ministère Lecture en AA : Méth. UNICHIM 905 Lecture avec PIC : M.I. SV ICP AES
Coliformes totaux	Ensemencement en terrain liquide (tubes multiples) de l'échantillon selon différentes dilutions	NPP/g ES UFC/g ES.	IRSA
Coliformes fécaux	Ensemencement en terrain liquide (tubes multiples) de l'échantillon selon différentes dilutions	NPP/g ES UFC/g ES.	IRSA
Streptocoques fécaux	Ensemencement en terrain liquide (tubes multiples) de l'échantillon selon différentes dilutions	NPP/g ES UFC/g ES.	IRSA
Salmonelles	Ensemencement en terrain liquide (tubes multiples) de l'échantillon selon différentes dilutions	NPP/g ES UFC/g ES.	M.I. : similaire à la méthode IRSA mais avec l'utilisation de plusieurs terrains de cultures différentes

Spores de clostridium sulfites réducteurs	Ensemencement en terrain solide de l'échantillon selon différentes dilutions	UFC/g ES	Méthode ministère
Hyphomycètes	Ensemencement en terrain solide de l'échantillon selon différentes dilutions	UFC/g ES	IRSA
Résidu à 105°C	Méthode gravimétrique rapport du pourcentage entre la masse de l'échantillon après dessiccation à 105°C et la masse initiale du même échantillon	%	Méthode sols
Résidu à 450°C	Méthode gravimétrique rapport du pourcentage entre la masse de l'échantillon après dessiccation à 450°C et la masse initiale du même échantillon	%	M.I.
	Méthode gravimétrique pour la différence entre la masse du résidu à 105° C et la masse à 450°C, rapport du pourcentage sur la masse initiale	%	Extrait revue Acqua Aria 01/98 (Ausili, Pellegrini et autres.)
Substance organique totale	Oxydation avec solution de bichromate de potassium, en présence d'acide sulfurique, et titrage avec une solution de fer(II). Détermination point final du titrage avec ajout de l'indicateur d'oxydo-réduction ou par potentiométrie.	g/Kg	A.M. 13/09/1999 – Méthode VII.3
Pesticides organico-chlorurés	Analyse gaschromatographie, avec un détecteur spécifique de l'extrait obtenu du sédiment séché, avec solvants organiques sans résidus, éventuellement purifié dans le cas d'interférences présentes dans la matrice.	mg/Kg ES	M.I.
Hydrocarbures totaux	Extraction par ultrasons avec heptane et titrage après purification sur florisil par GC-FID	mg/Kg ES	ISO-DIS 16703
Hydrocarbures totaux	Extraction avec solvants et titrage par spectrophotométrie I.R.	mg/Kg ES	Cahier.IRSA 64
Polychlorobiphényle PCB	Analyse gaschromatographie, avec un détecteur spécifique de l'extrait obtenu du sédiment séché, avec solvants organiques sans résidus, éventuellement purifié dans le cas d'interférences présentes dans la matrice.	Id.	APE 3550 B APE 8082 M.I. réf. Cahier.IRSA 64-24b
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A.)	Extraction en phase liquide avec acétone, purification et concentration sur colonne SPE. Détermination en HPLC et relevé par fluorimètre associé à un photodiode U.V. (PDA ou fluorimètre)	Id.	APE 3550 B APE 8310 Journal of Chromatography A, 697 (1995) 123-129.
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A.)	Extraction avec cyclohexane et quantification par gaschromatographie associée au spectromètre de masse	Id.	IRSA Cahier. 64

(*) = l'amiante est toujours déterminé dans le cas de matériau de carrière et, dans d'autres cas, si le matériau de provenance se trouve dans les zones caractérisées par la présence de «pierres vertes». On peut déterminer ces zones en se référant à la cartographie géopétrologique donnée dans l'annexe 1 à l'arrêté du Conseil Régional n°105 du 20/12/1996 p ublié dans BURL n°6 du 5 février 1997.

Dans le tableau ci-dessus ([tableau 1](#)), sont définies les différentes méthodes analytiques dont certaines nécessitent une explication:

- Méthode Sols: A.M. 13/09/1999 «Approbation des méthodes officielles d'analyses chimique du sol»;
- Méthode Ministère: volume «Méthodologies analytiques de référence» élaboré par l'ICRAM en collaboration avec le Ministère de l'Environnement pour le «Programme de monitoring pour le contrôle de l'environnement marin et côtier 2001-2003», distribué aux Départements ARPAL ([Cicero et Di Girolamo, 2001](#))
- M.I. = méthode interne des laboratoires ARPAL (dans la nouvelle version du protocole ARPAL, la méthode sera exposée en détail)
- Aux termes du R.C.R. 173/2006:
- Les pesticides à rechercher sont : DDT, DDE DDD, HCH alpha, HCH bêta, HCH gamma, hexachlorobenzène, aldrine, dieldrine, endrine.
- Les PBC à rechercher sont les congénères : 28, 52, 77, 101, 118, 128, 138, 153, 169, 170, 180.
- Les IPA à rechercher sont: phénanthrène, anthracène, fluoranthène, benzo(K)fluoranthène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(ghi)térylène, rysène, benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, pyrène.

Le même Décret définit que:

- la limite pour les métaux se réfère au *background* naturel des sédiments fluviaux dans le bassin en cause, et se déduit des cartes thématiques de l'«Atlas de géochimie national» joint au décret précité ;
- les valeurs de seuil pour l'évaluation de la compatibilité chimique par rapport à la présence de substances pour la plupart d'origine anthropique sont données dans un tableau du décret, reporté ci-après ([tableau 2](#)).

En l'absence de références claires que l'on pourrait déduire de cette bibliographie, la valeur de seuil adoptée est la limite du tableau A du A.M. 471/96, réduit par précaution, dans le cas des espèces chimiques ayant un intérêt toxicologique majeur, et ce, par ordre de grandeur.

Dans certains cas, il peut être opportun d'effectuer des analyses supplémentaires (par exemple: entérovirus, azote total, phosphore total, fluorures, cyanures, chrome VI, autres métaux, composés organostanniques, etc.) pour indiquer des situations caractérisées par des difficultés particulières, ou pour approfondir des soupçons sur d'éventuelles contaminations dues à d'autres polluants.

Tableau 2 - Valeurs de seuil pour l'évaluation de la compatibilité chimique par rapport à la présence de substances (R. C.R. 173/2006)

	Valeurs seuil µg/kg poids sec	Origine
Organo-métaux		
Butyl-étain	5	NOAA
PCB		
PCB totaux	21,5	CSQG
Polycyclique aromatique		
IPA totaux	1684	CSQG
Naphtalène	35	CSQG
Phénanthrène	87	CSQG
Anthracène	47	CSQG
Fluoranthène	113	CSQG
Benzo(k) fluoranthène	20	DQTS
Benzo(a) anthracène	75	CSQG
Benzo(b) fluoranthène	89	CSQG
Benzo(ghi)pérylène	80	DQTS
Chrysène	108	CSQG
Benzo(a) pyrène	89	CSQG
Dibenzo(ah) anthracène	7	CSQG
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	60	DQTS
Pyrène	153	CSQG
Pesticides et produits phytopharmaceutiques		
D.D.T	1,2	CSQG
DDE	2,1	CSQG
DDD	1,2	CSQG
DDs totaux	3,9	CSQG
HCH alfa	0,32	
HCH beta	0,32	
HCH gamma	0,32	CSQG
Dieldrine	0,71	CSQG
Endrine	2,67	CSQG
Heptachlore	0,60	CSQG

CSQG: valeurs TEL (Threshold Effect Level) du Canadian Sediment Quality Guildelenes.

DQTS: valeurs TL (Target Level) du Dutch Quality Target for Sediments.

NOAA: valeurs ERL (Effect Range Low) du National Oceanographical and Atmospherical Administration.

L'évaluation de la compatibilité des sédiments à utiliser pour le rechargement prévoit que la fraction < 0,063 mm (pélite) contenue dans le sédiments doit respecter le pourcentage indiqué dans le **tableau 3**:

Tableau 3 – Concentration maximum de pélite pour les sédiments à utiliser pour le rechargement

LES DEUX CONDITIONS NÉCESSAIRES	CÔTE SENSIBLE (*)	AUTRES ZONES
% maximum de pélite dans le matériau utilisé	5%	8%
Quantité maximum de pélite par mètre linéaire de plage pour 5 ans (m ³)	2 m ³	3.2m ³

(*) côtes sensibles : zones qui font l'objet d'une protection particulière, mentionnées dans un tableau spécial dans les critères.

Pour l'évaluation des sables fossiles, la réglementation en vigueur de la région de Ligurie prévoit de suivre l'A.M. 24/01/1996.

ARPAL définit les méthodes pour faire les analyses afin de garantir une cohérence aussi bien pour les analyses effectuées dans les différents départements ARPAL que dans d'autres laboratoires.

Le protocole fournit d'importantes indications générales: la granulométrie est toujours déterminée par voie humide, les analyses chimiques se font sur la fraction < 2mm et le résultat se réfère à la substance sèche. En outre, le document spécifie pour chaque paramètre la méthode à appliquer. Par exemple, les hydrocarbures totaux doivent être déterminés par la méthode ISO-DIS-16703.

Le protocole ENV1 définit les paramètres à rechercher dans le sédiment, mais il ne fait référence ni aux méthodes analytiques, ni aux valeurs de seuil pour l'évaluation de la compatibilité du sédiment- échantillon avec le site à recharger.

Dans le protocole ENV1, le paramètre physique auquel on accorde la plus grande importance est la turbidité des eaux. La réglementation même de la région de Ligurie prend ce paramètre en compte dans la partie IV du R.C.R. 173/2006, au point deux: «Evaluation de l'absence d'impacts significatifs sur les eaux et les fonds marins sous le profil de la sauvegarde des valeurs biologico-naturalistes». La région établit les limites en pourcentage de pélite acceptable dans le matériau utilisé pour éviter des phénomènes de turbidité persistante.

1.3. Les caractéristiques environnementales à protéger dans les Régions participantes au sous-projet

1.3.1 – Région du Latium

Le long de la plate-forme continentale du Latium on a repéré différents dépôts de sables fossiles (BEACHMED, 2003). Ces dépôts se trouvent à des profondeurs variables, entre 40 et 100 m de profondeur, et se rapportent à des amas sédimentaires de différentes natures (paléo-cordons littoraux, enclaves sédimentaires marines, enclaves sédimentaires fluvio-marines, remplissage de paléo-lits de fleuves et enclaves marines de stationnement bas), mais généralement caractérisés par la prédominance d'une granulométrie moyenne ou grossière. Ces dépôts se sont sédimentés durant le passé géologique, quand le niveau de la mer était plus bas qu'actuellement, et ont été ensuite retravaillés pendant la remontée du niveau marin. L'une des caractéristiques les plus

importantes des dépôts de sables fossiles que l'on trouve le long de la plate-forme continentale du Latium, aux fins des études sur le milieu, est qu'ils sont recouverts d'épaisseurs variables de sédiments péliques de la période holocène (Chiocci et La Monica, 1999).

Les études effectuées par ICRAM à partir de 1999, pour caractériser l'environnement des zones destinées au dragage de sables fossiles, a permis de déterminer une série d'éléments qui contribuent tout particulièrement à la qualité du milieu et qui, en cas de déplacement des sédiments marins, doivent être surveillés avec attention, surtout en ce qui concerne les effets découlant éventuellement de l'augmentation, encore que temporaire, de la turbidité de l'eau et des taux de sédimentation. Il s'agit, en général, de zones déjà soumises à des normes de protection spéciales, comme dans le cas des AMP ou des sites du Réseau Nature 2000, ou bien de zones de grande sensibilité environnementale mais non protégées par une réglementation spéciale, comme dans le cas des zones de nursery (zones de concentration d'individus jeunes).

En ce qui concerne les zones déjà soumises à des normes de protection spéciales, le long de la plate-forme continentale du Latium, on a défini les zones suivantes:

Zones Marines Protégées

- Secche (Hauts-fonds) de Tor Paterno: créée par Décret du Ministère de l'Environnement du 29 novembre 2000 (G.U. – Journal Officiel du 20/01/01), elle comprend une zone unique de réserve générale.
- Îles de Ventotene et Santo Stefano: créée par Décret Ministériel du 12 décembre 1997 (G.U. 24/02/1998), la réserve comporte un zonage sur 3 niveaux, une zone de réserve intégrale (zone A), une zone de réserve orientée (zone B) et une zone de réserve générale (zone C).

Autres zones protégées (www.parks.it)

- Parc National du Circeo, créé en 1934;
- Réserve Naturelle Nationale du Littoral Romain, créée par Décret du Ministre de l'Environnement le 29/03/1996;
- Parc Régional Riviera di Ulisse, créé par la Loi Régionale n°21 du 06/02/2003

Sites d'importance communautaire proposés

- IT6000001 "Fonds marins entre les embouchures des fleuves Chiarone et du Fiora"
- IT6000002 "Fonds marins devant Punta Morelle"
- IT6000003 "Fonds marins entre les embouchures des torrents Arrone et Marta"
- IT6000004 "Fonds marins entre Marina di Tarquinia et Punta Quaglia"
- IT6000005 "Fonds marins entre Punta Sant'Agostino et Punta Mattonara"
- IT6000006 "Fonds marins entre Punta del Pecoraio et Capo Linaro"
- IT6000007 "Fonds marins devant Santa Marinella"
- IT6000008 "Hauts-fonds de Macchiatonda"
- IT6000009 "Hauts-fonds de Torre Flavia"
- IT6000010 "Hauts-fonds de Tor Paterno"
- IT6000011 "Fonds marins entre Torre Astura et Capo Portiere"
- IT6000012 "Fonds marins entre Capo Portiere et Lac de Caprolace"
- IT6000013 "Fonds marins entre Capo Circeo et Terracina"
- IT6000014 "Fonds marins entre Terracina et Lago Lungo"

- IT6000015 "Fonds marins autour de l'Île de Palmarola"
- IT6000016 "Fonds marins autour de l'Île de Ponza"
- IT6000017 "Fonds marins autour de l'Île de Zannone"
- IT6000018 "Fonds marins autour de l'Île de Ventotene"
- IT6000019 "Fonds marins autour de l'Île de Santo Stefano"

Zones de Protection Spéciale

- IT6040015 "Parc National du Circeo"
- IT6040019 "Îles de Ponza, Palmarola, Zannone, Ventotene et Santo Stefano".

En ce qui concerne les autres types de zones de grande valeur environnementale, nous donnons l'exemple des zones de *nursery* des principales espèces marines d'intérêt commercial:

Téléostéens

- *Merluccius merluccius*: printemps, été et automne.
- *Mullus barbatus* : été et automne.
- *Phycis blennoides*: printemps et été.

Crustacés décapodes

- *Parapenaeus longirostris*: printemps et été.

Mollusques céphalopodes

- *Eledone cirrhosa* : été, printemps et automne.
- *Octopus vulgaris*: printemps et été.

1.3.2 – Région d'Emilie Romagne

En Emilie-Romagne, le dragage de hauts-fonds submergés en vue de la recherche de sables pouvant servir au rechargement des plages de la région a permis de mettre au jour les aspects suivants:

- les zones utiles pour l'excavation sont situées approximativement à une cinquantaine de kilomètres de la côte;
- les profondeurs en question sont de l'ordre de 40 m;
- l'épaisseur des gisements est de quelques mètres au maximum ;
- les hauts-fonds peuvent présenter une sédimentation pélitique:
- l'ordre de grandeur des volumes de sable dragués lors de chaque intervention de rechargement se situe autour de $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ au total;
- les zones de dragage s'étendent généralement sur des surfaces allant de 1 à $1,5 \text{ km}^2$;
- l'opération de dragage, réalisée par des bateaux-dragueurs d'une capacité de $6\,000 \text{ m}^3$, peut durer de 10 à 12 semaines;
- selon les moyens utilisés lors du transport, le bateau peut éliminer des volumes d'eau chargée de matériaux en suspension provenant principalement de la fraction fine;
- ces volumes de sables sous-marins pourront servir au rechargement de plages s'étendant sur une dizaine de kilomètres;

Pour déterminer les effets produits, en termes de turbidité en particulier, par les activités de dragage de sables sous-marins, leur transport et leur déversement sur les plages, il convient de passer en revue toute une série d'éléments.

D'un point de vue général:

- 1 caractéristiques à protéger en rapport avec:
 - les aspects environnementaux
 - la compatibilité entre la turbidité et certaines formes d'exploitation de la mer: pêche, conchyliculture, pêche côtière
- 2 la période de l'année pendant laquelle on effectue les dragages et les déversements de sable sur les plages

Zone de dragage

- 3 localisation et extension des zones de prélèvement des sables sous-marins
- 4 durée des activités de dragage
- 5 volumes de sable à draguer
- 6 techniques de dragage et transport
- 7 augmentation possible de la turbidité et du taux de sédimentation

Zones de rechargement

- 8 extension des plages à alimenter
- 9 durée du rechargement
- 10 volumes à déverser par mètre linéaire
- 11 augmentation possible de la turbidité et du taux de sédimentation.

Au large, les effets probables, en termes de turbidité notamment, des opérations de dragage sont les suivants:

- le dragage proprement dit comporte une disparition de la faune dans la zone directement concernée par le prélèvement. Ce type de situation semble toutefois être complètement réversible en l'espace d'un an-un an et demi à compter de la fin des travaux.
- la formation d'un panache turbide au niveau de la zone de dragage et parfois le long du trajet de retour vers la côte.
- dans des conditions météo-marines particulières et lorsque les matériaux en suspension sont particulièrement fins, le panache turbide peut persister pendant quelques jours, tout du moins pour des opérations de dragage à cycle continu concentrées sur une même zone pendant plusieurs semaines
- le panache peut réduire la pénétration de la lumière solaire

Dans ce type de situation, à l'intérieur des zones concernées par l'exploitation des gisements de sables sous-marins, les matériaux en suspension peuvent nuire aux élevages de moules éventuellement pratiqués dans la zone en question ou pouvant être atteints par le panache turbide déplacé par les courants mais aussi, et surtout, par la lente redéposition des particules, dans le cas où il s'agirait de matériaux excessivement fins.

De même, le panache turbide pourrait éloigner les espèces pêchées dans la zone concernée.



Le versement du sable dans les zones de rechargement conduit à la formation d'un profil de déversement pouvant générer une avancée initiale du trait de côte de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres (40-60 m).

Cette avancée se réduit au fur et à mesure que l'action de la houle incidente trie les matériaux déversés, éloignant la fraction la plus fine.

On assiste donc rapidement à la couverture en sable de plusieurs dizaines de mètres de plage active, auparavant découverts.

La turbidité augmente lors de la phase de déversement direct du sable, mais à l'issue des travaux, il est probable que le triage continu des matériaux par les vagues fera persister l'état de turbidité.

1.3.3 - Région de Toscane

La Région de Toscana ayant déjà participé directement au projet Beachmed (Récupération environnementale et entretien des zones littorales en situation d'érosion, au moyen de sédiments marins de type sablonneux) réalisé au préalable, les caractéristiques écologiques de la plate-forme continentale toscane ont déjà été abordées ([BEACHMED, 2003](#))

Nous pouvons donc dire en synthèse que:

la plate-forme continentale abrite trois zones marines singulières sous le profil environnemental et déjà indiquées comme prochaines zones marines protégées (l'Archipel toscan et les Secche de la Meloria, reconnus aux sens de la L. 979/82, les Monts de l'Uccellina-Formiche de Grosseto- Foce de l'Ombrone- Talamone, reconnus aux sens de la L.394/91), alors qu'elle fait déjà partie du territoire international marin du Sanctuaire des Cétacés.

En ce qui concerne les caractéristiques environnementales de la plate-forme continentale, nous pouvons nous référer à la Carte Bionomique des mers de Toscane réalisée en 1995 (ENEA 1995), sur la base des informations recueillies de 1985 à 1993 : cette plate-forme recouvre une large tranche de la partie haute de la mer Tyrrhénienne et de la partie orientale de la mer Ligure et on y signale également la présence des prairies marines de « *Posidonia oceanica* ».

L'intensité de l'activité de la pêche concernant certaines espèces de poissons de valeur commerciale, est arrivée à saturation et, dans la détermination des zones de pêche, on se doit de respecter les caractéristiques biologiques des espèces recherchées et d'éviter les conflictualités entre les différentes techniques de pêche (à la traîne, au filet, au chalut pélagique).

La Région de Toscana, compétente en matière d'identification et d'utilisation des sédiments marins du grand large (les cuvettes), réalise actuellement des sondages sur la plate-forme continentale, en quête de sédiments utiles aux rechargementss prévue le long des côtes toscanes.

A l'heure actuelle, une seule fosse a été repérée : il s'agit de la cuvette d'Ansedonia qui confine avec la Région Lazio et dont la gestion devrait être partagée entre les deux administrations régionales ; en outre, aucune indication n'a à ce jour été fournie, en ce qui concerne les modalités d'exploitation des sédiments marins éventuellement repérés.

La côte toscane possède des zones de grande richesse naturelle et d'une grande diversité du point de vue biologique; celles-ci doivent supporter les activités économiques, les installations productives et civiles ainsi que les importants flux touristiques qui se déversent le long des localités côtières en particulier durant la saison estivale.

Nature et Biodiversité

La côte toscane possède un vaste patrimoine naturel pour la sauvegarde et la mise en valeur duquel ont été réalisées des zones naturelles protégées internationales, nationales et régionales en vertu de la L.394/91 (Loi cadre sur les zones protégées) ainsi que des Parcs provinciaux, des Réserves naturelles d'intérêt local (A.N.P.I.L) en vertu de la L.R.T 49/95 (Norme sur les parcs, les réserves naturelles et les zones naturelles protégées d'intérêt local).

On a en outre identifié trois zones marines qui seront prochainement instituées aux sens de la L. 979/82. (Archipel Toscan et Secche de la Meloria) et de la L.394/91 (Monts de l'Uccellina-Formiche de Grosseto-Foce de l'Ombrone-Talamone)

Ces zones constituent le « réseau de zones protégées » de la Région Toscana, elles sont placées sous la tutelle du patrimoine naturel marin et terrestre.

Les zones marines et côtières en Toscane sont :

- le « Sanctuaire des Cétacés », zone marine protégée au niveau international, comprenant les eaux entre Toulon (Provence), Capo Falcone (Sardegna occidentale) et Fosso Chiarore (Toscana) et en outre, toutes les eaux marines toscanes. Cette zone a été définie à Rome le 29-11-1999, ratifiée au terme de l'accord international entre l'Italie, la France et la Principauté de Monaco avant d'être rendue exécutive par la L.391/01 et d'entrer en vigueur le 21.02.2002.
- le « Parc national de l'Archipel toscan » définitivement institué par D.P.R du 22 juillet 1996, comprend toutes les sept îles majeures de l'Archipel Toscan (Gorgona, Capraia, Elbe, Pianosa, Montecristo, Giglio et Giannutri) ainsi que quelques îlots mineurs et récifs (les Formiche della Zanca, l'Ogliastra, l'Ecueil della Triglia, l'Île Corbella, les Îles Gemini, l'Îlot d'Ortano, l'Île dei Topi et l'Ecueil de Portoferraio à l'Elbe; les Îles de la Cappa au Giglio; La Scarpa et La Scola à Pianosa; La Peraiola à Capraia; L'Ecueil d'Afrique à Montecristo et Palmaiola et Cerboli, dans le canal de Piombino). L'aire terrestre et marine du Parc a été provisoirement divisée par l'institution du D.P.R. en deux zones de protection, dans l'attente de l'approbation du Plan du Parc, qui donnera une définition détaillée de la zone. Certaines aires marines de grand intérêt naturel, qui avaient déjà été localisées, ont été incluses dans le Parc, dans l'attente de l'institution d'une nouvelle aire marine de l'Archipel Toscan, de la part de la région.
- "Les sèches de la Meloria" pour lesquelles a été conclu l'iter préliminaire pour l'institution d'une aire marine protégée, relevant de la compétence régionale, et dans l'attente des exécutions suivantes, relevant de la compétence du Ministre de l'environnement et de la Tutelle du Territoire (MATT).
- Parc Régional de "Migliarino-San Rossore – Massaciuccoli"
- A.N.P.I.L. Baratti-Populonia.

De plus, la côte toscane présente un nombre élevé d'espèces végétales, animales et d'habitat naturels ou semi-naturels dont la conservation est réglée :

- par la Directive Oiseaux (79/409/CEE) ou par la Directive Habitat (92/43/CEE) reçues en Italie par le DPR 357/97 et modifié par le DPR 120/03 proposant à la fois des zones spéciale de conservation (ZPS) et des sites d'importance communautaire (p-SIC) compris dans le Réseau Ecologique Europe Nature 2000;
- par le Protocole ASPIM ("Protocole sur les Aires Spécialement Protégées et la Biodiversité Biologique de la Méditerranée de la "Convention cadre pour la Protection de l'environnement marin et de la région côtière méditerranéenne " (Convention de Barcelone, 1995)), reçue en Italie avec la L. 175/99. Ce protocole a comblé la lacune normative sur la conservation de l'environnement marin, laissée par les précédentes directives, qui concernaient principalement la localisation des espèces et des habitats naturels ou semi-naturels de l'environnement terrestre. En effet, on trouvera dans la pièce jointe B (Espèces

animales et végétales d'intérêt communautaire dont la conservation requiert l'appellation ZPS), les espèces végétales et animales presque exclusivement terrestres, et dans la pièce jointe A (Habitats naturels d'intérêt communautaire dont la conservation requiert l'appellation d'aire spéciale de conservation) on trouve uniquement l'habitat de prairie de *Posidonia oceanica*

Pour la Région Toscana, la tutelle de la biodiversité représente une action transversale, qui ne concerne pas seulement les aires protégées ou les sites du Réseau Nature 2000, mais embrasse toutes les activités qui pourraient avoir des effets sur le territoire, c'est à dire l'urbanisme, l'agriculture, la pêche, l'industrie, l'énergie et le tourisme.

Avec la L.R.T. 56/00 la région "reconnait et tutelle la biodiversité" présente sur son propre territoire et dresse avec le D.C.R. 06/04 (Périmètre des sites d'importance régionale et appellation de zones de protection spéciale en réalisation des directives Oiseaux et de la directive Habitat) une liste des sites d'intérêt régional SIR, plus ample que celle proposée par la communauté européenne, constituant le « réseau écologique » Re.Na.To ("Répertoire naturaliste toscan").

Afin de pouvoir intégrer à la législation en vigueur ce qui avait été disposé par la réglementation approuvée durant la période allant de 2000 à aujourd'hui, l'iter administratif et législatif a été engagé pour une mise à jour de la pièce jointe A de la L.R.T. 56/00, dans laquelle de nouveaux habitats de type marin ont été insérés. En effet, la loi régionale comme les directives européennes, prévoyaient la sauvegarde des espèces et des habitats presque exclusivement terrestres.

Si on compare le "réseau des aires protégées" et le "le réseau écologique", on s'aperçoit immédiatement qu'ils coïncident le plus souvent et que, bien que restant divisés dans leur approche conceptuelle, ils ont l'un et l'autre des fonctions réciproques.

Par exemple, on a comme zones sauvegardées à la fois par les réglementations de tutelle de la nature et de la biodiversité, le "Sanctuaire des Cétacées", institué au sens de la L. 394/91 et inséré ensuite dans la liste des Aires Spécialement Protégées d'importance méditerranéenne, prévue par le Protocole ASPIM et le Parc National de l'Archipel Toscan, qui comprend aussi des sites d'intérêt régional.

Courant 2005, des ententes entre Région Toscana, Université de Firenze et ARPAT-Aire Mer ont également été engagées, pour réaliser un projet d'étude et le monitoring des espèces marines, afin de dresser un répertoire toscan des éléments intéressant la conservation (Projet BioMarT - Biodiversité Marine en Toscana), de façon analogue au projet Re.Na.To.

Pour ce qui concerne présence de *Posidonia océanique* (espèce protégée aux sens de la directive habitat), dans les mers toscanes ont été identifiés et cartographiés

16 herbiers:

- 5 le long de la côte continentale de la région (Livorno, Baratti, Golfo di Follonica, Talamone, Ansedonia),
- 2 sur les sèches de Meloria et Vada
- 9 autour des îles de l'Archipel toscan (Gorgona, Capraia, Elba, Pianosa, Montecristo, Scoglio d'Africa, Giglio, Giannutri, Formiche di Grosseto).

Des zones plus limitées colonisées de la plante sont présentes le long des côtes du Promontoire de l'Argentario.

Les herbiers les plus étendus sont situés sur les sèches de Meloria. L'herbier, étendu des premiers mètres de profondeur jusqu'à la bathymétrie des 30 mètres, est soumis à des différents sources de dérangement, soit d'origine anthropique (proximité du port de Livorno, impact de chalutage, ancres), soit naturel (érosion déterminée par les courants de fond), qui en altèrent la

physionomie en mode plus ou moins consistant dans les différentes zones. Des importants herbiers existent en outre à Vada et à Scoglio d'Africa, dans le Golfe de Follonica, et autour de l'île de Pianosa. En général les conditions écologiques de ces herbiers sont à considérer bonne, en particulier dans les zones insulaires. Les herbiers les plus dérangées par des causes d'origine anthropiques sont situées devant la zone urbaine de Livorno, entre Castiglioncello et Cecina et dans le Golfe de Follonica. Dans les dernières deux zone on a été aussi observé des phénomènes de régression de la limite supérieure de l'herbiers. Sur les Sèches de Meloria et Vada on observe des situations dérangées, surtout dans les portions plus côtières, pendant que les herbiers sont à considérer en bon état de salut pour la plupart de leur étendue.

1.3.4 - Région Est Macedonia e Tracia

Pour ce qui concerne, dans cette région, la présence de caractéristiques environnementales à protéger, on doit considérer la présence de *Posidonia océanique* au près de la bouche du Nestos, aussi s'il n'y a aucune d'indication sur l'effective localisation et étendue de l'herbier. Par contre la présence de ces types d'habitat est et, en effet, documentée dans les fiches des 2 sites du Réseau Nature 2000, présents sur le site du local Ministère de l'Environnement: le site GR1150001, delta du Nestos et le site GR1150010, delta du Nestos et limnothalasses Keramotis. Le delta de la bouche du Nestos est, en outre, un site protégé par la convention de Ramsar. Ce site, en particulier, (comme il s'est passé à 31 Sites de Ramsar qui appartient à 9 pays du MedWest), n'a bénéficié, initialement, d'aucune condition spéciale de conservation ou bien des actes nécessaires pour le développement de mesures capable d'en garantir sa conservation et une utilisation soutenable.

1.3.5 - Région de Ligurie

Parmi les divers aspects biologiques de relief à protéger en cas de dragage pour le rechargement au moyen de sables résiduels, les prairies de *Posidonia oceanica* et les biocénoses des sables fins bien calibrés (SFBC) sont les plus importantes de la mer Ligure.

La *Posidonia oceanica*

L'intérêt des spécialistes pour *Posidonia oceanica*, extrayant de problématiques inhérentes la biologie et à la physiologie de la plante, la structure et la dynamique de ses prairies et la description de ses communautés, concerne tous les aspects liés à son rôle dans l'environnement littoral ([chapitre 3](#)).

Un phénomène diffus de régression des prairies se manifeste le long de beaucoup de côtes de la Méditerranée, surtout dans la bande la plus superficielle de la zone côtière, davantage sujette aux effets de l'action humaine.

Certaines des causes qui provoquent une telle régression et menacent la santé des prairies sont liées à la pêche illégale, exercée sur des fonds marins superficiels (bathymétrie inférieure à 50 m) avec des outils destructifs comme les chaluts, qui déchaussent les plantes et mettent à nu le substrat difficilement recolonisable de la plante. En effet *P. oceanica* est dotée d'un rythme de croissance des rhizomes relativement lent et elle est souvent dépassée dans la recolonisation des espaces sans sédiments par d'autres phanérogames à l'accroissement plus rapide (par ex. *Cymodocea nodosa*). Des dégâts similaires à ceux provoqués par les chaluts peuvent provenir des fréquents ancrages, comme cela a clairement été remarqué le long des côtes françaises, dans les zones à haute concentration de ports de plaisance.

Les différents types de menace pour les prairies sont représentés par:

- les rechargementss structuraux et saisonniers effectués sur les plages et qui peuvent causer de la turbidité, nuisible pour les phanérogames marines
- la construction le long du littoral de structures comme les barrages anti-tempête, les ports ou les barrières artificielles qui, en modifiant le régime hydrodynamique, peuvent déterminer une augmentation de la sédimentation ayant pour conséquence un « étouffement » des plantes.
- les déchets urbains, dont le haut contenu en particules organique, influent négativement sur la stabilité des prairies, soit en augmentant la turbidité de l'eau et en réduisant par conséquent la pénétration de la lumière, soit en altérant l'équilibre sédimentaire du substrat de l'installation.

L'écosystème des biocénoses des sables fins bien calibrés (SFBC).

Les fonds marins sont recouverts pour la plupart de sédiments ; seule une petite partie est constituée de fonds durs primaires ou secondaires. La vaste distribution des fonds mous (les sédiments, précisément), l'importance et la variété des peuplements benthoniques qui les colonisent en font des systèmes d'un grand intérêt. Les peuplements macrobenthiques des fonds mous sont constitués par tous les organismes en mesure d'être retenus par des tamis de dimensions égales à 0.5 mm - la limite minimum de 0.5 mm pour le macrobenthos n'est de toute façon pas généralisée et quelques auteurs retiennent la valeur plus adaptée de 1 mm. Dans ces peuplements, dominent les polychètes, puis les mollusques bivalves, les crustacés amphipodes et décapodes et les échinodermes.

Les peuplements macrobenthiques des fonds mous sont particulièrement importants pour leur capacité à répondre significativement aux variations environnementales aussi bien d'origine naturelles qu'anthropiques. La structure des communautés macrobenthiques dépend étroitement d'une série de facteurs biotiques et abiotiques caractérisés par une importante variabilité spatiale et temporelle, comme l'hydrodynamisme, la granulométrie du substrat, la concentration de substance organique, la présence de substance organique, la présence de substances polluantes, et les caractéristiques biologiques des espèces.

Pour différentes raisons, le macrobenthos est utilisé pour l'évaluation de l'état écologique des eaux:

- il est constitué d'organismes principalement sessiles (ils ne peuvent pas migrer, ils reflètent donc les conditions locales) ;
- les organismes qui constituent le macrobenthos sont caractérisés par un cycle de vie relativement long, ils intègrent donc ce qui s'est passé au fil du temps et reflètent les conditions moyennes de l'environnement ;
- ce sont des organismes étroitement associés au sédiment ;
- ils constituent une composante importante du réseau trophique ;
- l'importante biodiversité du macrobenthos fournit une réponse sélective au stress de l'environnement ;
- ce sont des espèces sur lesquelles l'on possède déjà de considérables connaissances à propos de l'autoécologie ;
- il existe de nombreuses données relatives au macrobenthos.

En Ligurie, les herbiers de *Posidonia oceanica* ainsi que les peuplements macrobenthiques des sables fins bien calibrés sont contrôlés au sens de la loi 979/82 (Monitoring Ministériel, de juin 2001 à mars 2006, actuellement suspendu) et au sens du monitoring des eaux marines côtières défini par le décret de loi 152/99 (substitué maintenant par le texte unique décret de loi 152/2006)

Les herbiers soumis au monitoring sont situées à :

- Imperia (IM) ;
- Cogoleto (GE) ;
- Punta Mesco (SP).

Les trois sites de SFBC contrôlés se trouvent à :

- Portovenere (SP) ;
- Gênes Polcevera (GE) ;
- Vado Ligure (SV) ;
- Marinella (SP)

Dans l'image suivante, sont reportés les endroits contrôlés en Ligurie pour la *Posidonia oceanica* et les SFBC. Les stations indiquées par un carré vert sont celles qui se rapportent au monitoring de *Posidonia oceanica*, alors que celles indiquées par un rond rouge sont les stations de SFBC.

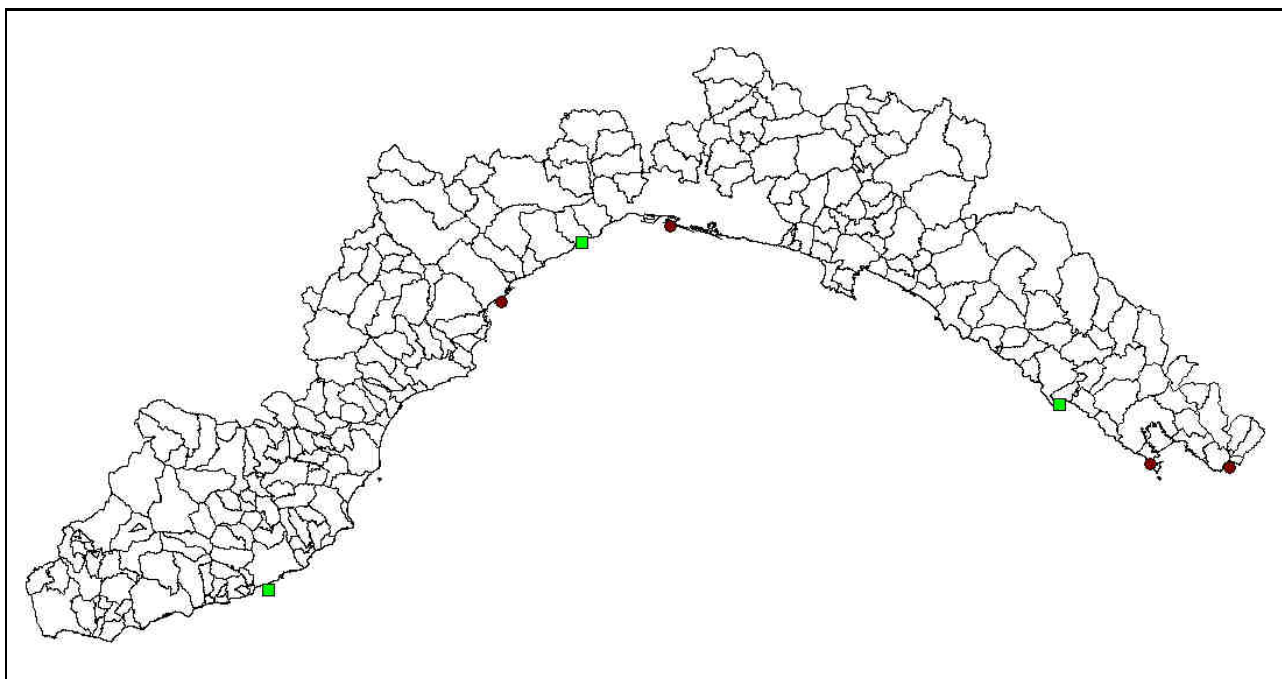


Figure 1 - Endroits contrôlés en Ligurie pour la *Posidonia oceanica* et les SFBC. Les stations indiquées par un carré vert sont celles qui se rapportent au monitoring de *Posidonia oceanica*, alors que celles indiquées par un rond rouge sont les stations de SFBC.

Dans les tableaux suivants (**tableaux 4 et 5**) sont reportés les caractéristiques relatives aux stations citées ci-dessus:

Tableau 4 – Caractéristiques des stations choisies pour le monitoring des herbiers de *Posidonia oceanica*

STATIONS <i>Posidonia oceanica</i>				
Stations	coordonnées Y (Gauss Boaga)	coordonnées X (Gauss Boaga)	Profondeur du fond marin (m)	Distance du rivage (m)
Imperia	4856590	1419559	26,2	960
Cogoleto	4914493	1471883	17,2	530
Punta Mesco	4887420	1551510	20,6	320

Tableau 5 - Caractéristiques des stations choisies pour le monitoring de SFBC

STATIONS SFBC				
Stations	coordonnées Y (Gauss Boaga)	coordonnées X (Gauss Boaga)	Profondeur du fond marin (m)	Distance du rivage (m)
Portovenere	4877453	1566707	20	100
Gênes Polcevera	4917240	1486520	22	300
Vado	4904537	1458388	16	920
Marinella	4877005	1579887	8	1100

1.4 – Les propositions d'intégrations à ENV1

Nous résumons ci-après les propositions d'intégration au protocole ENV1 suggérées par plusieurs partenaires. Elles feront l'objet d'une discussion au sein du partenariat et, avec les résultats qui apparaîtront au cours des phases suivantes de l'enquête, elles contribueront à la révision d'ENV1.

1.4.1 - Les propositions de ICRAM

L'ICRAM, se basant sur les dernières expériences acquises, propose d'ajouter à la liste des enquêtes à mener pour la caractérisation chimique du sédiment dans la zone de dragage (voir ENV1) la teneur en substance organique et, pour les agents polluants, certains IPA actuellement non compris, l'hexachlorobenzène et le tributyl-étanche (TBT), afin d'améliorer la compréhension de l'état de qualité de l'environnement.

1.4.2 - Les propositions de ARPA-IA Emilia-Romagna et de DISTART-UNIBO

En général, le Protocole ENV1 peut s'appliquer à la portion de mer correspondante et aux plages de la Région Emilie-Romagne. A ce propos on doit rappeler que les études environnementales pour la première intervention de rechargement avec les sables fossiles effectuée en Emilie-Romagne en 2002, ont été conduites par l'ARPA Emilia-Romagna sous la direction de l'ICRAM.

Nous soulignons certaines pistes d'amélioration, fruit de l'expérience accumulée au cours de ces années dans la pratique de l'exploitation de gisements sous-marins de sables pour le rechargement des littoraux de la région.

- Il importe de définir la stratigraphie du gisement (épaisseur des différentes couches de sédiments) dans le but de quantifier les volumes réellement disponibles et de permettre une bonne programmation des phases de dragage. Dans le cas de gisements sableux émergés, ces données deviennent nécessaires pour éviter, dans le cadre de l'exploitation du gisement, d'atteindre la limite entre les sables et les dépôts sous-jacents afin de ne pas altérer la nature des fonds marins.

- Du fait de l'uniformité qui caractérise les fonds marins de la Région Emilie-Romagne, le nombre de 4 stations par km² dans la zone de dragage, peut sembler excessif.
- En ce qui concerne les stations situées à l'extérieur de la zone de dragage, il faudrait préciser le critère pour la détermination du nombre suffisant de stations et surtout, les critères pour leur emplacement (ex.: en fonction de la direction principale des courants ou de la proximité de zones d'intérêt).
- Suite à l'expérience accumulée en Emilie-Romagne, le suivi en cours d'ouvrage de la communauté macrozoobenthique semble superflu dans la mesure où il a été prouvé que l'activité de dragage s'accompagne d'un important dépeuplement faunistique. Par contre, s'il est un aspect à contrôler, c'est très certainement la modalité et le temps de repeuplement post-intervention.

En vue des nombreuses campagnes de suivi et des échantillonnages spécifiques à réaliser, il convient de faire une considération générale à caractère économique concernant l'entière application du protocole.

Dans le cas où l'on procèderait à l'exploitation d'une zone située à proximité d'une autre précédemment suivie et contrôlée, il y aurait tout intérêt à identifier un critère de « validité » pour les analyses effectuées afin de réduire leur nombre et par conséquent leur poids en termes économiques.

1.4.3 - Les propositions de la Province de Livorno

Le "Protocole Méthodologique Spécifique pour l'Etude des aspects environnementaux et l'Utilisation des dépôts marins sableux du large et le rechargement des plages" (Beachmed – ENV1) dont certains aspects avaient déjà été approuvés par la Région Toscane, a déjà été appliqué concernant les interventions de défense effectuées et est en projet dans la «Provincia » de Livorno.

La Province de Livorno donc partage en plein les modalités d'enquête du Protocole ENV1, soit pour la zone de dragage soit pour celle de rechargement. La Province de Livorno value en outre qu'il faudrait connaître les usages de la mer aussi dans la zone de rechargement.

Les analisi de la morphologie et des caractéristiques du fond sont un paramètre fondamental pour choisir, pour le rechargement, des sédiments compatibles du point de vue du paysage et de l'environnement. L'étude des peuplements benthoniques et ichtyologique est indispensable pour l'évaluation de l'impact provoqué du dragage et du rechargement sur tout l'écosystème. Les données acquises avant les activités de mouvementation des sédiments fournissent les données auxquelles se référer pour les étude de monitoring, à effectuer pendant et après la mouvementation pour évaluer les eventuels effets induits du dragage et/ou du rechargement et les temps de récupération du milieu marin. Sauf les lignes directrices prévues dans le "Plan Régional de Gestion Complétée de la Côte aux fins de la réorganisation idrogéologique" n'existent pas, en Toscane, de normatifs régionaux pour ce type d'activité.

1.4.4 – Les propositions de DhUT

L'Université Democritus de Thrace (DUTH) a examiné à fond le protocole ENV1 et a conclu que la méthodologie proposée correspond aux conditions ambiantes établies par la législation nationale et régionale sur les projets de dragage et de rechargement. La DUTH a également préparé les suggestions suivantes pour l'amélioration du protocole ENV1:

- Les caractéristiques environnementales à décrire dans le secteur de dragage doivent fournir d'autres informations comprenant les données météorologiques et le climat de vague du secteur de dragage, pour définir mieux la dynamique benthique de population en fournissant



des informations sur les index de richesse et d'abondance d'espèces de la flore et de la faune benthiques, et pour inclure l'information au sujet des frayères de la population de poissons.

- Les caractéristiques environnementales à décrire doivent inclure aussi quelques caractéristiques géotechniques (par exemple la densité relative) du sable rechargé dont les variations pourraient déterminer des effets sur la faune locale. En outre la couleur de plage devrait également être considérée pendant que les sédiments plus foncés peuvent avoir comme conséquence les températures plus élevées de 0.5 à 1°C dans les sédiments.
- Les activités de surveillance après l'opération devraient également impliquer des enquêtes détaillées de profil de la plage et de la mer, l'acquisition et l'étude des photographies aériennes, et le prélèvement in situ du sable de plage. D'autres actions de surveillance ont pu également se concentrer sur la quantification des mécanismes de transport de sédiment, des mécanismes d'assortir de sédiments d'alimentation, et l'évaluation des procédures de conception technique.

1.4.5 – Les propositions de ARPAL

ARPAL est opérationnellement en mesure de partager le protocole ENV1, rédigé au terme de la première phase du projet BEACHMED, et déjà partagé par la région de la Liguria elle-même.

La réglementation en vigueur en Liguria (D.C.R. 173/2006 « Critères généraux à observer dans le projet des interventions de renaissance saisonnières ») ne prend pas en compte comme matériau utilisable possible pour les rechargements, les sables résiduels, et renvoie, pour ce type d'intervention, à l'A.M 24/janvier 1996. Le protocole ENV1 se présente donc comme un guide actuel et partagé par plusieurs régions italiennes et par l'Espagne.

Comme déjà dit auparavant, le protocole ENV1 comme la réglementation ligure définissent la turbidité comme le paramètre le plus important à contrôler pendant les opérations de rechargement ; les autres paramètres du protocole ENV1 pris en considération (les peuplements benthiques et les caractéristiques du fond) sont ceux qui se retrouvent dans le D.C.R 173/2006.

2 – TURBIDITÉ ET TAUX DE SÉDIMENTATION NATURELS DANS LES RÉGIONS PARTICIPANT AU SOUS-PROJET

2.1 – Le cas du Latium

Les données disponibles pour le Latium en matière de turbidité des eaux dans des conditions naturelles ont été principalement fournies par les campagnes de caractérisation et de surveillance effectuées par l'ICRAM, avec l'Université de Genova, pour le compte de la Région du Latium, dans le cadre du projet "Etude de l'impact sur l'environnement lié à l'exploitation des dépôts sableux submergés aux fins du rechargement" (ICRAM 2000a; 2001a, 2001b, 2001c; 2003a, 2003b; 2004a, 2004b, 2004c, 2004d; 2005b, 2005c, 2005d, 2005e; Budillon *et al.*, 2002; Gabellini *et al.*, 2004; Capello *et al.*, 2005).

Des études particulières menées le long de la plate-forme continentale du Latium (Barbanti *et al.*, 2005), visant à connaître l'évolution dans l'espace et dans le temps de la *plume* de turbide générée pendant les activités de dragage, ont mis en évidence que celle-ci disparaît dans un laps de temps très limité. C'est pourquoi les données obtenues pendant les phases de surveillance post-operam, poursuivies de 3 à 12 mois après le dragage, peuvent être utilisées afin d'évaluer la variabilité de la turbidité en conditions naturelles.

Durant les campagnes menées par l'ICRAM avec l'Université de Genova, des données de transmittance et de concentration de particules en suspension ont été recueillies.

La transmittance a été enregistrée au moyen d'une sonde multiparamétrique (CTD-911plus de la Sea Bird Electronics inc.) équipée d'un mesureur de transmission. La mesure est exprimée en pourcentage d'énergie lumineuse qui parcourt un trajet donné par rapport à l'énergie initiale émise.

Pour les mesures de concentration de particules en suspension, on effectue des prélèvements d'échantillons d'eau le long de la colonne d'eau à 3 niveaux (superficiel, intermédiaire et profond); le prélèvement est effectué au moyen de bouteilles Niskin. Les échantillons ainsi récoltés sont filtrés sur des filtres en acétate de cellulose de 47 mm et passant de 0.45 μm , pesés au préalable. Sur la détermination des quantités (en poids) de matériau particulaire suspendu (dans les fractions totale, inorganique et organique), on verra Piccazzo et Tucci (1983) et Pierce *et al.* (1981).

Certaines données sur la turbidité (obtenues au moyen d'un disque de Secchi¹) sont disponibles, en outre, grâce aux observations sur la qualité du milieu marin côtier effectuées par l'ICDM (Inspection Centrale pour la Défense de la Mer) (ICRAM 2000b; www.sidimar.it).

Pour simplifier l'exposé, on a décidé de traiter les données disponibles par unité physiographique. En outre, comme ce travail a pour objectif l'étude des valeurs naturelles, nécessaires pour comprendre la signification des valeurs que l'on enregistre à la suite des activités de dragage et de rechargement, on a jugé bon de diviser les données disponibles pour chaque unité physiographique en données rapportées à la zone de dragage (relatives à des stations situées à des profondeurs comprises entre 30 et 100m) et à la zone de rechargement (relatives à des stations situées à une profondeur maximum de 10m). Pour chaque milieu ainsi défini on a trouvé les valeurs extrêmes (minimum et maximum), la moyenne et la déviation standard. En ce qui concerne en particulier la valeur maximum, qui devrait être d'une certaine importance dans la détermination de valeurs de seuil éventuelles pour la turbidité, il faut souligner que cette valeur est certainement une valeur sous-estimée car, généralement, les campagnes de sondage ne sont jamais menées, entre autres pour des motifs de sécurité évidents, lorsque la mer est particulièrement agitée. Pour s'en convaincre, il suffit de réfléchir au fait que les valeurs

¹ Il s'agit d'un élément circulaire qui est plongé dans l'eau et donne une valeur de la transparence selon la mesure de la profondeur à laquelle il devient invisible de la surface.

sensiblement plus élevées qui ont été trouvées dans certains cas ont été interprétées comme la queue de la perturbation qui avait affecté la zone pendant les journées qui ont précédé le relevé.

Les zones considérées sont illustrées ci-après:

- Zone de Montalto di Castro, qui s'étend de l'embouchure du Marta jusqu'à Tarquinia Lido);
- Zone de Torvaianica, entre Tor Vaianica et Capo d'Anzio;
- Zone d'Anzio, au Sud de Capo d'Anzio;
- Zone de Sabaudia, entre Capo d'Anzio et le promontoire du Circeo;
- Zone de Terracina, qui s'étend entre San Felice Circeo et Capo Gaeta;
- Zone de Gaète, qui comprend le golfe de Gaète jusqu'à l'embouchure du Volturno.

ZONE DE MONTALTO DI CASTRO

Dans la zone considérée, située dans le trait de plate-forme qui fait face à la ville de Montalto di Castro (Province de Viterbo) on a mené plusieurs campagnes de sondages pour l'étude de la turbidité et des particules en suspension, qui ont généralement intéressé un vaste segment de plate-forme continentale; les sondages ont été effectués à des profondeurs comprises entre 5 et 100 m, à 3 niveaux: superficiel, intermédiaire (localisé au milieu de la colonne d'eau) et profond (ICRAM, 2003a, 2004a, 2005b). Dans les stations situées à faible profondeur, on n'a prélevé que les échantillons relatifs aux couches superficielle et profonde.

Les mesures de transmittance effectuées durant deux campagnes de sondage (janvier et mars) (ICRAM 2003a) ont mis en évidence, le long de la zone côtière devant Montalto di Castro, la présence d'eaux légèrement troubles, les valeurs de transmittance étant comprises entre 77% (niveau superficiel) et 68% (niveau intermédiaire). A proximité du fond cette valeur tombe à 54%, révélant donc une augmentation de la turbidité. Au Nord de la zone considérée, la transmittance est particulièrement basse près de la côte (10-30%). Ce chiffre est dû, selon les Auteurs, à la présence d'une bande qui s'étend parallèlement à la côte sur une largeur d'environ 6 km, caractérisée par une quantité consistante de matériau probablement mis en suspension par les conditions météo particulières relevées durant le prélèvement des échantillons.

En ce qui concerne les mesures des particules totales en suspension (TPM), les valeurs sont comprises entre un minimum de 4,91 et un maximum de 8,59 mg/l. Plus particulièrement, dans les eaux superficielles, ces valeurs sont comprises entre 4,95 et 7,17 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 4,91 et 7,59 mg/l et enfin, dans la couche de fond, entre 5,55 et 8,59 mg/l. Des valeurs supérieures de TPM ont été observées dans les eaux du fond, l'accroissement de la quantité de matériau en suspension de la surface étant d'environ 17%. Les analyses de laboratoire ont en outre montré que le TPM est constitué principalement de matériau organique, en quantité supérieure à 79% dans la couche superficielle et intermédiaire et à 73% dans la couche de fond.

Dans la couche superficielle, les valeurs les plus élevées de TPM ont été observées sous la côte. En particulier, on a déterminé deux masses d'eau caractérisées par la plus grande concentration de solide suspendu, pour des valeurs supérieures à 6 mg/l: la première, qui a été repérée devant les embouchures du torrent Chiarone et du fleuve Fiora, la seconde près des embouchures des fleuves Marta et Mignone. Les zones pauvres en matériau suspendu au nord du torrent Chiarone et au centre de la zone soumise à l'échantillonnage, à proximité de l'agglomération de Montalto di Castro (Province de Viterbo) ont été mises en rapport avec le flux de courant qui, de Sud-Ouest, coule vers la côte (ICRAM, 2003a). Durant la campagne de septembre, les données récoltées montrent des valeurs de TPM comprises entre 3,31 mg/l et 8,29 mg/l: entre 4,27 et 6,72 pour les eaux superficielles, entre 3,31 et 6,90 pour les eaux intermédiaires et entre 4,64 et 8,29 pour les eaux proches du fond. Des études ultérieures (ICRAM, 2004a), menées le long d'un segment de plate-forme qui s'étend de l'embouchure du torrent Tafone à l'embouchure du Fiora à des

profondeurs allant de 35 à 55 m, ont mis en évidence une colonne d'eau très homogène le long de tout le profil, les valeurs de transmittance étant comprises entre 71,7% et 83,2%, valeurs qui indiquent une masse d'eau légèrement chargée de matériau en suspension. Les concentrations de TPM variaient d'un minimum de 1,32 à un maximum de 3,93 mg/l: le niveau superficiel présente des valeurs comprises entre 1,32 et 3,93 mg/l, le niveau intermédiaire entre 1,54 et 2,72 mg/l, tandis que près du fond les valeurs oscillent de 1,71 à 2,90 mg/l. Les valeurs de TPM sont plus élevées en surface, moindres dans la couche intermédiaire et sur le fond, la diminution de la quantité de matériau étant égale à environ 10%. Des études ultérieures (ICRAM, 2005b) ont permis de relever des valeurs de TPM comprises entre un minimum de 0,67 et un maximum de 5,23 mg/l; en ce qui concerne les eaux superficielles les valeurs vont de 0,67 à 4,50 mg/l, dans les eaux intermédiaires l'intervalle va de 1,00 à 3,60 mg/l et dans les eaux proches du fond les valeurs de TPM sont comprises entre 1,90 et 5,23 mg/l.

ZONE DE TORVAIANICA

Selon les données recueillies durant les mois d'avril et septembre 2003 (ICRAM, 2004b), les eaux de cette zone sont légèrement troubles, avec des valeurs de transmittance comprises entre 86,9% et 57,6% et une augmentation générale de la surface vers le fond.

Au mois de septembre, la transmittance est particulièrement élevée, sur des valeurs de 93,68%, indiquant une très petite quantité de matériau en suspension.

Le matériau total en suspension (TPM), analysé au mois d'avril, présente des valeurs extrêmement variables comprises entre 0,08 et 15,73 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs vont de 0,44 à 15,73 mg/l; dans les eaux intermédiaires les valeurs oscillent entre 0,45 et 6,95 mg/l et enfin dans les eaux plus profondes les valeurs déterminées par les analyses sont comprises entre 0,08 et 10,60 mg/l. Le TPM est constitué principalement de matériau organique, dont le pourcentage dépasse 75% dans la couche superficielle, 78% dans la couche intermédiaire et 67% dans la couche de fond.

Le TPM analysé au mois de septembre présente des valeurs homogènes, comprises entre 2,31 et 7,15 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs sont comprises entre 2,31 et 5,28 mg/l; dans les eaux intermédiaires elles oscillent entre 2,91 et 5,37 mg/l et enfin dans les eaux plus profondes les valeurs déterminées par les analyses vont de 2,87 à 7,15 mg/l. Le TPM est constitué principalement par du matériau organique; dépassant 91% dans la couche superficielle, il passe à environ 89% dans la couche intermédiaire et se réduit à 77% dans la couche de fond qui, comme nous l'avons déjà vu, est donc enrichie dans sa composante inorganique.

D'autres études (ICRAM, 2004c) ont fait apparaître des valeurs du TPM au mois de mai comprises entre 1,12 et 6,49 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs sont comprises entre 2,19 et 6,49; dans les eaux intermédiaires elles oscillent entre 1,12 et 2,70 mg/l et enfin dans les eaux proches du fond entre 2,25 et 3,80 mg/l. Le TPM est formé principalement de matériau organique, dont le pourcentage dépasse toujours 96% dans les trois couches.

ZONE D'ANZIO

Le matériau total en suspension (TPM) trouvé au mois de mars 2000 (ICRAM, 2000a) présente des valeurs comprises entre 9,38 et 13,86 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs vont de 9,38 à 12,21 mg/l, dans les eaux intermédiaires elles sont comprises entre 11,02 et 12,85 mg/l et enfin dans les eaux plus profondes entre 12,80 et 13,86 mg/l. La teneur en contenu organique est élevée, le pourcentage en étant compris entre 79% et 92%. Le TPM, au mois de juin 2000, est moyennement plus élevé et va d'un minimum de 6,81 à un maximum de 31,98 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs sont comprises entre 7,03 et 8,84 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 6,81 et 8,92 mg/l et enfin dans les eaux proches du fond entre 11,09 et 31,98 mg/l (ICRAM, 2001a). La composition du matériau est essentiellement organique dans tous les échantillons

(toujours supérieure à 50%) et les pourcentages sont plus élevés dans les eaux superficielles et intermédiaires. Dans les échantillonnages effectués au mois de novembre 2000 ([ICRAM 2001b](#)) le matériau total en suspension a des valeurs comprises entre 2,96 et 14,00 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs sont comprises entre 4,94 et 10,91 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 2,96 et 6,95 mg/l, dans les eaux profondes entre 6,32 et 14,00 mg/l. Aux profondeurs inférieures, en effet, le pourcentage de fraction organique est, en général, toujours très élevé. On observe en outre que, à tous les points sondés, la substance organique tend à se concentrer surtout aux profondeurs intermédiaires plutôt qu'à l'horizon superficiel.

Des études ultérieures ([ICRAM, 2001c](#)) ont montré une distribution du TPM au mois d'août très homogène, avec des valeurs moyennes égales à 5,91 mg/l dans les eaux superficielles, 5,92 mg/l dans les eaux intermédiaires et 6,21 mg/l dans les eaux profondes.

L'ICRAM a effectué de nouvelles analyses aux mois de juillet et septembre 2003 et d'avril 2004 ([ICRAM, 2005c](#)). Il en ressort que, au mois de juillet, les valeurs de TPM varient de 2,61 à 5,72 mg/l: en ce qui concerne les eaux superficielles les valeurs sont comprises entre 2,88 et 3,90 mg/l, la valeur moyenne étant de 3,34 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 2,61 et 5,72 mg/l, avec une valeur moyenne de 3,29 mg/l; et enfin dans les eaux proches du fond entre 2,67 et 3,99 mg/l, la valeur moyenne étant égale à 3,30 mg/l. Les valeurs de TPM sont substantiellement homogènes le long de la colonne d'eau, avec une nette prédominance de la composante organique dans les trois couches, les valeurs d'OPM étant supérieures à 82,9%.

Les analyses effectuées au mois de septembre ont montré que le TPM présente des valeurs qui varient d'un minimum de 0,71 à un maximum de 5,83 mg/l; en ce qui concerne les eaux superficielles elles varient entre 0,71 et 3,65 mg/l, la valeur moyenne étant de 2,58 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 0,83 et 3,73 mg/l, avec une valeur moyenne égale à 3,05 mg/l et enfin dans les eaux proches du fond entre 1,09 et 5,83 mg/l, la valeur moyenne étant de 4,17 mg/l. Les valeurs moyennes de TPM sont plus basses en surface et atteignent leur maximum au niveau proche du fond où l'augmentation de la quantité de matériau de la surface au fond est égale à environ 62%, avec une prédominance nette de la composante organique dans les trois couches de la colonne d'eau, les valeurs d'OPM étant supérieures à environ 70%.

Au mois d'avril le matériau particulaire total (TPM) présente des valeurs qui varient d'un minimum de 0,8 à un maximum de 3,7 mg/l; en ce qui concerne les eaux superficielles, les valeurs sont comprises entre 1,7 et 3,7 mg/l, la valeur moyenne étant de 2,43 mg/l; dans les eaux intermédiaires l'intervalle est compris entre 1,8 et 3,5 mg/l, avec une valeur moyenne égale à 2,72 mg/l; et enfin dans les eaux proches du fond les valeurs oscillent de 0,8 à 3,1 mg/l, la valeur moyenne étant de 2,15 mg/l. Les valeurs moyennes de TPM sont généralement homogènes le long de la colonne d'eau, avec une diminution négligeable de la quantité de matériau de la surface vers le fond. La composante organique (OPM) est nettement prédominante dans les couches superficielles et au fond, avec des valeurs supérieures à 67%. Dans la couche intermédiaire la composante inorganique atteint 47% du total.

ZONE DE SABAUDIA

Le matériau particulaire total (TPM) trouvé dans les eaux devant Sabaudia au mois de mars 2004 ([ICRAM \(2005d\)](#)) a des valeurs comprises entre 1,09 et 7,42 mg/l: dans les eaux superficielles ces valeurs sont comprises entre 1,14 et 7,01 mg/l pour une valeur moyenne de 3,84 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 1,09 et 6,09 mg/l, avec une valeur moyenne égale à 2,60 mg/l et, enfin, dans les eaux plus profondes entre 1,26 et 7,42 mg/l, la valeur moyenne étant égale à 3,69 mg/l. Le TPM est constitué principalement de matériau organique, dont le pourcentage dépasse 62% dans la couche superficielle, devient environ 59% dans la couche intermédiaire et se réduit à 54% dans la couche de fond qui s'enrichit par conséquent dans la composante inorganique. Le TPM des eaux superficielles est plus élevé dans les eaux côtières, les valeurs étant comprises entre 3 et 6 mg/l et à proximité de l'embouchure du fleuve Astura les valeurs dépassent 6 mg/l; toujours

dans ce trait de mer, correspondant à Capo d'Anzio, on observe un flux de particulaire superficiel en direction du large. Le TPM intermédiaire est concentré surtout dans les eaux côtières au centre du champ de l'enquête, les valeurs maxima se trouvant à l'embouchure du fleuve Astura; les concentrations diminuent quand on s'éloigne de la côte vers le large, à l'exception de quelques zones qui présentent des eaux troubles ne provenant pas de la côte. Le TPM observé sur le fond a des valeurs qui dépassent 3 mg/l le long de toute la côte et en certains points les valeurs dépassent 7 mg/l; cette zone riche en particulaire s'étend jusqu'à la bathymétrie de 50 mètres.

Au mois de septembre le TPM présente des valeurs comprises entre 0,34 et 4,08 mg/l avec certaines variations selon les profondeurs du prélèvement: dans les eaux superficielles on a enregistré des valeurs de TPM comprises entre 0,58 et 3,69 mg/l, pour une valeur moyenne de 1,44mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 0,36 et 3,49 mg/l, pour une valeur moyenne égale à 1,40 mg/l et, enfin, dans les eaux plus profondes entre 0,34 et 4,08 mg/l, la valeur moyenne étant égale à 1,78 mg/l. Le TPM est constitué principalement de matériau organique.

Dans la couche d'eau superficielle, le TPM est plutôt homogène avec des valeurs pour la plupart comprises entre 1 et 2 mg/l, encore qu'à l'endroit de certaines stations situées plus au large se trouve une zone caractérisée par des eaux dont les concentrations en TPM sont inférieures à 1 mg/l, qui s'enfoncent vers la terre à l'intérieur d'eaux "côtières", avec un TPM compris entre 1 et 2 mg/l. Dans le secteur le plus proche de la rive, on trouve des augmentations de concentration dues à l'influence des agglomérations, de la proximité d'embouchures de fleuves et/ou de canaux. Dans la couche d'eau intermédiaire également, comme pour la couche superficielle, le TPM est homogène, avec des valeurs pour la plupart comprises entre 1 et 2 mg/l. Sur le fond les eaux présentent des concentrations inférieures à 1,5 mg/l alternées à des concentrations supérieures à 3 mg/l, et dans le secteur compris entre le lac de Fogliano et Sabaudia les valeurs de TPM sont inférieures à celles du secteur centré sur Torre Astura.

ZONE DE TERRACINA

Dans la zone de Terracina le TPM trouvé au mois d'avril 2004 (ICRAM, 2005e) a des valeurs variant d'un minimum de 0,98 à un maximum de 10,85 mg/l; en ce qui concerne les eaux superficielles, les valeurs sont comprises entre 1,64 et 10,64 mg/l (figure 2), la valeur moyenne étant égale à 5,76 mg/l, dans les eaux intermédiaires l'intervalle va de 0,98 à 9,49 mg/l (figure 3), avec une valeur moyenne égale à 3,91 mg/l et enfin dans les eaux proches du fond la valeur est comprise entre 2,56 et 10.85 mg/l (figure 4), la valeur moyenne étant 4,63 mg/l.

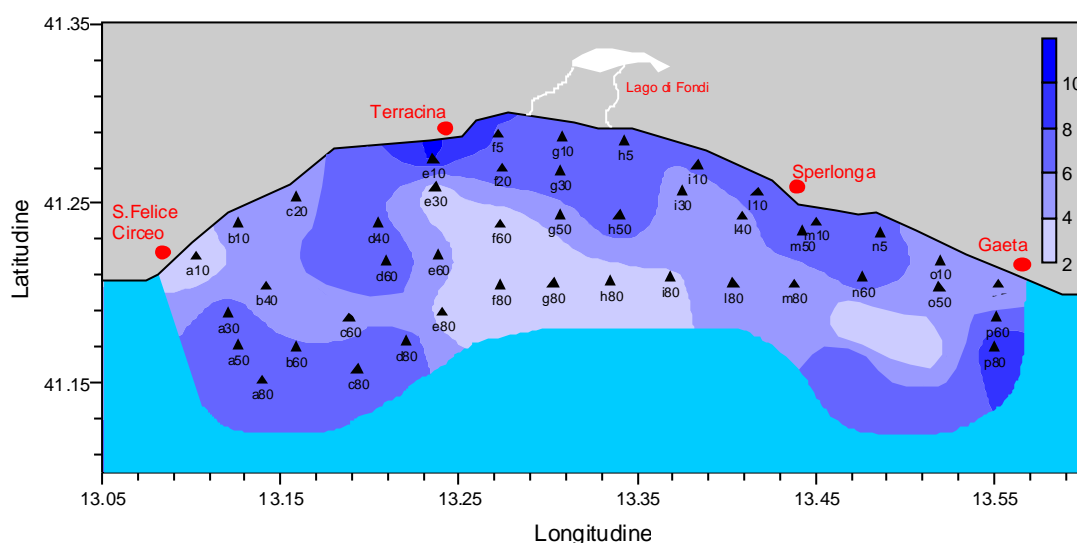


Figure 2 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux superficielles trouvées au mois d'avril

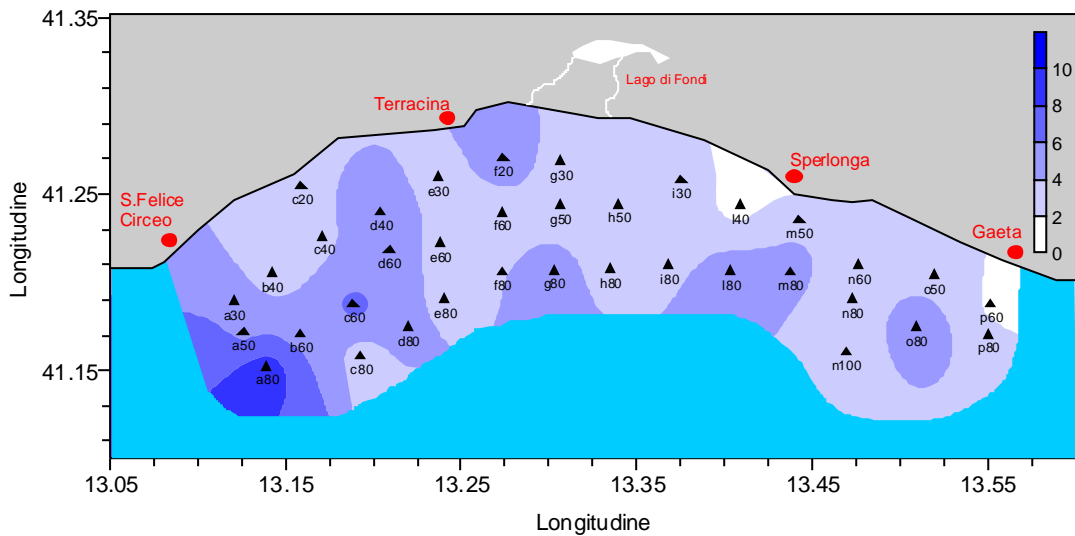


Figure 3 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux intermédiaires trouvées au mois d'avril

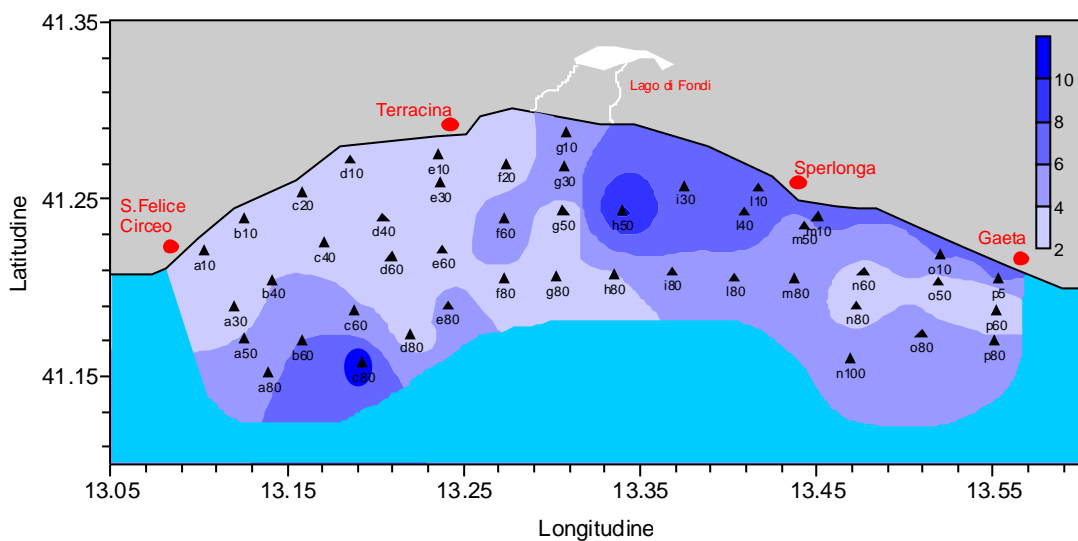


Figure 4 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux proches du fond trouvées au mois d'avril

Le long de la colonne d'eau les concentrations de particulaire sont les plus élevées en surface, les plus faibles au centre de la masse d'eau, pour augmenter à nouveau à proximité du fond sous l'effet d'un mécanisme de resuspension des sédiments que l'on peut évaluer de l'ordre de 15%. Le matériau organique dans les eaux non superficielles est constant sur la valeur de 3 mg/l. En outre, l'augmentation sur le fond du TPM est due à la composante inorganique (IPM) qui de 20% dans les eaux intermédiaires passe à 30% dans celles du fond.

En ce qui concerne les concentrations de TPM, on constate la présence d'une zone à forte concentration (de 6 à 8 mg/l) qui s'étend de Capo Circeo à Terracina vers le large. A la pointe Ouest du champ de l'enquête, on trouve en outre une concentration élevée de TPM (de 8 à 10 mg/l) à proximité de Capo Gaeta. Une autre zone de fortes concentrations se trouve entre Terracina et Sperlonga dans les eaux qui bordent la côte avec une limite, vers le large, qui est

influencée par le parcours en méandres du courant. Les eaux intermédiaires sont caractérisées par des valeurs de TPM inférieures aux valeurs des eaux superficielles et presque partout on trouve des valeurs comprises entre 2 et 4 mg/l. Le secteur Est de la zone examinée présente les valeurs les plus élevées. Dans les eaux proches du fond on trouve une différence substantielle entre les secteurs Est et Ouest du champ de l'enquête. Entre San Felice Circeo et Terracina les eaux sont plus pauvres en particulaire à l'exception de quelques points au large, à la limite Est.

Le matériau particulaire total (TPM) présent au mois de septembre a des valeurs variant d'un minimum de 0,97 à un maximum de 7,63 mg/l pour une valeur moyenne de 3,58 mg/l. En ce qui concerne les valeurs trouvées aux différentes profondeurs, dans les eaux superficielles les valeurs sont comprises entre 1,44 et 7,19 mg/l (figure 5), pour une valeur moyenne de 4,08 mg/l, dans les eaux intermédiaires entre 0,97 et 6,34 mg/l (figure 6), pour une valeur moyenne égale à 2,90 mg/l et enfin dans les eaux proches du fond entre 1,36 et 7,63 mg/l (figure 7), la valeur moyenne étant de 3,59 mg/l. Le long de la colonne d'eau les concentrations de particulaire sont les plus élevées à la surface, les moins élevées au centre de la masse d'eau pour augmenter à nouveau à proximité du fond sous l'effet d'un mécanisme induit de resuspension des sédiments que l'on peut évaluer de l'ordre de 19%. La composante organique présente des valeurs comprises entre 1 et 6 mg/l, avec une légère augmentation dans les eaux du fond par rapport aux eaux intermédiaires, comme on l'a observé pour la composante inorganique.

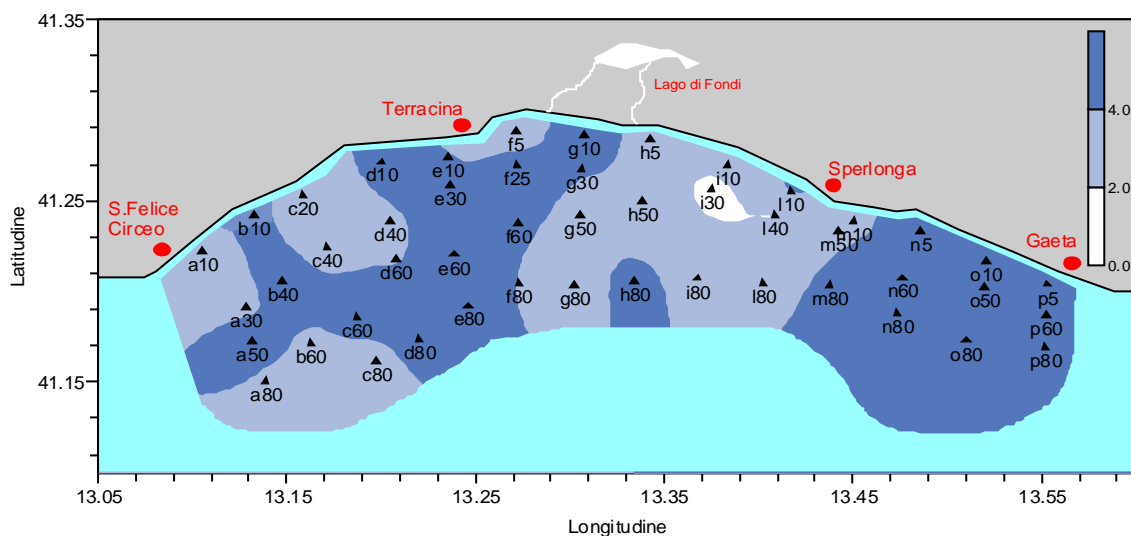


Figure 5 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux superficielles trouvées au mois de septembre

Selon les analyses des concentrations de TPM (dans la couche superficielle) le secteur Est de la zone étudiée apparaît homogène, avec des valeurs comprises entre 4 et 6 mg/l. Le secteur central est caractérisé par des concentrations plus basses, en moyenne comprises entre 2 et 4 mg/l et le secteur Ouest, enfin, montre les variabilités les plus importantes, avec une diffusion du particulaire irrégulière et certainement conditionnée par la faible uniformité dynamique des eaux.

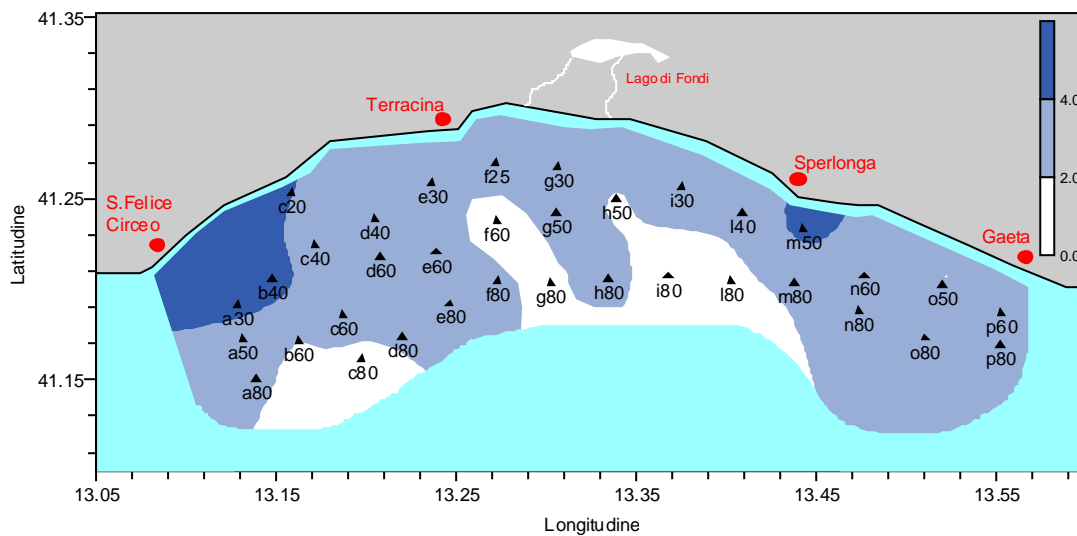


Figure 6 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux intermédiaires trouvées au mois de septembre

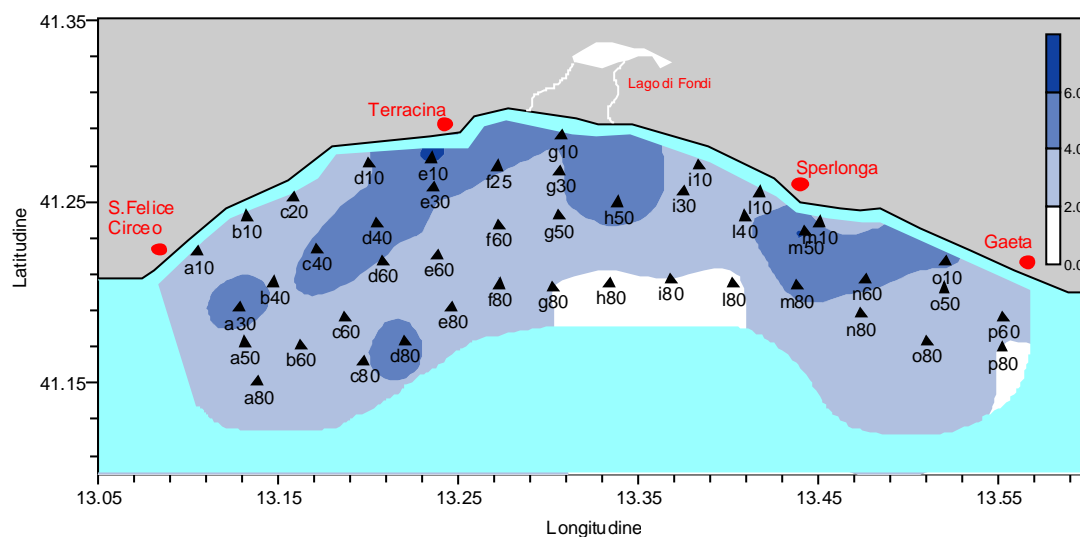


Figure 7 – Zone de Terracina: valeurs de TPM dans les eaux proches du fond trouvées au mois de septembre

Dans les eaux intermédiaires, les valeurs de TPM sont inférieures à celles des eaux superficielles, et presque partout on observe des valeurs comprises entre 2 et 4 mg/l. Le secteur Ouest du champ de l'enquête présente les valeurs les plus élevées avec une zone à haute concentration (> 4 mg/l) qui s'étend près de la côte entre Capo Circeo et Terracina dans une condition dynamique des eaux qui se déplacent vers Capo Circeo. Une deuxième zone à haute concentration (entre 4 et 6 mg/l) s'observe dans les eaux devant Sperlonga. Dans certaines stations situées entre le Circeo et le lac de Fondi, on trouve les valeurs minima de TPM avec des concentrations < 2 mg/l.

Dans les eaux proches du fond on observe une différence substantielle entre les eaux côtières et celles du large; entre Terracina et Fondi et dans la région entre Gaète et Sperlonga les eaux ctières sont plus riches en particulaire tandis que les stations au large et au centre du champ de l'enquête enregistrent des valeurs plus basses.

ZONE DE GAETA

Selon les chiffres disponibles, les eaux du trait de côte devant Gaète sont légèrement troubles, et les valeurs de transmittance sont comprises en surface entre 60% et 75% et sont plus basses au niveau intermédiaire ([ICRAM 2003b](#)). Au niveau de fond la transmittance est de 20%; cela indique une forte augmentation de la turbidité dans les eaux du fond, due à des phénomènes de resuspension des sédiments. En outre, selon l'examen de la distribution superficielle de ce paramètre, on observe un léger gradient de la côte vers le large, le long duquel la transmittance augmente légèrement.

Le matériau total en suspension (TPM) présente des valeurs comprises entre 0,21 et 9,14 mg/l avec une valeur moyenne de 2.60 mg/l. Dans les eaux superficielles la concentration moyenne est de 1,71 mg/l (minimum 0,98 – maximum 3,14 mg/l); dans les eaux intermédiaires 1,55 mg/l (minimum 0,21 – maximum 4,98 mg/l) et dans les eaux de fond 4,26 mg/l (minimum 0,85 – maximum 9,14 mg/l, cette dernière valeur constituant le maximum absolu a été observée dans les stations situées à 50 m de profondeur).

Les concentrations majeures de TPM se trouvent dans les eaux du fond, l'augmentation étant de 175% des eaux intermédiaires au fond, ce qui indique un effet prononcé de resuspension des sédiments fins du fond. La composante organique est prédominante dans les couches superficielles et intermédiaires, tandis que sur le fond c'est la composante inorganique (IPM) qui est l'élément constituant principale.

Les distributions superficielles de TPM montrent une zone d'accumulation de matériau à l'endroit du golfe de Gaète, avec des valeurs de TPM supérieures à 2 mg/l. Des valeurs plus basses de matériau en suspension caractérisent la masse d'eau devant l'embouchure du Garigliano; cette basse concentration de suspendu prouve des apports négligeables du fleuve pendant la phase de l'échantillonnage; la présence dans les eaux superficielles de valeurs plus élevées au large de Mondragone dans le secteur Sud du champ de l'enquête peut faire penser à un transport de matériau en suspension, probablement lié au fleuve Volturno, en direction Nord-Ouest.

En ce qui concerne les valeurs proches du fond on observe des concentrations élevées de matériau dans les eaux côtières devant Marina di Minturno; cette couche trouble tend à s'aligner à la profondeur de 80 m.

La différence observée lors des mesures courantométriques aux deux moments de la mesure (février et avril 2002) suggère aussi une explication pour la création de zones à concentration élevée de TPM existant vers le large: l'entrée d'eaux de haute mer qui sont poussées vers la terre à la hauteur du fleuve Garigliano tend à interrompre le mouvement du matériau suspendu qui coule donc vers Sud-Est par intermittence. Durant les phases de mouvement limité, le matériau apporté par le Garigliano tend à se concentrer dans le golfe de Gaète. Cette dynamique des sédiments suspendus était apparue évidente dans les études effectuées précédemment par [Tucci \(1989a\)](#).

La composante organique est toujours dominante sur la composante inorganique dans les trois couches de la colonne d'eau, avec des valeurs d'OPM supérieures à 70%.

Des études ultérieures ([ICRAM 2004d](#)) ont mis en évidence que la colonne d'eau est toujours très homogène tout le long du profil, avec des valeurs de transmittance comprises entre 79,0% et 83,0%, valeurs qui indiquent une masse d'eau légèrement chargée de matériau en suspension.

Il ressort des analyses effectuées que le matériau particulaire total (TPM) présente des valeurs qui varient d'un minimum de 3,46 à un maximum de 6,43 mg/l; en ce qui concerne les eaux



superficielles, les valeurs sont comprises entre 4,55 et 6,43 mg/l, la valeur moyenne étant égale à 5,51 mg/l; dans les eaux intermédiaires l'intervalle est compris entre 3,82 et 6,27 mg/l, avec une valeur moyenne de 4,57 mg/l; et enfin dans les eaux proches du fond les valeurs oscillent entre 3,46 et 4,78 mg/l, la valeur moyenne étant de 4,04 mg/l.

Les valeurs de TPM sont plus élevées en surface, tandis que dans la couche intermédiaire et sur le fond on a une diminution de la quantité de matériau de la surface vers le fond égale à environ 27%. Il apparaît, en outre, que la composante organique est nettement prédominante dans les trois couches.

Une synthèse des chiffres disponibles, pour toute la plate-forme continentale du Latium, sur les concentrations de TPM, d'IPM et d'OPM (toutes exprimées en mg/l), trouvées à proximité de la côte (stations situées de 5 à 10 m de profondeur) et au large (stations situées à plus de 30 m de profondeur), est donnée dans le [tableau 6](#).

Tableau 6 – Concentrations de particules en suspension totales (TPM), particulaire sossendu inorganique (IPM) et particulaire sossendu organique (OPM) (in mg/l), trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux superficiel, intermédiaire et profond) le long de la plate-forme continentale du Latium, en bordure de la côte (stations situées de 5 à 10 m de profondeur) et vers le large (stations situées à plus de 30 m de profondeur). Dans les stations situées à 5 et à 10 m de profondeur seules sont disponibles les données relatives aux niveaux superficiel et profond

			Montalto di Castro		Torvaianica		Anzio		Sabaudia		Terracina		Gaète	
			5-10m	30-100m	5-10m	30-110m	5-10m	30-60m	5-10m	30-115m	5-10m	30-60m	5-10m	30-80m
TPM	Sup.	Min-max	-	0.67-6.77	1.90-15.73	0.44-9.75	-	0.71-12.21	0.67-6.65	0.58-6.17	1.6-7.8	2.2-9.3	1.74-5.49	.98-6.43
		Med.± dev.st.	-	4.74±1.58	5.00±4.14	3.74±1.70	-	5.30±3.08	3.28±1.97	2.23±1.52	5.00±1.73	4.79±1.82	3.59±1.82	3.68±2.05
	Int.	Min-max	-	1.00-7.59	3.73-4.23	0.46-6.08	-	0.8-12.85	-	0.36-5.06	-	0.97-6.34	-	0.21-6.92
		Med.± dev.st.	-	4.57±1.66	4.04±0.22.	3.35±1.34	-	5.14±3.09	-	1.91±1.02	-	3.38±1.54	-	3.68±1.99
	Prof.	Min-max	-	1.7-8.59	2.87-10.6	0.08-8.93	-	1.09-25.71	0.34-7.42	0.56-6.93	2.23-6.59	1.91-10.08	3.32-7.26	1.08-7.44
		Med.± dev.st.	-	5.79±1.90	4.57±2.38	3.91±1.65	-	7.63±6.45	3.35±1.80	2.44±1.42	4.39±1.72	4.10±1.69	6.03±1.82	4.85±2.19
IPM	Sup.	Min-max	-	0.1-2.22	0.04-4.88	0.01-2.49	-	0.11-2.71	0.18-3.12	0.02-2.16	0.34-1.6	0.13-1.7	0.64-0.72	0.18-0.76
		Med.± dev.st.	-	0.84±0.46	1.12±1.44	0.53±0.51	-	0.85±0.58	1.50±1.02	0.67±0.62	0.86±0.33	0.68±0.40	0.66±0.14	0.51±0.29
	Int.	Min-max	-	0.18-2.14	0.26-0.81	0.01-2.49	-	0.06-1.85	-	0.03-2.43	-	0.03-1.7	-	0.11-1.96
		Med.± dev.st.	-	0.78±0.46	0.61±0.24	0.51±0.40	-	0.66±0.41	-	0.62±0.54	-	0.58±0.38	-	0.54±0.37
	Prof.	Min-max	-	0.41-3.32	0.43-3.87	0.04-3.21	-	0.05-8.51	0.1-2.89	0.15-2.54	0.27-1.4	0.3-6.8	1.46-4.66	0.14-3.57
		Med.± dev.st.	-	1.67±0.73	1.48±1.29	0.99±0.69	-	2.23±2.74	1.51±0.90	1.00±0.76	0.74±0.35	1.22±0.97	2.90±1.35	1.53±1.32
OPM	Sup.	Min-max	-	0.41-6.05	1.4-10.86	0.06-7.26	-	0.6-11.04	0.46-4.37	0.61-4.49	0.9-6.4	1.15-7.8	1.26-4.77	0.6-5.96
		Med.± dev.st.	-	3.89±1.52	3.89±2.79	3.21±1.41	-	4.76±2.68	1.78±1.21	1.65±1.08	4.34±1.76	4.15±1.55	2.93±1.78	3.19±2.07
	Int.	Min-max	-	0.78-5.99	2.92-3.92	1.10-5.54	-	0.3-11.8	-	0.25-2.78	-	0.4-5.9	-	0.3-5.47
		Med.± dev.st.	-	3.78±1.56	3.44±0.42	2.89±1.12	-	4.84±2.68	-	1.29±0.64	-	2.80±1.32	-	3.14±2.07
	Prof.	Min-max	-	0.7-6.51	1.25-6.72	0.33-6.35	-	0.7-17.12	0.02-4.77	0.52-4.39	1.9-6.2	0.84-5.69	0.9-5.27	0.67-5.41
		Med.± dev.st.	-	4.11±1.69	1.48±1.72	2.98±1.24	-	5.81±4.04	1.84-1.05	1.43±0.89	3.47±1.30	2.88±1.22	3.13±1.97	3.40±1.62

Dans les figures suivantes (figures 8-13), en outre, on peut voir la répartition des particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM), trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux superficiel, intermédiaire et profond) le long de la plate-forme continentale du Latium (MT zone de Montalto di Castro, TV zone de Torvaianica, AZ zone de Anzio, SA zone de Sabaudia, TE zone de Terracina, GA zone de Gaeta), en bordure de la côte (stations situées de 5 à 10 m de profondeur) et vers le large (stations situées à plus de 30 m de profondeur). Dans les stations situées à 5 et à 10 m de profondeur les données relatives aux niveaux intermédiaires sont disponibles seulement pour les zones de Gaeta et de Torvaianica.

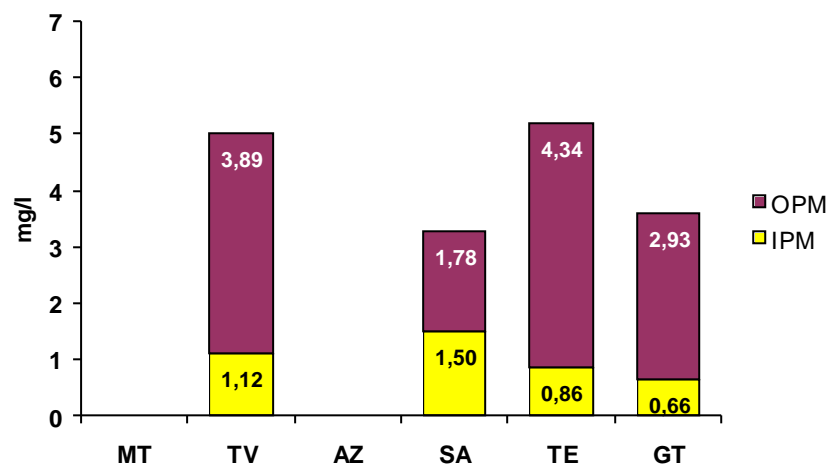


Figure 8 - Répartition des particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux superficiel) le long de la plate-forme continentale du Latium, en bordure de la côte (stations situées de 5 à 10 m de profondeur)

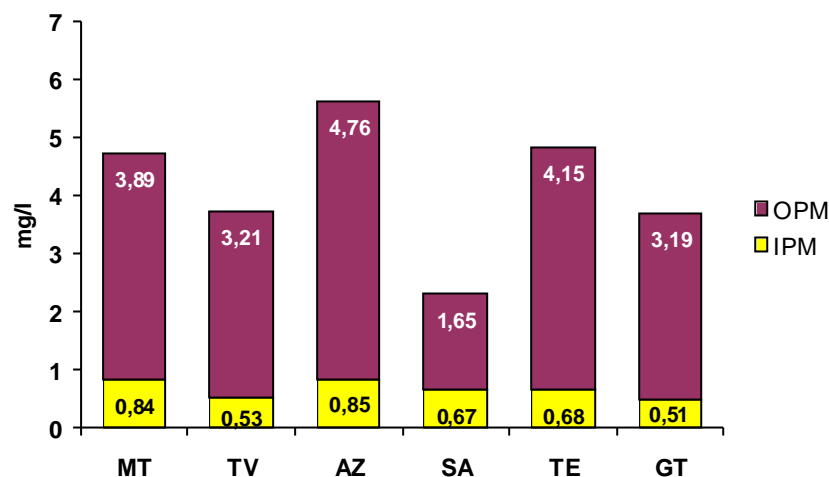


Figure 9 - Répartition des particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux superficiel) le long de la plate-forme continentale du Latium, vers le large (stations situées à plus de 30 m de profondeur).

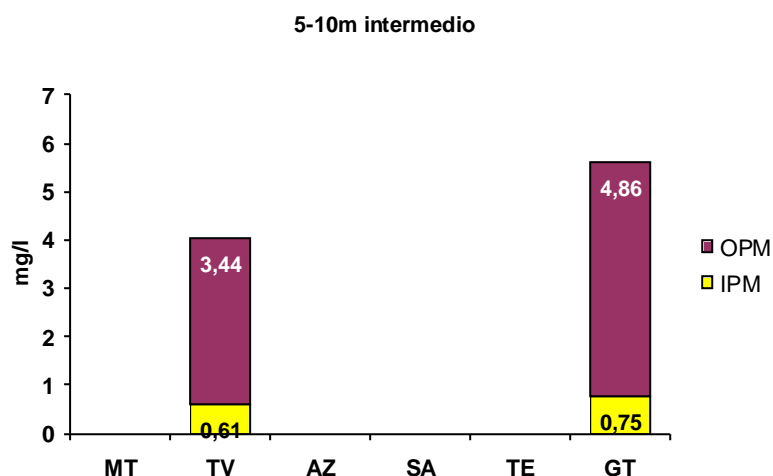


Figure 10 - Répartition du particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux intermédiaire) le long de la plate-forme continentale du Latium, vers le large (stations situées de 5 à 10 m de profondeur).

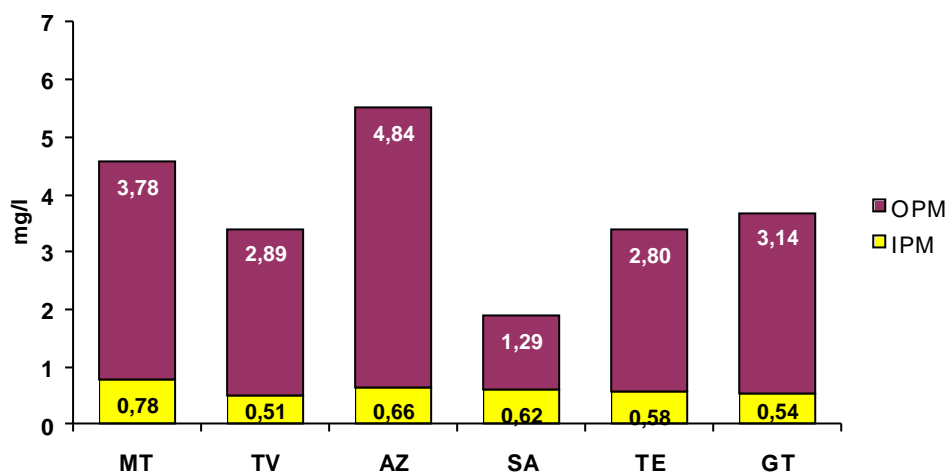


Figure 11 - Répartition du particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux intermédiaire) le long de la plate-forme continentale du Latium, vers le large (stations situées à plus de 30 m de profondeur).

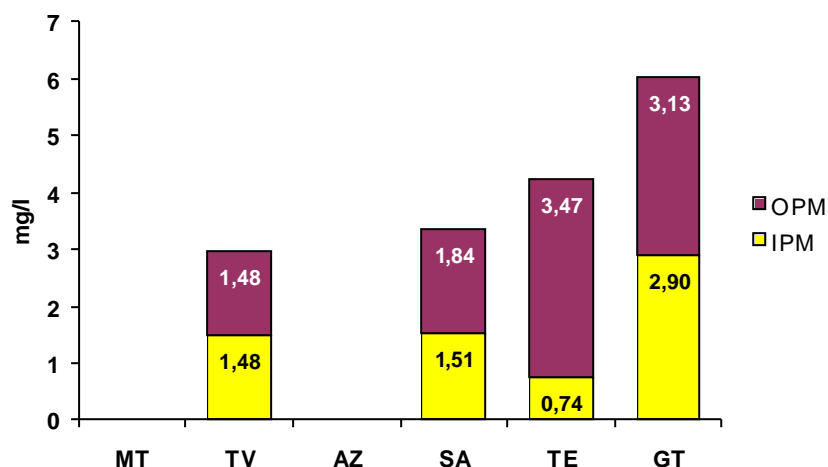


Figure 12 - Répartition du particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux profond) le long de la plate-forme continentale du Latium, en bordure de la côte (stations situées de 5 à 10 m de profondeur).

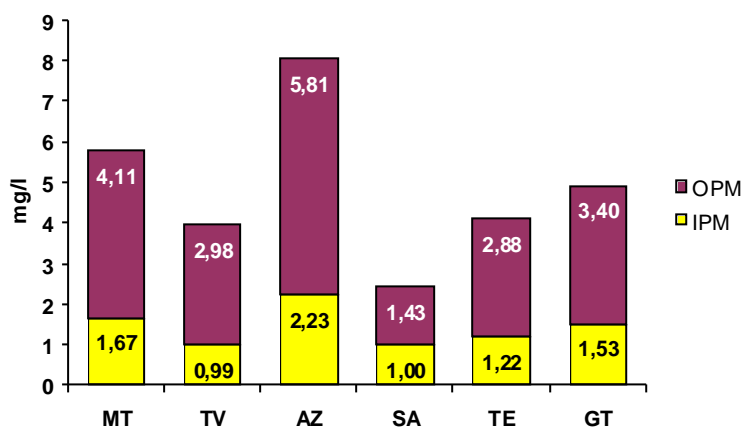


Figure 13 - Répartition du particules en suspension entre les composantes organique (OPM) et inorganique (IPM) trouvées le long de la colonne d'eau (niveaux profond) le long de la plate-forme continentale du Latium, vers le large (stations situées à plus de 30 m de profondeur).

Enfin, en ce qui concerne les observations effectuées dans les eaux côtières du Latium, durant la période 1996-1999, les valeurs de transparence maxima s'observent en septembre, avec plus de 10 m de Disque de Secchi relevés dans les stations au large. Selon les moyennes annuelles on peut observer une nette tendance à l'augmentation (entre 2 et 4 m) de la transparence de la côte vers le large. Dans les stations côtières les valeurs ont tendance à être plus homogènes (autour de 4 m) pendant une grande partie de l'année, à cause de la présence de biomasse formée de micro-algues en suspension et de détritux charriés par les fleuves (ICRAM 2000b).

Les chiffres sur la transparence relatifs à la période 2003-2006, relevés dans les stations de Ladispoli, Fiumicino, Rio Martino et Monte d'Argento Zannone, sont disponibles sur le site internet www.sidimar.it

2.2 – Le cas de l'Emilie-Romagne

Ce chapitre traite des connaissances dont on dispose dans la Région d'Emilie-Romagne sur la turbidité des eaux marines au large et dans des conditions naturelles. Ces connaissances s'avèrent capitales dans la mesure où elles constituent une des bases de comparaison permettant d'évaluer l'impact des opérations de dragage, nécessaires pour obtenir d'importants volumes de sables à utiliser pour le rechargement des plages.

En 2002, la Région d'Emilie-Romagne a mis en oeuvre, pour la première fois sur son territoire, une opération de rechargement sur des plages en cours d'érosion, en utilisant 800 000 m³ de sables résiduels dragués sur les fonds marins, à 30 milles de la côte. Les sables ont été utilisés pour le rechargement de 9 km de plage appartenant à 9 communes des provinces de Rimini, Forlì-Cesena et Ravenne.

L'importance et l'envergure de l'intervention ont nécessité la préparation d'études spécifiques sur l'environnement, comprenant une campagne de caractérisation avant le lancement proprement dit des opérations, en plus des campagnes en cours de travaux (trois campagnes à différentes phases des travaux) et surveillance post-intervention (trois campagnes) (ARPA Emilia-Romagna, 2001; 2003; 2004; 2005).

La caractérisation et la surveillance post-intervention ont permis notamment de recueillir des informations relatives à la turbidité naturelle sur le site en question. Aux fins de cette étude, on n'a pas pris en compte les résultats du suivi en cours de travaux, car les données recueillies ne peuvent pas être référées à des conditions naturelles.

Les programmes de suivi et de contrôle environnemental de cet important projet ont été réalisés par l'ARPA-IA sous la direction scientifique de l'ICRAM; on y a mis à profit les expériences les plus significatives des années précédentes effectuées au niveau international.

Méthodologie et instruments

Le site choisi pour le dragage est situé à environ 55 km des côtes de la région, à une profondeur comprise entre -38,5 m et -43 m (figure 14).

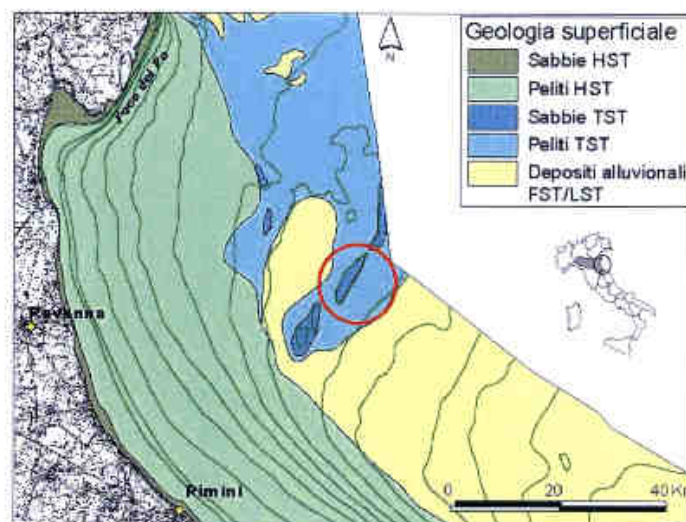


Figure 14 - Localisation du site de prélèvement des sables

Compris à l'intérieur d'une zone contrôlée s'étendant sur 16 km², le site choisi pour le dragage occupe une superficie de 1 km².

La campagne de caractérisation avant des travaux de dragage a eu lieu en mars 2001.

Pour ce qui concerne les campagnes de suivi post-intervention, elles ont eu lieu en:

- juin et décembre 2002;
- juin 2003;
- juin 2004.

Toutes les campagnes de suivi et les typologies d'études effectuées au fil des années sont présentées dans la **figure 15**.

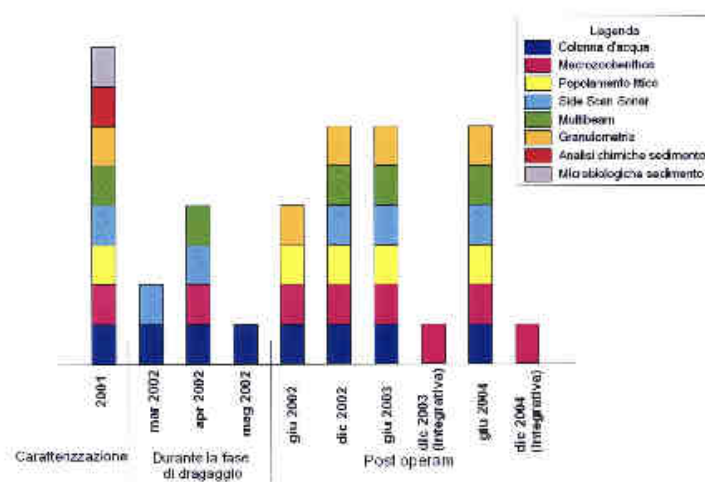


Figure 15 – Suivi de la zone de prélèvement du sable au large des côtes d'Emilie-Romagne : campagnes et analyses effectuées

Pour déterminer la turbidité naturelle sur le site, on a mesuré la transmittance le long de la colonne d'eau à l'aide d'un mesureur de transmission Sea Teck, associé à la sonde Idronaut 316.

Quant à la transparence, elle a été mesurée au disque de Secchi.

Résultats

Campagne de caractérisation (mars 2001)

Les résultats de la caractérisation de la zone, dans les limites des aspects liés à la turbidité, montrent (**figure 16**) que la transmittance augmente en fonction de la profondeur, passant de valeurs inférieures ou égales à 40% en surface (où la turbidité est plus importante) à des valeurs proches de 70% à proximité du fond.

Notons que les suivis qui se sont succédés après les opérations de dragage jusqu'en 2004, date à laquelle les conditions sont revenues à la normale, tout au moins en ce qui concerne la turbidité, peuvent également renseigner sur les caractéristiques naturelles de la zone en question.

Suivi post-intervention

décembre 2002

L'analyse des données relatives à la colonne d'eau (transmittance, profondeur, température, salinité, oxygène dissous, densité) n'a fait ressortir aucune anomalie significative par rapport à la saison et à la position géographique dans la Mer Adriatique.

Dans les 10 stations pour lesquelles les différents paramètres ont été enregistrés, les valeurs sont généralement similaires : le pourcentage de turbidité est d'environ 72% en surface, augmente de façon constante jusqu'à une profondeur d'environ – 20 m puis diminue à nouveau pour se stabiliser autour de valeurs variant de 40 à 70 % sur le fond. A titre d'exemple, on consultera, sur la [figure 17](#), la répartition de la turbidité le long des lignes, mesurée en juin 2002.

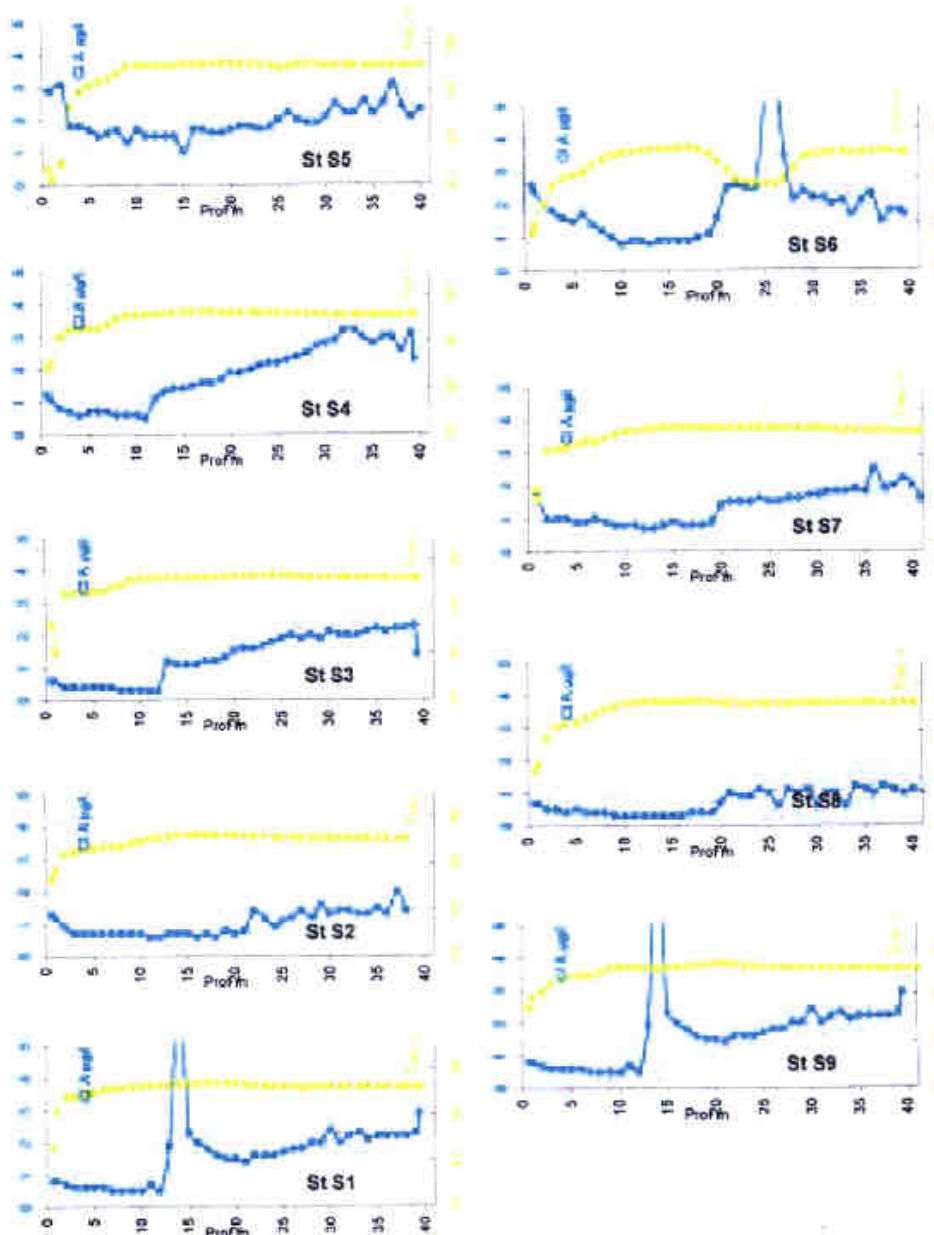


Figure 16 - Résultats de la caractérisation de la zone : transmittance

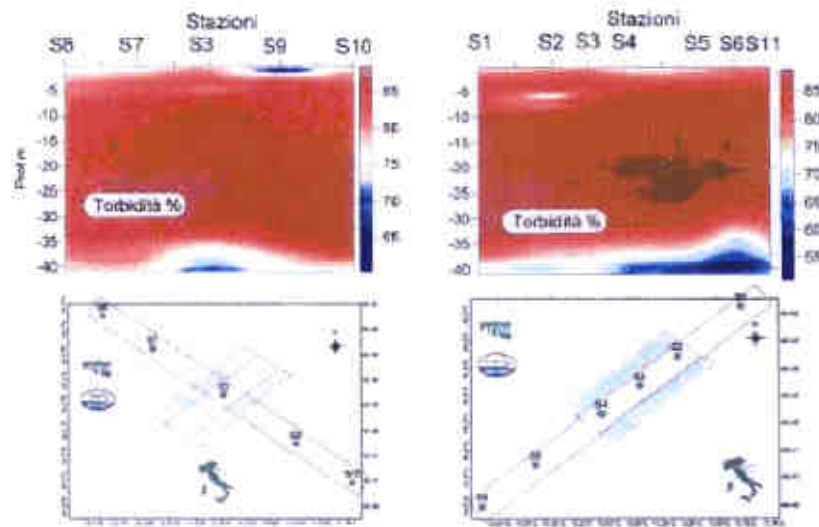


Figure 17 – Distribution de la turbidité le long des lignes Est-Ouest et Nord-Sud, juin 2002

juin 2003

Comme pour la campagne précédente, l'analyse des données n'a fait ressortir aucune anomalie significative par rapport à la saison et à la position géographique dans la Mer Adriatique.

Les données de transmittance font état d'une colonne d'eau très homogène pour toutes les stations, légèrement trouble. Ce paramètre augmente à la surface de l'eau jusqu'à environ - 20 m de profondeur et diminue ensuite jusqu'au fond, où l'on enregistre les valeurs les plus basses, à cause de phénomènes de remise en suspension des sédiments.

L'évolution de la turbidité le long des lignes est montrée dans la figure 18.

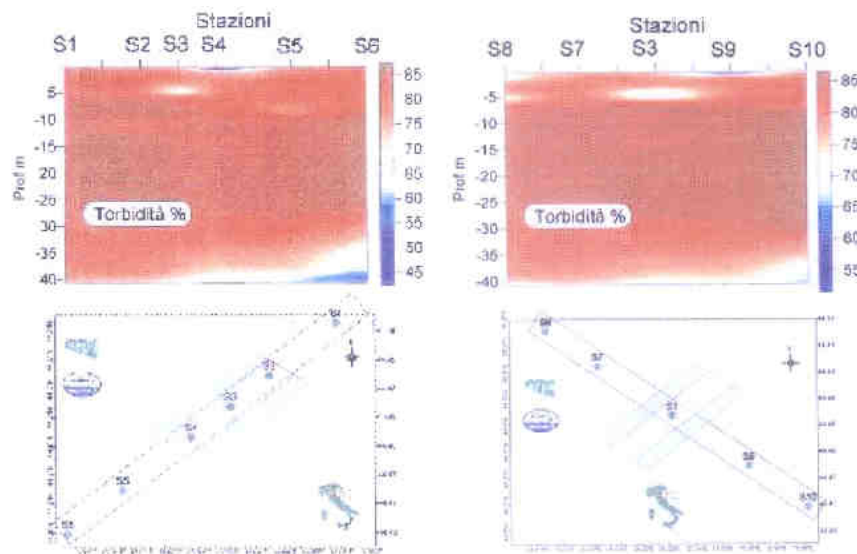


Figure 18 – Distribution de la turbidité le long des lignes Est-Ouest et Nord-Sud, juin 2003

juin 2004

Les paramètres mesurés lors de la troisième campagne de suivi post-intervention révèlent la présence d'une masse d'eau unique caractérisée par une thermocline couvrant toute la colonne d'eau, à laquelle se superpose une thermocline superficielle plus prononcée que la précédente, d'une profondeur d'environ 5 mètres. La densité augmente progressivement au fur et à mesure que l'on s'approche du fond, passant d'un minimum d'environ 25,5 en surface à un maximum de 29,7 sur le fond (figure 19).

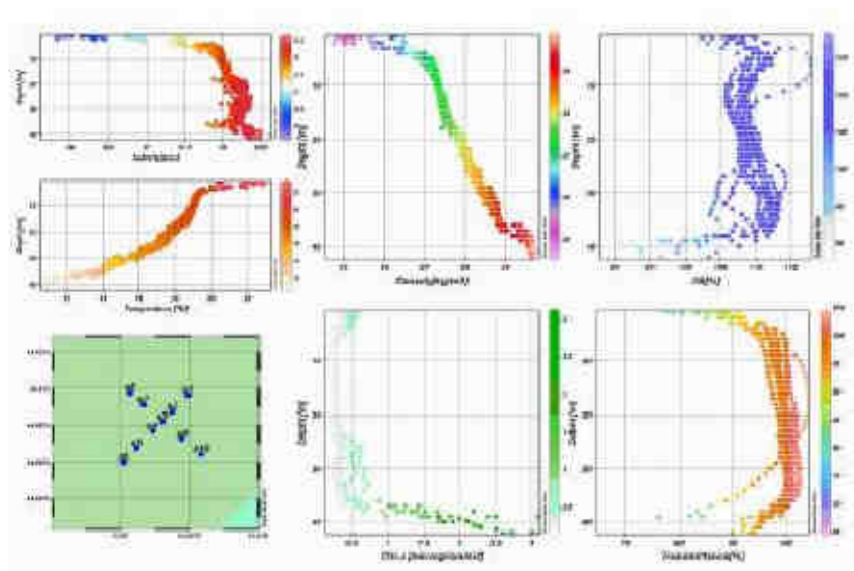


Figure 19 – Représentation des principaux paramètres acquis dans toutes les stations

L'évolution de cette variable laisse supposer que la masse d'eau est stable et qu'aucun processus de mélange n'est en cours.

2.3 – Le cas de la Toscane

L'ARPAT, aux termes de la Loi n°979/82 et du Décret législatif n°152/99, a mené des campagnes spécifiques de suivi du milieu marin-côtier, dans lesquelles ont été recueillies des données sur la transparence des eaux.

Selon les procédures spécifiées (Décret législatif n°152/99 et manuel "Méthodes Analytiques de référence" de l'ICRAM), dans chaque zone indiquée dans la figure 20, l'ARPAT a effectué des mesures de transparence des eaux, tous les quinze jours. Les chiffres ont été recueillis, pour chaque station indiquée, à trois profondeurs, le long d'un transept perpendiculaire à la ligne de la côte, choisi en fonction des différents types de fond sous-marin (haut, moyen, bas). Plus particulièrement, en avançant vers le Sud dans les zones du "Cinquale", "Nettuno", "Fiume Morto", "Foce Arno", "Rosignano Lillatro", "Marina di Castagneto", "Carbonifera", "Foce Ombrone", "Cala Forno", "Ansedonia" et "Mola" (Île d'Elbe), on effectue la mesure à 500 m (station I), 1000 m (station II) et 3000 m (station III) de la côte; dans la zone d' "Antignano" à 100 m (station I), 1000 m (station II) et 2200 m (station III) de la côte; dans la zone de "Livourne" à 200 m (station I), 1000 m (station II) et 3000 m (station III) de la côte et enfin dans la zone "Elbe Nord" à 100 m (station I), 1000 m (station II) et 2000 m (station III) de la côte.

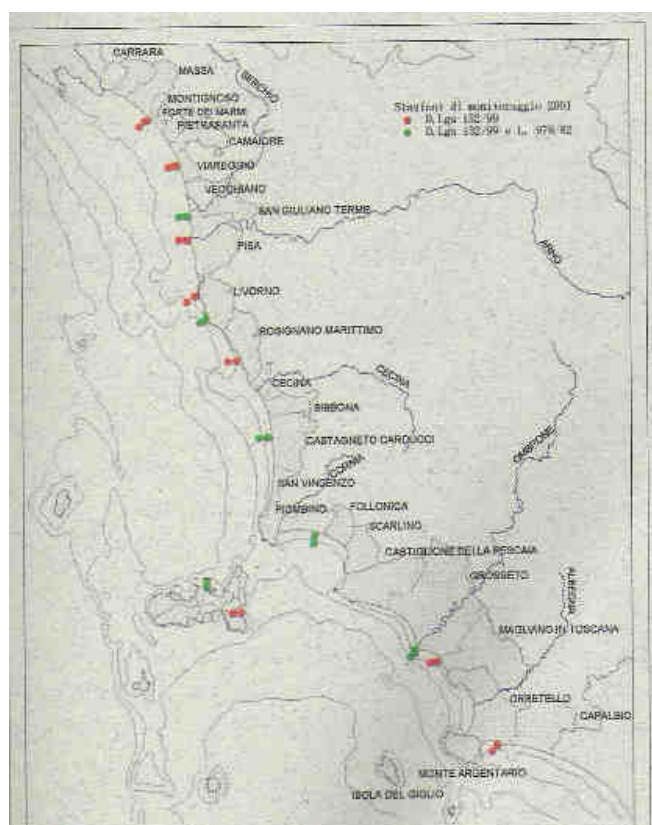


Figure 20 – stations de suivi des eaux marines côtières de Toscane à partir de juin 2001

Les valeurs indiquées dans le **tableau 7** sont en rapport avec la valeur moyenne calculée sur toute la colonne d'eau pendant les campagnes de suivi effectuées durant les années 2001-2005 dans les seules stations de la Province de Livorno.

Tableau 7 – valeurs moyennes de turbidité (FTU), calculées, pour chaque station, sur toute la colonne d'eau, pendant les campagnes de suivi de la période 2001-2005

Stations	Profondeur station < 5m	Profondeur station 5-50m	Profondeur station > 50m	Moyenne par station
Livourne port	2,4	1,2	0,8	1,5
Antignano	0,7	0,8	0,7	0,7
Rosignano Solvay	2,4	1,8	1,2	1,8
Marina di Castagneto	2,0	1,5	1,0	1,5
Carbonifera	1,2	0,9	0,7	0,9
Elbe Nord	0,4	0,4	0,3	0,4
Mola	0,8	0,5	0,5	0,6

En [Corradi et al. \(1981a\)](#), enfin, on trouve quelques chiffres relatifs à la transparence des eaux (recueillis au moyen de mesureur de transmission T2) et à la concentration de particules en suspension dans les eaux superficielles devant l'embouchure des fleuves Magra et Arno (tableau 8).

Tableau 8 - Concentrations de solide en suspension total et transparence des eaux à l'embouchure des fleuves Magra et Arno.

Zone d'étude	Transparence (% T/m)	Solide en suspension total (mg/l)
	Min-Max	Min-Max
Embouchure du fleuve Magra	46-68%	0,810-1,950
Embouchure du fleuve Arno	15-58%	1,027-3,440

Dans le cas du fleuve Magra, les données, recueillies en parallèle, indiquent une condition de grande uniformité, avec des valeurs de transparence qui vont de 46 à 68%, avec les zones les plus troubles localisées au large et au près de l'embouchure. Cette situation a été confirmée par les résultats relatifs au particule en suspension. Pour ce qui concerne les chiffres relatifs au particule en suspension, dont les valeurs de concentration vont de 0,810 à 1,950 mg/l, les auteurs suggèrent que la zone centrale subit les effets des apports du fleuve autant que ceux des eaux qui vient du large. La directrice du transport est vers l'Est. Pour ce qui concerne le fleuve Arno, les données indiquent pour la transparence une variation comprise entre 15 et 58% T/m (pourcentage de lumière par mètre), selon une direction prédominante du transport vers Nord-Ouest. Une zone plus au Nord, près de la côte, présente une transparence légèrement inférieure à celle des zones limitrophes, probablement due aux apports du fleuve Serchio. Les chiffres relatifs au matériau en suspension confirment les tendances déterminées pour le transport et présentent des valeurs allant d'un minimum de 1,027 mg/l à un maximum de 3,440 mg/l.

Plus en general, les études conduites par [Corradi et al. \(1981a\)](#) démontrent premierement que le rapport entre le matériau particulaire et la transmission de la lumière suit la courbe prévue, la transmission de la lumière augmentant à mesure que diminue le matériau en suspension. Deuxièmement ils prouvent que les dimensions du matériau en suspension sont également importantes pour déterminer la transparence des eaux ; à ce propos, en particulier, on a constaté que la diminution de transparence des eaux devant l'Arno (par rapport aux eaux devant le Magra) est due, principalement, à la taille inférieure du matériau transporté.

2.4. – Le cas de l'Est Macédoine et Thrace

Il n'existe pas de données systématiques de turbidité sur la région étudiée. Mais des données clairessemées de mesures de concentration des sédiments suspendus et de mesures au disque de Secchi existent pour la région de Keramoti. [Sylaios et al. \(2005\)](#) ont examiné la transparence de colonne d'eau, obtenue à partir des mesures au disque de Secchi, et ont constaté que, pour Keramoti, les valeurs varient de 3,5 m à 7,0 m, en corrélation modérée avec les concentrations de phosphate ($R = -0.66$). Des concentrations de sédiments suspendus ont été mesurées pendant la période 2003-2005, deux fois par mois, le long du littoral occidental du fleuve de Nestos, les valeurs allant de 4,70 mg/l en été à 12,16 mg/l en hiver (données de l'an 2004). La distribution des concentrations montre en outre l'impact du fleuve de Nestos sur le transport de sédiments et la distribution de turbidité dans ce secteur ([figure 21](#)).

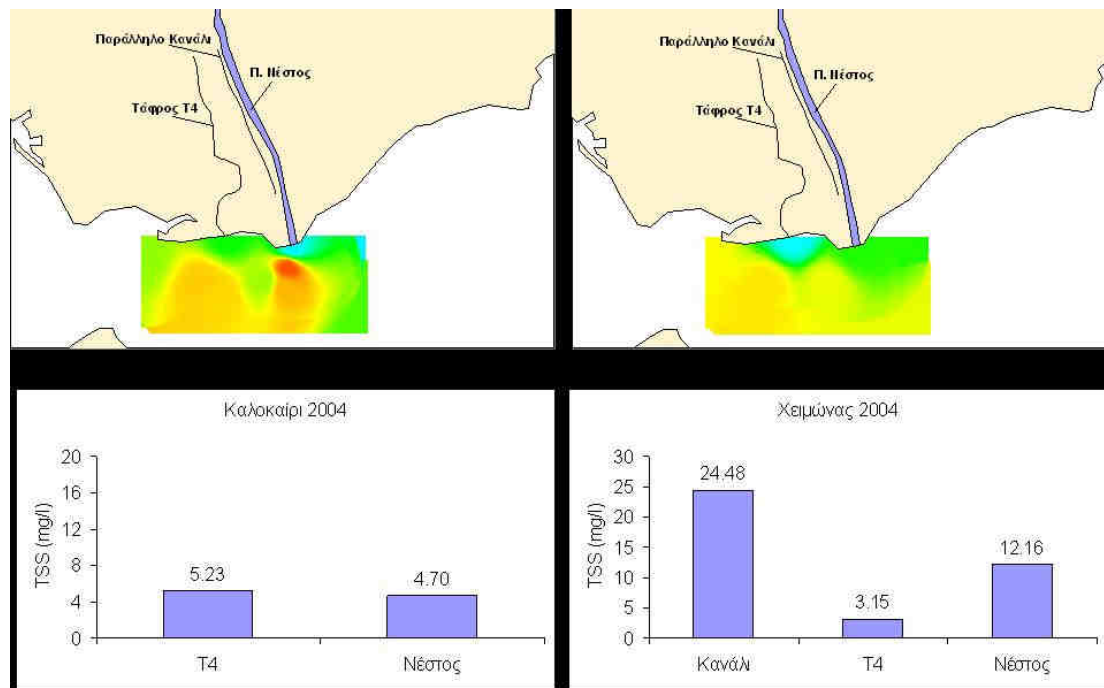


Figure 21- Distribution spatiale des sédiments suspendus pendant l'été et l'hiver 2004.

2.5. – Le cas de la Ligurie

Il ressort de la bibliographie précitée que l'étude de la sédimentation et de la turbidité des eaux est un thème qui a toujours intéressé la recherche en Ligurie.

Les études menées dans la Mer Ligure ne concernent pas seulement la situation actuelle des eaux et des sédiments; certains chercheurs se sont également intéressés à la puissance et aux modalités d'accumulation de la nappe sédimentaire pendant le Pliocène ([Barbatesa et al., 1982](#)), et ont décrit et analysé les différents bassins sédimentaires en mettant en évidence leur origine et leur évolution au cours des différentes ères géologiques ([Fanucci et al., 1986](#)).

Des travaux recensés, il résulte que la Mer Ligure est caractérisée par une grande variété de matériau en suspension ([Pierce et al., 1981](#); [Tucci, 1989b](#), [Aubert et al., 1990](#) ; [Tucci et al., 1992](#)).

La plate-forme de la Mer Ligure a été divisée, au cours des ans, en différentes zones à l'intérieur desquelles ont été menées des études visant à définir les caractéristiques des sédiments et du matériau particulaire. Par exemple, on a mesuré la concentration de matériau en suspension entre les bouches des fleuves Var et Roia; en outre, la dynamique du matériau en suspension a été étudiée par rapport aux mesures du courant et aux troubles fluviaux: pour ce faire on a défini les aréolaires marins d'influence de ces derniers ([Tucci et al., 1990](#); [1996](#)). Des études minéralogiques et sédimentologiques ont caractérisé la zone devant la commune d'Albenga, où l'on a cherché à établir l'influence du fleuve Centa lors des processus de sédimentation et de transport sur la plate-forme continentale ([Ferretti et al., 1991](#)). Dans la zone comprise entre Varazze et Capo Noli, on a également étudié la dispersion et la géochimie des sédiments. Les résultats ont démontré une étroite dépendance entre la dispersion et la morphologie de la plate-forme. Par exemple, l'île de Bergeggi influence la zone Ouest en interrompant la direction générale du transport dans cette zone, alors que le canyon de Vado Ligure est la voie préférentielle pour le transport de matériau vers le large ([Campi et al., 1989](#)). Dans la zone devant Gênes, les canyons conditionnent la sédimentation des zones profondes ([Corradi et al., 1988](#)).

Une enquête sur la concentration du matériau en suspension (S.P.M.) a été effectuée dans les eaux côtières entre la limite de l'Etat et Capo Mele ([Tucci et al., 1996](#)). Dans cette enquête ont été exécutés des échantillonnages d'eau au moyen de transects disposés perpendiculairement le long

de la ligne du rivage. Les données recueillies relatives à la concentration en matériau suspendu dans les eaux superficielles et profondes, qui sont différenciées en fraction organique et inorganique, les caractéristiques dimensionnelles du matériau suspendu, les études relatives aux parties argileuses, ont été mises en rapport avec la structure physique des eaux avec les mesures du courant relevées pendant la campagne.

Des études visant à définir les processus responsables du transport et du dépôt des sédiments et de leur contenu en métaux ont également été effectuées. Ces études sont un exemple de recherche visant à déterminer l'influence naturelle et anthropique sur les sédiments marins (Frache *et al.*, 1986 ; Ferretti *et al.*, 1992).

Des études sur la transmission de la lumière dans l'eau pour évaluer la concentration du matériau en suspension ont également été effectuées, à la fois en milieu naturel (Corradi *et al.*, 1981a) par des mesures en continu, et en laboratoire (Corradi *et al.*, 1981b).

Sont présentés, ci-dessous, certains des travaux d'intérêt spécifique pour l'étude dont il est question.

Pierce *et al* (1981), dans le cadre d'une étude conduite le long de la liaison Ligurie – Corse, ont mis en évidence des valeurs de TPM comprises entre un minimum de 0,634 mg/l et un maximum de 1,827, avec un net enrichissement dans la substance organique. Le composant d'origine terrigène a une incidence avec des pourcentages variables d'un maximum de 51% à un minimum de 25%. Les données relevées par les auteurs sont synthétisées dans le **tableau 9**.

Tableau 9 – Concentration de solide en suspension le long de la liaison Ligurie – Corse: fraction totale (TPM), fraction minérale (MSM), fraction organique (OSM) et incidence en pourcentage de la fraction minérale (Pierce *et al.*, 1981)

TSM (µg/l)	MSM (µg/l)	OSM (µg/l)	MSM (%)
1827	930	897	51
946	236	710	25
681	242	439	36
948	380	568	40
716	212	504	30
1196	338	858	28
1546	389	1157	25
1442	468	974	32
877	377	500	43
848	332	516	39
1013	373	640	37
634	244	390	38

Des études spécifiques concernant la caractérisation dynamique de la matière en suspension dans les eaux marines à l'embouchure des fleuves Var et Roia ont été menées par Tucci *et al.* (1990). Les auteurs présentent les conditions relevées au cours des différentes saisons. En été, le contenu de matière en suspension est peu élevé et est principalement lié aux apports fluviaux ; les valeurs moyennes de la totalité de la matière en suspension se situent aux alentours de 2 mg/l avec un pourcentage organique/inorganique variable, mais tous les échantillons prélevés ayant un pourcentage dépassant le 70% d'organique sont localisés au large ; en profondeur, puisque la sédimentation des apports terrigènes a été rapide, la quantité d'organique dépasse toujours 75%. En automne, des valeurs élevées, supérieures en moyenne à 4 mg/l, ont été enregistrées, avec

des contenus légèrement supérieurs dans les eaux de surface. En hiver, la matière en suspension est, en moyenne, supérieure à 4mg/l, avec des concentrations légèrement supérieures dans les eaux de surface. Les quantités les plus importantes sont présentes dans des échantillons en face du fleuve Var, avec un maximum de 35mg/l, alors que les apports moins importants semblent être liés au fleuve Roia avec des teneurs de l'ordre de 5mg/l. Des valeurs élevées sont présentes dans le bras de mer en face de Monaco, avec des quantités de matière en suspension supérieures à 10 mg/l. Au printemps enfin, la matière en suspension présente dans les eaux de surface a, en moyenne, des valeurs peu élevées (2mg/l) et une dominante organique comprise entre 50 et 80%. Les contenus supérieurs aux contenus moyens se limitent à deux zones : la première, avec 11,5 mg/l est limitée à l'embouchure du fleuve Var, et la deuxième est localisée au large du cap Ferrat ; on ne relève pas d'apports importants liés au fleuve Roia, avec des contenus légèrement supérieurs à 2 mg/l à l'embouchure. Les résultats des analyses dimensionnelles effectuées sur les particules en suspension ont mis en évidence que les facteurs qui influencent saisonnièrement la colonne d'eau ne changent pas (spectres granulométriques récurrents au cours des différentes saisons et coïncidant pendant les croisières estivales). C'est seulement l'importance de leur incidence qui varie. En correspondance aux plus grands apports des deux cours d'eau, on assiste, dans les secteurs d'influence fluviale, à un déplacement vers la fin des spectres (unimodaux), avec le mode qui, initialement centré aux alentours des 20 μm (donnés été et printemps), passe à 12/15 μm (donnés automne et hiver). Pendant les périodes où l'apport terrigène est limité, les eaux d'haute-mer (du large) présentent des spectres fortement asymétriques et centrés sur 50/60 μm ainsi que de hautes concentrations d'organique (% > 70%). La présence entre les deux embouchures fluviales de spectres plurimodaux, indicateurs de populations granulométriques différentes, laissent à penser que dans cette zone, le sédiment en suspension est lié à différents facteurs comme les apports des cours d'eau, l'introduction en suspension de substance organique de la côte et la présence de plancton. Plus particulièrement, le mode centré sur les 20 μm peut reconduire aux apports fluviaux, alors que celui centré sur les 60 μm semble être lié à la présence de plancton, comme l'indiquent également les spectres relatifs aux stations plus au large qui associent des particules plus importantes de 60 μm à des fractions organique > à 70%. La situation relevée en profondeur n'indique pas de variations substantielles ; la présence de particules de petites dimensions diminue, et à 50 et 200 m, on ne trouve pas de fractions < à 10 μm . Les auteurs supposent, en conclusion, que la rapide sédimentation à l'embouchure, pendant les mois estivaux et automnaux, est liée aux fortes concentrations de matière en suspension et à la prépondérance de la fraction fine qui tend à favoriser les processus de floculation.

Une enquête menée pour la caractérisation dynamique de la matière en suspension entre Alassio et Vintimille (Tucci et al., 1996) a mis en évidence des concentrations de matière en suspension totale qui varient entre 0,77 et 2,77 mg/l. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à proximité de la côte, dans une zone directement influencée par les apports du fleuve Centa ; on détermine de cette manière, une direction d'apport parallèle à la côte et provenant du NE.

Sur l'ensemble du secteur soumis à l'étude, l'isoline de 1,5 mg/l met en évidence la présence de certains apports du large : les deux premiers entre San Remo et Imperia arrivent du Sud et un troisième, dans la zone en face de Capo Mortola a une direction SSO-NNE.

La fraction organique de la matière particulaire en suspension a été reconstituée avec des valeurs variant entre un maximum de 1,92 et un minimum de 0,44 mg/l et avec des pourcentages variant entre 92,5% et 46,6% : la carte de distribution a un cours semblable à celui relatif à la matière en suspension totale.

Les valeurs de matière particulaire en suspension dans la couche d'eau donnant immédiatement sur le fond sont comprises entre 0,41 et 2,44 mg/l.

Il a été relevé une correspondance entre les spectres asymétriques et la présence d'un nombre limité de particules toutes de grandes dimensions; les spectres plurimodaux résultent, par contre, être constitués d'un grand nombre de particules avec une composante prépondérante de petites dimensions (1-2 μm).

Certaines données sur les concentrations de matière en suspension totale, de fraction minérale et de fraction organique dans la mer ligure (Méditerranée Nord-occidentale), sont reportées dans

Pierce *et al.* (1981). Les auteurs trouvent pour le TSM une valeur moyenne de 1,740 mg/l, avec une composante minérale égale à 33%. Le détail des données discutées par les auteurs est reporté dans le **tableau 10**:

Tableau 10 - Valeurs de concentration de solide en suspension total (TSM), de la fraction minérale (MSM) et de la fraction organique (OSM) et incidence en pour cent de la fraction minérale dans la mer ligure (Pierce *et al.*, 1981)

Dates des relevés	TSM (µg/l)		MSM (µg/l)		OSM (µg/l)		MSM (%)	
	moyenne	min-max	moyenne	min-max	moyenne	min-max	moyenne	min-max
octobre 1978	1195	481-4219	441	128-2560	754	192-2745	36	21-63
novembre 1978	1618	571-5227	858	338-2228	760	233-3007	55	42-73
ALL. 1978	1303		541		761		40	
septembre 1979	2267	150-6365	536	45-1415	1731	93-4950	26	8-66
juin 1979	1610	463-7048	261	57-2524	1349	406-4524	17	11-37
Tous les échantillons	1740		530		1210		33	

Des études spécifiques ont été menées dans la mer ligure afin de mettre en évidence les caractéristiques générales de la distribution et du transport de la matière en suspension dans les canyons de Gênes (Piccazzo *et Tucci*, 1983). Les échantillonnages effectués en 1978 et en 1979 dans les eaux de surface de la mer ligure ont montré des valeurs de matière particulaire totale (TP) variant entre 0,5 et 7 mg/l, avec la plus grande fréquence de valeurs comprise entre 1 et 2 mg/l. Les analyses effectuées pendant l'été de 1980 présentent des valeurs généralement hautes et variant entre 1,5 et 9 mg/l, avec plus de 50% des échantillons contenant de 3 à 4 mg/l. Les échantillons avec des valeurs élevées et supérieures à 6 mg/l sont localisés le long de l'axe des deux canyons et aucun apport évident de la côte n'est manifeste. Les lignes d'isoconcentration suivent en règle générale le cours des isobathes mettant ainsi en évidence une relation entre morphologie du fond et quantité de matière en suspension. On observe une source de matière seulement dans la zone à proximité immédiate du port, mais on ne remarque pas de traces évidentes de diffusion vers le large ; les plus grandes valeurs sont localisées le long de l'axe des canyons à environ 5 Km du rivage.

Enfin, des études ont été menées dans le bras de mer compris entre les embouchures des fleuves Magra et Arno (Corradi *et al.*, 1982) afin d'évaluer la concentration de matière en suspension et ce, grâce à des d'études sur la transmission en continu de la lumière en milieu naturel.

Dans la zone étudiée, il a été analysé l'influence sur la transparence de l'eau en considérant homogène la situation de base en face des cours d'eau. Les mesures de transmission de la lumière ont été mises en relation avec celles quantitatives du contenu de matière présente dans les eaux de surface. L'analyse de la situation a été limitée au jour du prélèvement pour vérifier la possibilité d'une analyse dynamique du transport. Il a été créé un réseau de colonnes avec des échantillonnages d'eau en profondeur pour mettre en évidence les modalités du transport dans toute la masse. En même temps, ont été relevées les données physiques et la situation météorologique, en analysant également les données relatives aux jours précédents. De plus, il a été effectué au même moment le prélèvement d'eaux de surface afin d'obtenir la mesure quantitative présente de matière particulaire totale, organique et inorganique. Les mesures en continu d'absorption de la lumière ont été faites au moyen du transmissiomètre « T2 ».

Une synthèse des données à propos de la turbidité naturelle dans la mer ligure est reportée dans le **tableau 11**.

Tableau 11 - Synthèse des données disponibles dans la littérature sur la turbidité naturelle (concentration de solide en suspension total, mg/l) dans la mer Ligure.

Zone d'étude	Référence bibliographique	Moyenne	Min-Max
Ligne de liaison Ligurie-Corse	Pierce <i>et al.</i> , 1981	1,06	0,63-1,83
Canyons de Genova	Pierce <i>et al.</i> , 1981	-	0,5-9
Entre les embouchures des fleuves Var et Roia	Tucci <i>et al.</i> , 1992	2 (été et printemps) >4 (automne et hiver)	
Entre Alassio et Ventimiglia	Tucci <i>et al.</i> , 1996	-	0,77-2,77 (niveau superficiel) 0,41-2,44 (niveau profond)
Mer Ligure	Ferretti <i>et al.</i> , 1989; Budillon <i>et al.</i> , 2001	1,89	

3 – LES HABITATS À PROTÉGER

3.1 Les Phanérogames marines

Ces dernières années, l'attention s'est plus intensément concentrée sur la conservation d'habitats sensibles comme les herbiers à phanérogames.

Les phanérogames marines sont des plantes munies d'une tige, de racines et de feuilles capables de donner naissance à des herbiers qui couvrent environ 0,1-0,2% des océans (Duarte, 2002). Elles vivent dans la zone intertidale et peuvent atteindre des profondeurs maxima de 50 m, dans les zones où l'eau est très transparente. Elles présentent une série d'adaptations qui leur permettent de vivre sous l'eau. Elles absorbent les nutriments pour leur croissance du substrat (à travers les racines) ou de la colonne d'eau (à travers la dense "couverture" foliaire). Comme tous les organismes photosynthétiques, les herbiers de phanérogames fixent l'anhydride carbonique (CO₂) et, en exploitant l'énergie solaire, la transforment en carbone organique, qui est utilisé pour la croissance des plantes comme pour la production de la biomasse. La production de taux élevés de biomasse comporte, en outre, une production de taux élevés d'oxygène (sous-produit de la photosynthèse), qui est libéré dans les eaux environnantes. La biomasse de certaines phanérogames, en outre, en se décomposant très lentement, permet d'emmagasiner des quantités significatives de carbone dans le substrat pendant de longues périodes. Dans les océans la production primaire des phanérogames représente seulement 1% de la production totale, mais elles sont capables de produire à elles seules 12% de la quantité totale de carbone emmagasiné dans le substrat. En ce qui concerne leur cycle de reproduction, il se déroule, toujours en immersion, par reproduction de type sexué et/ou asexué (Terrados et Borum, 2004).

Ces herbiers ont une grande importance au plan écologique et environnemental (biodiversité élevée d'organismes animaux et végétaux, contrôle de la transparence des eaux littorales et stabilité de la ligne du rivage):

- les herbiers sont des habitats clé dans le cycle vital de nombreux organismes. Par exemple, les larves de certains crustacés (comme les écrevisses) et les individus jeunes de nombreux poissons (dont certains ont une grande valeur économique) les utilisent comme "nursery", parce qu'une grande quantité de nourriture y est disponible et qu'ils peuvent servir de refuge contre les prédateurs éventuels. Ces herbiers sont donc une ressource économique précieuse, surtout pour les activités liées à la pêche commerciale;
- la dense couverture ("canopy") de feuilles en réduisant le mouvement des eaux et en favorisant la rétention des particules suspendues transforme les herbiers en une sorte de filtre pour les eaux. La capacité de piéger les particules est également accrue par l'activité des épiphytes foliaires qui s'en nourrissent. Ainsi les herbiers sont en mesure d'exercer un contrôle sur la transparence des eaux, en déterminant une augmentation de la disponibilité de lumière qui facilite leur croissance et celle des épiphytes qui leur sont associés;
- les feuilles et le réseau dense de rhizomes et de racines, en fixant et en piégeant le sédiment sur lequel poussent les herbiers, réduisent la remise en suspension du sédiment par les vagues et les courants, en stabilisant ainsi la ligne du rivage (Terrados et Borum, 2004).

La présence et l'abondance des herbiers peut donc être considérée comme un indicateur de la qualité du milieu côtier. Par conséquent, il faut attribuer une haute priorité à leur conservation dans la gestion des côtes (Turner et Schwarz, 2006). A cet égard, de nombreux pays ont introduit des politiques de l'environnement très rigoureuses, qui disciplinent les activités anthropiques afin d'éviter de nouveaux dégâts ou altérations de ces habitats sensibles. C'est pour cette raison qu'en 2002 a été officiellement constituée "World Seagrasses Association" (WSA), créée en vue d'intensifier les études sur les phanérogames et leur sauvegarde au niveau mondial (Buia et al., 2003).

Actuellement on observe une forte régression des herbiers, due à des causes naturelles et anthropiques. Les impacts anthropiques peuvent être indirects (réchauffement global, élévation du niveau de la mer, augmentation du CO₂) ou directs (construction et entretien d'infrastructures le long des zones littorales, dragages, rechargements, eutrophisation, phénomènes de sédimentation et aquaculture) (Duarte, 2002; Duarte *et al.*, 2004).

Le but de cette étude est de mettre en évidence, selon les données fournies par la littérature, les effets des perturbations anthropiques (indirectes et directes) sur le développement des herbiers à phanérogames (et en particulier sur les herbiers à *Posidonia oceanica*).

Impacts indirects

Les changements globaux qui peuvent, potentiellement, entraîner des effets nuisibles sur le développement et la distribution des herbiers à phanérogames sont dus, principalement, au réchauffement global, à l'élévation du niveau de la mer, à l'augmentation de l'anhydride carbonique (CO₂) dans l'atmosphère et à l'augmentation de la fréquence des tempêtes et des ouragans. On a donc envisagé un "status" futur de développement des herbiers en 2025 (Duarte, 2002; Duarte *et al.*, 2004).

La hausse prévue de la température de 0,5 °C en 2025 pourrait causer une série d'effets négatifs sur le milieu marin et donc sur les herbiers. En effet, la température n'influe pas seulement sur la plupart des fonctions métaboliques, de croissance et de reproduction, mais aussi sur la distribution biogéographique et sur l'abondance des différentes espèces.

La hausse de la température pourrait provoquer, en outre, l'élévation du niveau de la mer d'environ 0,5cm yr⁻¹, due à l'expansion thermique des océans et, dans une moindre mesure, à la fonte des glaciers. Il pourra y avoir une série d'implications qui intéresseront la circulation des courants, l'amplitude des marées, la salinité, l'érosion côtière et la turbidité des eaux et à son tour chacune de ces causes pourrait avoir des effets négatifs directs sur les herbiers.

En ce qui concerne, par contre, l'augmentation du CO₂, dessous dans l'eau, on envisage son effet sur le processus de la photosynthèse. On suppose en effet pour l'année 2025 un accroissement de 25% de CO₂ (de 290ppm à 360ppm) avec augmentation de la photosynthèse pouvant atteindre 20%.

Enfin, le réchauffement global pourrait causer une augmentation de la fréquence des tempêtes et des ouragans, avec pour conséquence un accroissement de l'érosion côtière, de la remise en suspension des sédiments et de la turbidité des eaux. Ce qui pourrait comporter une réduction de la disponibilité de lumière pour la photosynthèse, menaçant ainsi le développement et la survie des herbiers.

Actuellement, toutefois, les connaissances limitées sur les changements globaux futurs de l'environnement, le manque de modèles quantitatifs qui prévoiraient les modifications des facteurs environnementaux, et l'absence d'une connaissance réelle de l'extension des herbiers à phanérogames, ne nous permettent que des prévisions qualitatives sur le "status" des herbiers pour l'année 2025.

Impacts directs

Au cours des dernières décennies, on a évalué une régression d'environ 18% des herbiers à phanérogames connus, surtout à proximité des grands centres urbains, industriels et portuaires. La cause principale de cette régression est probablement étroitement liée à l'augmentation de la pression anthropique le long des côtes (décharges d'eaux usées, aquaculture, chalutage, travaux côtiers) qui, en augmentant la charge sédimentaire ainsi que les nutriments dans la colonne d'eau, entraînent un accroissement de la turbidité et une pénétration diminuée de la lumière, à laquelle s'associe une forte diminution de la photosynthèse des phanérogames. La lumière est en effet considérée comme le facteur principal de contrôle de la distribution et de l'abondance des herbiers à phanérogames ; en effet, pour leur survie elles ont besoin de plus de 11% de la lumière incidente

et ce facteur en limite beaucoup la profondeur marine de colonisation et le développement (Duarte *et al.*, 2004).

Il est donc important d'avoir un tableau général plutôt complet des impacts (comme l'apport augmenté de sédiment) à considérer au nombre des causes principales de la régression des herbiers (Short et Wyllie-Echevierra, 1996).

Dans la mer hollandaise de Wadden, Giensen *et al.* (1990) ont mis en évidence 3 différentes périodes qui ont entraîné une forte régression des herbiers à *Zostera marina*. La première en 1930, due à un facteur pathogène qui a abouti à une extinction quasi totale des herbiers. La seconde, de 1927 à 1932, à la suite de travaux de dragage pour la construction d'une digue (de 30 km de long), dans le Zuiderzee, qui a déterminé une réduction de la transparence des eaux (pendant plusieurs années) à cause du déversement en mer de matériau fin. A la suite de cette construction, en outre, des modifications hydro-géographiques et géomorphologiques de toute la zone se sont produites, avec des changements de direction des courants et des flux de marée. La troisième, en 1961, pour la construction d'un réseau de canaux dans la zone de Matzwin-Wierbalg. Le matériau mis en suspension détermina une augmentation de la turbidité avec altération des processus de sédimentation.

Des études effectuées dans différentes zones littorales des Etats-Unis ont montré que la perte complète d'herbiers à phanérogames a été le résultat de l'intense urbanisation côtière, associée à des décharges industrielles, des dragages et des rechargements. Dans la Laguna Madre (Texas, USA) Montagna *et al.*, 1998 ont mis en relief une étroite relation entre les activités de dragage, pour la construction de canaux d'irrigation, et la régression totale des phanérogames. L'augmentation de la turbidité, causée par une remise en suspension de matériau fin, réduisait la disponibilité de lumière et donc la photosynthèse. Es résultats obtenus ont montré que la réduction de la lumière était plus forte de un à trois mois après les opérations de dragage, mais durait plus de 15 mois. En outre, bien que les effets du dragage fussent plus visibles près des zones d'excavation, la turbidité était évidente jusqu'à 1,2 km de distance. En outre, Sheridan, (2004) a observé que la reprise des herbiers, près de la zone de dragage, où l'impact était le plus fort, commençait au bout de 2 ans et devenait plus évidente la troisième année. Cela était également dû à l'influence d'autres paramètres tels que la vitesse du vent, les courants et la présence de substance toxiques pour les herbiers (ammonium et sulfure). Des taux élevés d'ammonium (> 900µM) ont en effet encore été relevés dans le sédiment 3 ans après la fin des activités.

Dans la Baie de Chesapeake (Maryland, USA) la disparition des herbiers à *Zostera marina* et à *Ruppia maritima* est due à l'intensification de phénomènes d'eutrophisation associés à de fortes charges sédimentaires et à des taux élevés de contaminants, qui ont entraîné une forte augmentation de la turbidité (Dennison *et al.*, 1993; Stevenson *et al.*, 1993)

Ces dernières années en Australie, plus de 45.000 ha d'herbiers à phanérogames ont été perdus. Cette perte a été attribuée en grande partie à une moindre transparence des eaux littorales (Kendrick *et al.*, 2002). Kirkman (1997), Carrhuthers *et al.* (2002) et Westphalen *et al.* (2005) ont souligné que le dragage, pour la construction de canaux, de ports et pour le rechargement, près d'herbiers à phanérogames, a eu un effet direct sur les herbiers, en les faisant totalement disparaître, ou un effet indirect causé par la remise en suspension de matériau fin (engendré principalement par les activités de dragage). La remise en suspension déterminait une augmentation de la turbidité ainsi que des phénomènes de sédimentation. La turbidité, en atténuant la pénétration de la lumière, réduisait la photosynthèse, influant négativement sur le taux de croissance des feuilles et sur la densité des faisceaux, tandis que la redéposition du matériau fin sur les plantes (sédimentation), dans les cas les plus extrêmes, entraînait leur ensevelissement. En outre, ces Auteurs ont démontré que l'accumulation de nutriments dans la colonne d'eau (eutrophisation) a été la cause de la régression des herbiers, car elle déterminait un accroissement d'invertébrés encroûtants sur les feuilles et par conséquent une diminution de la capacité des plantes d'effectuer la photosynthèse.

Dans le Sud-Est Asiatique également, le développement économique intense et l'augmentation de la population ont produit une intensification de l'exploitation des ressources naturelles et des écosystèmes. L'une des conséquences de l'exploitation a été la déforestation de la région (on a estimé en effet une perte de forêts allant de 50% à 70% du total) et un accroissement des activités anthropiques le long de la côte (par exemple la construction de canaux de drainage). La déforestation et les activités anthropiques associées à de très fortes pluies ont provoqué, en général, un déversement le long des côtes de grandes quantités de sédiment fin. Ce déversement est considéré comme une des principales causes de la perte d'herbiers à phanérogames dans plusieurs zones côtières du Sud-Est Asiatique (Terrados *et al.*, 1998). Ces Auteurs ont effectué des études, en particulier, sur différents sites des Philippines et de Thaïlande, dans lesquels les stations examinées ont été placées près de zones influencées par une forte concentration de silt et d'argile provenant des fleuves et/ou d'activités anthropiques. En général, ces Auteurs ont observé que les herbiers les plus florissants qui produisaient une plus grande biomasse se développaient sur un sédiment à teneur en silt et argile <15%. A l'augmentation de ce pourcentage s'associait toujours une diminution de la production en biomasse et une forte régression des herbiers. Cette corrélation négative entre l'augmentation du pourcentage de silt et d'argile dans le sédiment et la régression des herbiers suggérait qu'ils sont très sensibles aux fortes concentrations de particules fines dans la colonne d'eau. Cela est dû surtout au fait que ce processus détermine une pénétration moindre de la lumière (à cause du sédiment mis en suspension) et une augmentation des nutriments (développement accru d'épiphytes foliaires). En outre, l'augmentation des dépôts sédimentaires pouvait même entraîner l'ensevelissement des herbiers.

3.2 La *Posidonia oceanica*

La *Posidonia oceanica* est une phanérogame endémique qui recouvre de 25.000 à 45.000 km² des zones côtières correspondant à 23% des fonds sous-marins à une profondeur comprise entre 0 et 45m dans des eaux très transparentes (Pasqualini *et al.*, 1998).

La *P. oceanica* est donc une plante marine analogue aux plantes supérieures terrestres et, par conséquent, elle se compose d'une tige (rhizome), de feuilles et de racines.

Elle a une reproduction sexuée, par fécondation des fleurs et formation de fruits et de graines, et une reproduction asexuée par fragmentation des rhizomes.

La tige, généralement immergée dans le sédiment et pour cela appelée rhizome, peut pousser horizontalement (croissance plagiotrope) ou verticalement (croissance orthotrope), échappant dans une certaine mesure à l'ensevelissement du fond et donnant naissance à une formation typique en "terrasse" appelée selon le terme français "matte". La "matte" est formée d'un entrelacs de plusieurs couches de vieux rhizomes et de racines et de sédiment emprisonné entre les rhizomes et les racines et fortement compacté. La partie la plus haute de cette stratification est recouverte des faisceaux vivants de la plante. A la suite d'une dégradation des conditions du milieu, qui peuvent faire dégénérer et mourir les plantes, la "matte" persiste avec le seul entrelacs des rhizomes et des racines mortes ("matte" morte). L'élévation de la matte est estimée en moyenne à 1 mètre par siècle.

A la partie supérieure de chaque rhizome se trouve l'apex végétatif dont partent les feuilles organisées en touffes: chaque touffe est composée de 6 ou 7 feuilles rubanées disposées en éventail avec les plus vieilles et les plus longues placées à l'extérieur et les plus jeunes et les plus courtes placées à l'intérieur. Les feuilles, d'un vert intense, ont en moyenne 1 cm de largeur et peuvent dépasser un mètre de longueur.

Les racines, qui naissent du rhizome, pénètrent dans le substrat et ont une fonction d'ancrage et d'absorption des substances nutritives.

La *Posidonia oceanica* colonie de vastes zones des fonds sous-marins méditerranéens en formant de véritables herbiers submergés. La "marge supérieure" des herbiers, c'est-à-dire la profondeur

minimum à laquelle on peut trouver la plante, est située à des profondeurs extrêmement variables selon la zone et peut atteindre quelques mètres de profondeur, tandis que la “marge inférieure”, c’est-à-dire la profondeur maximum atteinte par les herbiers dans des eaux particulièrement limpides, peut dépasser 40 m.

Les herbiers à *P. oceanica* constituent l’une des composantes fondamentales de l’équilibre et de la richesse du milieu littoral côtier. Cette phanérogame, en effet, joue un rôle écologique extrêmement important en mer, que l’on peut schématiser comme suit:

- Elle produit de l’oxygène: un mètre carré d’herbier, dans de bonnes conditions, produit de 4 à 20 litres d’oxygène en 24 heures;
- Elle donne lieu à une production primaire élevée: avec environ 38 tonnes de poids sec par hectare par an les herbiers à *P. oceanica* sont considérés comme les plus forts concentrateurs de matière vivante de la Méditerranée. Une partie de cette production, sous la forme de feuilles mortes, est transportée par les vagues et par les courants vers d’autres écosystèmes;
- C’est un milieu extrêmement riche et diversifié: le peuplement de *P. oceanica* est caractérisé par la présence de faune sessile (principalement animaux et végétaux épiphytes), faune sédentaire, vagile et mobile;
- C’est une importante zone de reproduction pour de très nombreuses espèces d’invertébrés et de poissons;
- Elle stabilise les fonds mobiles et défend les côtes contre l’érosion. Les vagues et les courants orthogonaux sont en effet amortis par l’action freinante de la “matte” et des feuilles, épaisses et hautes, et le sédiment en transit est retenu en partie par les feuilles et par le système rhizomes-racines. L’efficacité de la protection offerte au littoral par les herbiers à *P. oceanica* est démontrée par les conséquences en chaîne qui peuvent être déclenchées par leur disparition: instabilité et excavation des fonds, érosion ou engorgement des plages, ensablement des ports, etc.

Vu la sensibilité particulière de cette biocénose aux altérations des caractéristiques du milieu, et du fait qu’elle représente le peuplement végétal le plus étendu et le plus commun du plan sub-littoral méditerranéen, les herbiers à *P. oceanica* sont normalement utilisés comme indicateur biologique ([Pergent, 1991](#); [Pergent et al., 1995](#)) pour les altérations des caractéristiques du milieu et les impacts d’origine anthropique ([Ardizzone et Pelusi, 1984](#); [Augier et al., 1984](#); [Porcher, 1984](#), [Bourcier, 1989](#); [Peirano et Bianchi, 1995](#)).

Différentes techniques et différents paramètres ont été mis au point pour permettre de mesurer et de quantifier le degré d’altération des herbiers:

- Le pourcentage de couverture: sur un substrat meuble un herbier en excellent état peut recouvrir 100% du fond sous-marin qu’il occupe. Sur un substrat rocheux la couverture du fond sous-marin n’est jamais complète même en l’absence d’éléments perturbants. Donc toute interprétation doit se baser sur la comparaison avec des zones de référence.
- La densité foliaire estimée par calcul du nombre de faisceaux foliaires par mètre carré. On adopte généralement la méthode de classification proposée par [Giraud \(1977\)](#):
 - Type I: plus de 700 faisceaux au m² – Herbier très dense
 - Type II: 400 - 700 faisceaux au m² – Herbier dense
 - Type III: 300 - 400 faisceaux au m² – Herbier clairsemé
 - Type IV: 150 - 300 faisceaux au m² – Herbier très clairsemé
 - Type V: 50 - 150 faisceaux au m² – Semi-herbier

Au-dessous de 50 faisceaux par mètre carré on ne peut plus parler d’herbier.

En outre, de la densité des faisceaux dépend la façon dont se présente la limite inférieure:

- Limite progressive: la couverture est $<50\%$ et l'herbier se raréfie progressivement en profondeur
- Limite nette: la couverture est $>50\%$ et les rhizomes ont une croissance verticale
- Limite érosive: la couverture est presque de 100% mais les courants de fond érodent l'herbier en empêchant son extension vers des profondeurs supérieures

La marge inférieure est un important élément d'évaluation de la qualité des eaux, car elle constitue la limite de la zone sub-littorale. Elle est placée, en conditions optimales, à plus de 40 mètres de profondeur et remonte vers des profondeurs inférieures principalement lorsque diminue la transparence des eaux.

Vu l'importance des herbiers à *Posidonia oceanica* dans le milieu marin côtier, il existe des lois, nationales et internationales, qui ont pour but de prévenir tout type d'ouvrage entraînant la dégradation ou la destruction de la *P. oceanica* (Directive "Habitat" 92/43 CEE du 21 mai 1992, UNEP Mediterranean Action Plan du 19 mars 2001), afin de sauvegarder la qualité du milieu marin, de prévenir l'extinction des ressources biologiques menacées des fonds sous-marins et d'assurer la conservation des biotopes littoraux. .

Effets induits sur l'herbier à Posidonia oceanica

L'accroissement de la pression anthropique (environ les 2/3 de la ligne de côte sont urbanisés) est à considérer comme l'une des causes principales de la régression des herbiers à *Posidonia oceanica* en Mer Méditerranée (UNEP, 1989; 1996; Duarte *et al.*, 2004; Fernandez-Torquemada et Sanchez-Lizaso, 2005; Leoni *et al.*, 2006). En effet, leur localisation (près de la côte les expose aux dommages entraînés par les activités anthropiques qui affectent la bande littorale comme les décharges d'eaux usées (généralement riches en substances eutrophisantes et polluantes), l'aquaculture, le chalutage, les mouillages. En outre, la construction de certains types d'ouvrages, comme les « pennelli ». peut modifier localement le comportement des vagues et des courants, en interagissant avec les processus de transport littoral qui gouvernent la distribution des sédiments en mer, d'où les répercussions possibles sur l'écosystème marin en général et sur les herbiers à *P. oceanica* en particulier.

Dans le cas de rechargement, les effets attendus sur les herbiers à *P. oceanica* sont essentiellement ceux qui sont liés à l'augmentation de la turbidité de l'eau et à l'ensevelissement possible par suite du déplacement intensifié des sédiments du fond à cause du reflux du sable, le sédiment qui vient d'être déposé étant peu compacté.

Il découle de cet exposé qu'il est important d'avoir un tableau complet des phénomènes de suspension et de précipitation du sédiment et de la réponse des herbiers à *P. oceanica*. En effet, parmi les espèces de phanérogames présents en Mer Méditerranée, la *P. oceanica* est l'espèce la plus importante, pour la complexité et l'extension de ses herbiers.

Effets induits sur la Posidonia oceanica par la turbidité et le taux de sédimentation

Les caractéristiques générales des herbiers à *Posidonia oceanica*, telles que la limite inférieure de profondeur, la densité des faisceaux, la production primaire et la morphométrie des feuilles, sont souvent utilisées comme indicateurs d'éventuels impacts anthropiques et/ou naturels (Pergent *et al.*, 1995; Casola *et al.*, 2003).

Des études ont récemment été effectuées selon la technique de la lépidochronologie, qui permet une évaluation rapide de la production foliaire et des changements relatifs possibles dans le temps (Guidetti et Fabiano, 2000; Peirano *et al.*, 2005). La diminution de la densité des faisceaux, en

effet, peut influencer sur la structure et la fonctionnalité des communautés animales et végétales associées à l'herbier (Zupo *et al.*, 2006).

Des enquêtes menées sur quelques sites dans l'île d'Ischia (Guidetti et Fabiano, 2000) et dans la zone de Travello (Mer Ligure) (Guidetti, 2001) ont montré que le déversement de matériau très fin, à la suite de rechargements effectués le long de la côte, peut influencer directement sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. En particulier, on a observé une diminution de 20% dans la production foliaire primaire durant l'année qui a suivi le déversement. Cela était dû à une atténuation de la pénétration de la lumière à cause d'une augmentation de la turbidité entraînée par ces activités. Les chiffres obtenus par Guidetti (2001) ont toutefois montré que le taux de croissance des rhizomes ne subissait pas de changements dans l'espace ni dans le temps à la suite des activités de rechargement et que la production foliaire reprenait au bout de deux-trois ans après la cessation de ces activités.

D'autres études sur la turbidité ont été effectuées le long des côtes espagnoles par Ruiz et Romero (2003). Ces Auteurs ont montré que la diminution de la lumière a entraîné une régression de 20% d'un herbier à *P. oceanica* situé près d'un port de commerce dans la Baia di Levante (Espagne), près de laquelle ont été aussi effectuées des opérations de rechargement. Les chiffres obtenus indiquaient que la réduction de la luminosité était directement responsable de la diminution de densité des faisceaux et de production en biomasse de l'herbier, surtout dans les stations situées à l'intérieur du port, où l'impact était le plus fort. Cet effet était dû probablement à une augmentation significative de la turbidité causée par la déposition dans le port des eaux de trouble, provenant des décharges de la terre, et par la remise en suspension de sédiments à haute concentration de silt (sous l'effet des vagues de marée et des tempêtes provoquées par les vents d'Est). La forte turbidité a été expliquée, en outre, par une augmentation de la concentration des nutriments dans la colonne d'eau, qui non seulement ont produit un fort développement du phytoplancton, mais aussi ont stimulé une croissance rapide des épiphytes foliaires, déterminant une réduction de photosynthèse des plantes.

La charge sédimentaire élevée, qui découle d'activités anthropiques, ne comporte pas seulement une augmentation de la turbidité et de la concentration des nutriments dans la colonne d'eau, mais aussi une croissance du taux de sédimentation.

Manzanera *et al.* (1998) ont effectué des expériences de sursédimentation (*over-sedimentation*) dans des herbiers à *Posidonia oceanica* le long des côtes de Catalogne (Espagne). Ces Auteurs ont démontré que la réponse des plantes est grandement fonction de l'intensité et de la durée de la sursédimentation; des ensevelissements même modestes (5 cm) peuvent en effet entraîner une mortalité significative du "canopy" foliaire et des rhizomes. En outre, quand le sédiment atteint 15 cm de haut, au bout de 200 à 300 jours on a une mortalité de 100% des herbiers. On peut utiliser ces résultats pour étudier les effets de la sursédimentation (*over-sedimentation*) sur les herbiers à la suite de la construction d'ouvrages côtiers qui peuvent éventuellement entraîner une importante déposition de sédiment.

Plusieurs Auteurs (Vermaat *et al.*, 1996; Marbà et Duarte, 1997) ont démontré que, pour la plupart des herbiers à phanérogames, en Méditerranée comme ailleurs, la croissance des rhizomes et des racines est elle aussi très sensible au mouvement des sédiments. Ces Auteurs ont en outre souligné que la croissance des rhizomes peut éviter l'ensevelissement éventuel des herbiers en augmentant la distance entre les noeuds.

A propos des opérations de rechargement pour la mise en sécurité de la ligne de côte, en mars 2002 ont été effectuées en moins de 24 heures des activités de dragage pour le prélèvement de sable au large de la Baia dei Maronti (Ischia), dans une zone de fort hydrodynamisme. La zone intéressée était recouverte de deux vastes portions d'herbier à *Posidonia oceanica* situé à une profondeur comprise entre 16 et 25 m. A la suite des opérations de dragage, des parties de cet herbier furent réduites à de minces bandes ou à des faisceaux isolés de "matte", tandis que les racines et les plantes déracinées du substrat sableux s'accumulaient dans le trou de prélèvement. La plupart des plantes non déracinées furent par contre ensevelies en partie par le sédiment mis

d'abord en suspension puis redéposé sur l'herbier. Au bout d'un an (mars 2003), les 4 ha d'herbier directement intéressé par les activités de prélèvement s'étaient transformés en "matte" morte; de plus, la topographie du substrat était modifiée et non uniforme. Tandis qu'au bout de deux ans (mai 2004), l'herbier résiduel (2 ha) s'étendait à une profondeur comprise entre 16 et 20 m. [Gambi et al. \(2005\)](#), ont effectué en 2002 une étude post-impact, en comparant l'état de l'herbier (croissance des rhizomes et production foliaire) avant et après les activités d'excavation. L'étude a révélé une croissance plus rapide des plantes, par rapport à la situation d'avant le dragage, due à un allongement supérieur des rhizomes (6,8mm/an en 2001; 12,3mm/an en 2002) ainsi qu'à une production foliaire augmentée (7,2no/an en 2001; 8,4no/an en 2002). Bien que l'herbier à *P. oceanica* ait donc répondu plutôt rapidement aux variations du taux de sédimentation, sa survie dans la Baia di Maronti dépendra, en grande partie, de la capacité de la plante de faire face à l'augmentation des processus d'érosion favorisés par le régime hydrodynamique local et intensifiés par la fragmentation de l'herbier.

Une série de sondages sur le "canopy" foliaire (développement et densité des faisceaux) et sur la dynamique de la population (taux de croissance des rhizomes et longueur entre les nœuds) ont été effectués par [Badalamenti et al. \(2006\)](#) sur un herbier à *P. oceanica* dans la zone de Capo Feto (Sicile). En 1981 un gazoduc sous-marin a été déposé entre Cap Bon (Tunisie) et Capo Feto (Sicile). Les activités comprenaient des opérations de dragage à travers 30.000 ha d'un herbier à *Posidonia oceanica* dans la zone de Capo Feto. En 1993, toujours dans ce même trait de mer, on a procédé à la pose de deux nouveaux gazoducs qui ont provoqué de nouveaux dommages à l'herbier. Ces opérations, en effet, ont entraînant d'abord une remise en suspension du sédiment puis sa redéposition, ont représenté une grande perturbation pour l'herbier. Les données obtenues ont montré que le taux le plus élevé de mortalité se produisait dans la zone la plus proche de la zone d'excavation où l'herbier devait avoir souffert la plus forte perturbation. Dans cette zone, probablement, la quantité de sédiment redéposé devait être si grande que la croissance des rhizomes n'a pas pu compenser le phénomène d'ensevelissement, déterminant une régression prononcée de l'herbier. Bien que dans la zone de Capo Feto on n'ait plus effectué de travaux de dragage depuis 1993, les prévisions sur le développement de l'herbier indiquent que la densité des faisceaux, près de la zone d'excavation, diminuera de 50% dans les 6 à 17 années à venir. Cela dépend du taux lent de croissance (de 1 à 6cm^{yr}⁻¹) des herbiers à *P. oceanica*. Il est donc nécessaire de mener d'autres études pour évaluer les délais et les modes de récupération de l'herbier.

Un dernier point à considérer est, enfin, le rapport existant entre la stabilité de la côte et la présence d'herbiers à *P. oceanica* ([Terrados et Duarte, 2000](#); [Gacia et Duarte, 2001](#)). La perte d'herbier (même d'un seul mètre) peut favoriser sur le littoral une érosion importante, parfois de plusieurs mètres ([Della Croce et al., 1997](#)). Selon certains Auteurs, le rétablissement de la plage a un rôle positif aux fins d'une stabilité accrue des herbiers, tandis que le déficit sédimentaire en favorise la régression. Une amélioration de l'état de santé général de l'herbier, découlant de la stabilisation de la plage, peut aussi augmenter la protection même de la plage. On en déduit qu'une intervention de rechargement bien étudiée pourrait favoriser, directement et indirectement, non seulement la stabilité de la plage, mais aussi l'amélioration de l'état de santé des herbiers à *P. oceanica* qui lui font face ([Ballesta et al., 2000](#)).

Pour veiller sur un écosystème comme celui où vit la *P. oceanica*, il faut avant tout disposer d'informations détaillées à jour. En Italie, malgré les programmes de cartographie de la *P. oceanica* financés par le Ministère de l'Environnement (Ligurie, Toscane, Latium et Pouilles de 1989 à 1991 et ensuite durant la période 2001-2003; Sicile et Sardaigne en 1999-2002; Campanie et Calabre de 2002 à 2004) ([Ministère de l'Environnement, 2003](#)), les données disponibles ne sont pas toujours à une échelle appropriée et assez à jour.

L'absence de données antérieures et/ou actuelles, outre les coûts élevés de nouvelles enquêtes, empêchent en fait souvent de pouvoir faire des estimations réelles sur l'état de santé des herbiers.

Il serait donc essentiel:

- i) de cartographier avec soin les herbiers à *Posidonia oceanica*;
- ii) d'évaluer de façon fiable les cartes historiques existantes;
- iii) de mettre au point un système de suivi, en minimisant le plus possible les coûts.

A cet effet, [Ardizzone et al. \(sous presse\)](#) ont fait une étude sur un herbier à *Posidonia oceanica* situé au large des côtes méridionales du Latium (Mer Tyrrhénienne centrale, de Capo Circeo à Sperlonga) dans une zone de 30 km divisée en trois sous-zones. Les résultats obtenus, comparés avec des données préexistantes relatives aux 50 dernières années, ont mis en évidence une régression de l'herbier de 1959 à nos jours de 4.391 ha, environ 60% de la couverture initiale. La zone de Capo Circeo semble présenter la régression la plus limitée de l'herbier, probablement du fait que c'est une zone peu influencée par les activités continentales, bien que la construction du port, durant les années Soixante, ait modifié l'herbier de façon marquée en créant une discontinuité de sa distribution. La zone centrale, entre Capo Circeo et Terracina, est celle qui montre une situation dramatique, ayant le taux le plus élevé de régression, car cette sous-zone, durant les années précédentes, a subi des impacts anthropiques violents qui ont entraîné une érosion nette des côtes et une augmentation de la turbidité des eaux. Enfin, la sous-zone comprise entre Terracina et Sperlonga présente une situation intermédiaire, étant sujette en général à moins d'impacts humains, de phénomènes d'érosion et de turbidité de l'eau. Dans cette étude, les Auteurs mettent en évidence le fait qu'une planification régulière de programmes de suivi permettrait d'obtenir des informations suffisantes pour décrire avec exactitude et précision l'état de conservation des herbiers, en optimisant ainsi les temps et les coûts de la gestion.

Une étude de suivi d'un herbier à *P. oceanica* vivant le long des côtes de Tarquinia (Mer Tyrrhénienne centrale) a été effectuée par l'ICRAM, en collaboration avec l'Université "La Sapienza" de Rome et la Région du Latium, à l'occasion d'une intervention de rechargement par des sables résiduels, en mai-juillet 2004.

L'étude s'est déroulée en trois phases:

1. caractérisation de la *P. oceanica* avant les activités de rechargement (avril 2004);
2. suivi de l'herbier pendant les activités (mai 2004);
3. suivi après le rechargement (au bout de 4, 12 et 24 mois).

La méthodologie appliquée comportait l'emploi de Side Scan Sonar (S.S.S.), Multibeam et Remotely Operated Vehicle (R.O.V.). Les observations effectuées, à la suite des activités de rechargement, n'ont pas mis en évidence, dans ce cas, d'effets significatifs sur l'herbier ([Nicoletti et al., 2005](#)).

Une autre étude ([Barbanti et al., 2005](#)) effectuée dans le Latium Nord, lors d'activités de dragage de sables résiduels au large de Montalto di Castro (Province de Viterbe), a porté sur l'évolution de la plume de turbidité générée pendant le dragage, pour contrôler l'implication éventuelle d'un herbier à *Posidonia oceanica* situé à proximité. Dans le cas en question, on a observé que les conditions hydro-dynamiques locales favorisaient la diffusion de la plume dans une direction opposée à l'herbier, qui n'a donc pas souffert des activités en cours.

En général, compte tenu surtout de l'insuffisance de nos informations sur ces problématiques, il apparaît qu'il est important et nécessaire d'effectuer des études appropriées de suivi des herbiers dans des zones soumises à des dragages et à des rechargements par des sables résiduels afin de pouvoir contrôler les effets possibles sur les herbiers.

Conclusion

Les herbiers à *Posidonia oceanica*, mais en général toutes les phanérogames, ont un rôle comparable à celui d'une forêt terrestre. Ils exercent une fonction de refuge pour un quart des

espèces (flore et faune) qui vivent en milieu marin et constituent donc un important "pôle de biodiversité" (Pergent, 2006).

Au cours du 20^e siècle, et en particulier à partir des années Cinquante, les herbiers à *P. oceanica* ont subi une considérable régression, surtout à proximité des grands centres urbains, industriels et portuaires. La cause principale de cette régression est, certainement, liée à l'augmentation de la pression anthropique le long des côtes (décharges d'eaux usées, aquaculture, chalutage, travaux côtiers) qui, en accroissant la charge sédimentaire des eaux littorales, détermine une augmentation de la turbidité et des substances de nutriment le long de la colonne d'eau.

L'augmentation de la turbidité est due, en grande partie, à la présence de matériau très fin mis en suspension pendant les activités côtières. Ce nuage de turbidité agit de deux façons: d'une part, il réduit la transparence de l'eau (turbidité et accumulation de nutriments dans la colonne d'eau) et donc la photosynthèse; d'autre part, il se dépose sur les herbiers (phénomène de la sur-sédimentation). La diminution de la transparence des eaux a un effet direct sur les herbiers à *P. oceanica*. En effet, comme toutes les plantes, la *Posidonia* a besoin de lumière pour effectuer sa photosynthèse; ainsi, son extension bathymétrique maximum (limite inférieure) dépend principalement de la quantité de lumière reçue sur le fond et donc de la transparence des eaux. Dans les zones où la transparence de l'eau est maximum, on signale des herbiers dont les limites peuvent se situer à plus de 35 m de profondeur, avec des faisceaux proches de 50 m. Par contre, quand la transparence des eaux diminue, on assiste à une remontée de la limite inférieure qui peut se fixer entre 10 et 15 m. L'accumulation excessive de sédiment peut elle aussi déterminer une régression des herbiers. Enfin, le taux élevé de sédimentation influence directement la croissance verticale des rhizomes, et la densité des faisceaux. Si le taux de sédimentation dépasse 5-7cm/an on observe une mortalité élevée des apex végétatifs ou, dans les cas extrêmes, l'herbier peut rester enseveli. Il est probable qu'aucune des causes décrites précédemment (turbidité, accumulation de nutriments et modifications des flux sédimentaires) n'est capable à elle seule d'entraîner une régression partielle ou totale des herbiers à *Posidonia oceanica*. Il est plus probable que les dommages observés sur les herbiers peuvent s'expliquer par la concomitance des différents types de perturbations et par leur synergie (Tunesi et Boudouresque, 2006).

Donc, vu l'importance des herbiers à *P. oceanica* il est compréhensible qu'elles soient prises en considération comme l'un des éléments les plus capables de fournir des informations sur la qualité biologique des eaux littorales et du substrat meuble (Boissery et Pergent-Martini, 2006). L'utilisation des herbiers comme élément de qualité biologique exigerait la mise au point d'un *Indice Global de la Posidonia* (IGP), applicable dans tous les pays européens de la Méditerranée. L'indice devrait nécessairement être établi sur la base de nombreux paramètres:

- la densité, qui exprime le nombre de faisceaux par unité de superficie;
- la profondeur de la limite inférieure, qui fournit des informations sur la transparence générale des eaux et l'évolution dans le temps des herbiers;
- la couverture épiphyte, qui informe sur la richesse des nutriments dans la colonne d'eau;
- la biométrie foliaire et/ou la structure des "mattes", qui fournit des informations globales sur les herbiers.

En conclusion, l'objectif d'une surveillance accrue des herbiers à *P. oceanica* est de:

- (I) veiller sur un écosystème d'une grande valeur patrimoniale, mais vulnérable, pour déceler rapidement toute nouvelle régression;
- (II) utiliser les herbiers comme indicateurs biologiques de la qualité des milieux littoraux;
- (III) évaluer l'efficacité des politiques internationales, nationales et régionales en matière de milieu littoral.

BIBLIOGRAPHIE

- ARDIZZONE G.D., PELUSI P. (1984) - Yield and damage evaluation of bottom trawling on *Posidonia oceanica* meadows. In: *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, eds. C.F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac, J. Olivier, GIS Posidonie publ, vol. 1: 63-72.
- ARPA Emilia-Romagna (2001) - Caratterizzazione di un'area offshore di prelievo delle sabbie ai fini del ripascimento delle spiagge della costa Emiliano-Romagnola. Relazione finale.
- ARPA Emilia-Romagna (2003) - Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine. Monitoraggio 2002-2005. Annualità 2002.
- ARPA Emilia-Romagna (2004) - Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine. Monitoraggio 2002-2005. Annualità 2003.
- ARPA Emilia-Romagna (2005) - Intervento di messa in sicurezza dei tratti critici del litorale emiliano-romagnolo mediante ripascimento con sabbie sottomarine. Monitoraggio 2002-2005. Annualità 2004.
- AUBERT M., BOISSON M., FIERRO G., TUCCI S., DRAI C.G., EMERJ C., FALCHI G., HUGUES G., MARMENTEAU C., MATHONNET S., PUCCI R., REVILLON P., ZACCONE P. (1990) - Mers d'Europe: etudes hidrologiques, chimiques et biologiques. 2° Tome: Mer Ligure du Cap de Bordighera au Cap d'Antibes. Campagnes RAMOGE 1984 - 1987. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, Tome **XCIX**: 36 pp.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G. (1984) - L'herbier de *Posidonia oceanica* et la pollution par le mercure sur le littoral des Bouches-du-Rhone et du Var (France). In: *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, eds. C.F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac and J. Olivier, GIS Posidonie publ, vol. 1: 399-406.
- BADALAMENTI F., DI CARLO G., D'ANNA G., GRISTINA M., TOCCACELI M. (2006) - Effects of dredging activities on population dynamics of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean sea: the case study of Capo Feto (SW Sicily, Italy). *Hydrobiologia*, **555**: 253-261.
- BALLESTA L., PERGENT G., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C. (2000) - Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline. *Life Sciences*, **323**: 407-414.
- BARBANTI A., CHIARLO R., FORNASIERO P., GABELLINI M., LA VALLE P., NICOLETTI L. (2005) - Innovative monitoring of turbidity due to dredging activities. MEDCOAST 2005 - The Seventh International Conference on the Mediterranean Coastal Environment 25-29 October 2005, Kusadasi, Turkey: 803-814.
- BARBETESA E., FANNUCCI F., FIRPO M., MIRABILE L., PICCAZZO M. (1982) - Il Plio-Quaternario del Mar Ligure. 1: Potenza e modalità di accumulo della coltre sedimentaria. *Quaderni Istituto di Geologia Università di Genova*, **3** (1): 3-20.
- BEACHMED (2003) - IL PROGETTO BEACHMED: Recupero ambientale e mantenimento dei litorali in erosione con l'utilizzo di depositi sabbiosi marini (Convenzione 2002-01-4.3-i-028). PROGRAMMA OPERAZIONALE INTERREG III B. Protezione e valorizzazione del patrimonio naturale e culturale, gestione della biodiversità, dei territori e dei paesaggi. SPAZIO DEL MEDITERRANEO OCCIDENTALE. 1° Quaderno tecnico (Fase "A"), Roma, ottobre 2003.
- BEACHMED (2004) - IL PROGETTO BEACHMED: Recupero ambientale e mantenimento dei litorali in erosione con l'utilizzo di depositi sabbiosi marini (Convenzione 2002-01-4.3-i-028). PROGRAMMA OPERAZIONALE INTERREG III B. Protezione e valorizzazione del patrimonio naturale e culturale, gestione della biodiversità, dei territori e dei paesaggi. SPAZIO DEL MEDITERRANEO OCCIDENTALE. 3° Quaderno Tecnico (Fase "C"), Roma, dicembre 2004: 275 pp.

- BENEDET L., FINKL C.W., CAMPBELL T., KLEIN A. (2004) - Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. *Coastal Engineering*, **51**: 839-861.
- B.N.P. (1995) - Beach Nourishment and Protection.
<http://www.nap.edu/books/0309052904/html/Index.html>
- BOISSERY P., PERGENT-MARTINI C. (2006) - L'herbier à *Posidonia oceanica* et la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). In: *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. Ramoge pub.: 156-160.
- BOURCIER M. (1989) - Regression des herbiers a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, a l'est de Marseille, sous l'action conjuguee des activites humaines et des modifications climatiques. In: *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, eds. C.F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi, V. Gravez, GIS Posidonie publ., vol. **2**: 287-292.
- BUDILLON G., GABELLINI M., TUCCI S., ARGHITTU F., GRIECO L., NICOLETTI L. (2002) - Uno studio di impatto ambientale relativo ad attività di dragaggio di depositi sabbiosi sommersi. Approccio sperimentale e modellistico. XV Congresso A.I.O.L., Roma 23-25 settembre 2002.
- BUIA M.C., GAMBI M.C., DAPPIANO M. (2003) - I sistemi a fanerogame marine In: *Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Biologia Marina Mediterranea*, **10** (suppl.): 145-198.
- CAMPI F., NICCOLAI I., TUCCI S., SGORBINI S. (1989) - Dispersione e geochimica dei sedimenti superficiali nel Mar Ligure (Varazze - Capo Noli). In "Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure". Serie Studi Ambientali, ENEA: 61-84.
- CAPELLO M., GABELLINI M., NICOLETTI L., BUDILLON G., DI PROSPERO A., ARGHITTU F., CUTRONEO L., TUCCI S. (2005) - The management of sedimentary dynamic in areas to be subjected to dredging for artificial nourishment: a predictive model applied to Gaeta, Montalto di Castro e Anzio. Spoleto, GeolItalia 2005 (Abstract-Poster).
- CARRUTHERS T.J.B., DENNISON W.C., LONGSTAFF B.J., WAYCOTT M., ABAL E.G., MCKENZIE L.J., LEE LONG W.J. (2002) - Seagrass habitats of northeast Australia: models of key processes and controls. *Bulletin of Marine Science*, **71** (3): 1153-1169.
- CASOLA E., LANERA P., MAGNIFICO G., PLASTINA N., SCARDI M., VALIANTE L.M., VINCI D. (2003) - Analisi descrittiva della prateria di *Posidonia oceanica* nel tratto di mare compreso tra Santa Severa e Marina di Tarquinia (Lazio, Italia). SITE XIII Congresso Nazionale Como 8-10 settembre.
- CHIOCCI F.L., LA MONICA G.B. (1999) - Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini del ripascimento dei litorali in erosione. Rapporto della prima fase. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Scienze della Terra – Regione Lazio, Dipartimento OO.PP. e Servizi per il Territorio – ROMA, settembre 1999.
- CICERO A.M., DI GIROLAMO I. (2001) - Metodologie analitiche di riferimento in relazione al Programma di Monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero (triennio 2001-2003). Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio-ICRAM.
- CORRADI N., PICCAZZO M., TUCCI S. (1981a) - Dispersione del materiale in sospensione nelle acque superficiali antistanti le foci dei Fiumi Magra ed Arno: misure di trasparenza ed analisi di particellato. *Quaderni Istituto di Geologia Università di Genova*, **2** (6): 131-144.
- CORRADI N., MANFRINETTI P., PICCAZZO M., TUCCI S. (1981b) - Verifica in laboratorio dell'applicabilità di un trasmissometro a fotoestinzione per misure di trasparenza in acque marine superficiali. *Quaderni Istituto di Geologia Università di Genova*, **2** (4): 91-104.

- CORRADI N., FANUCCI F., FIERRO G., FIRPO M., PICAZZO M., RAMELLA M., TUCCI S., (1988) - Importance des canyons sous-marins dans la dynamique sédimentaire de la Mer Ligure. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **31**, 2: 294.
- DELLA CROCE N., CATTANEO VIETTI R., DANOVARO R. (1997) - Ecologia e protezione dell'ambiente marino costiero. Utet, Torino: 420 pp.
- DUARTE C.M. (2002) - The future of Seagrass meadows. *Environmental Conservation*, **29**: 192-206.
- DUARTE C.M., MARBÀ N., SANTOS R. (2004) - What may cause loss of seagrasses? In: *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Edited by Jens Borum, Carlos M. Duarte, Dorte Krause-Jensen and Tina M. Greve: 24-32.
- FANUCCI F., FIRPO M., PICAZZO M. - (1986) Sedimentary Basins of Ligurian Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, **4** (1): 43-54.
- FERNÁNDEZ-TORQUEMADA Y., SÁNCHEZ-LIZASO J.L. (2005) - Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *J. Exper. Mar. Biol. and Ecol.* **320**: 57-63.
- FERRETTI O., FORTI S., IMMORDINO F., SETTI M., TUCCI S. (1991) - Clay minerals in the marine sediments and suspended matter (Ligurian Sea). *Proc. 7th EUROCLAY Conf. DRESDEN '91*, Greifswald: 343-345.
- FERRETTI O., NICOLAI I., TUCCI S., SETTI M., IMMORDINO F. (1992) - Transport and distribution of sediments along the ligurian coast. *Hydrobiologia*, **235/236**: 17-32.
- FRACHE R., MANFRINETTI P., PICAZZO M., TUCCI S. (1986) - Distribution and transport of particulate Fe and Cu in suspended matter of the Canyons of Genoa (North- western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, **17**, 3: 123-127.
- GABELLINI M., NICOLETTI L., CAPELLO M., MARTINI A., BUDILLON G., ARGHITTU F., TUCCI S. (2004) - The management of sedimentary dynamic in area to be subjected to dredging for artificial nourishment: a predictive model applied to Gaeta, Montalto di Castro e Anzio. Abstract-Poster Incontro congiunto CoNISMa-AIOL, Terrasini (PA), 18-22.10.2004: 238.
- GACIA E., DUARTE C.M. (2001) - Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* meadow: the balance between deposition and resuspension. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**: 505-514.
- GIESEN W.B.J.T., VAN KATWIJK M.M., DEN HARTOG C. (1990) - Eelgrass condition and turbidity in the Dutch Wadden Sea. *Aquatic Botany*, **37**: 71-85.
- GIRAUD G. (1977) - Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Bot. Mar.*, **20**: 487-491.
- GREEN K. (2002) - Beach Nourishment: A Review of the Biological and Physical Impacts. ASMFC (Atlantic States Marine Fisheries Commission). *Habitat Management Series 7*: 174 pp.
- GUIDETTI P. (2001) - Detecting environmental impacts on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: the use of reconstructive methods in combination with 'beyond BAC' designs. *J. Exper. Mar. Biol. and Ecol.*, **260**: 27-39.
- GUIDETTI P., FABIANO M. (2000) - The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primary leaf production of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, **40**: 449-453.
- GUILLEN J., HOEKSTRA P. (1997) - Sediment distribution in the nearshore zone: grain size evolution in response to shoreface nourishment (Island of Terschelling, the Netherlands), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **45**: 693-652.

GUILLEN J., PALANGUES A., PUIG P., SORIANO S. (2004) - Temporal grain-size variability of marine shallow sediment: natural and man induced processes, Int. Workshop HWK Delmenhorst 15-18 April 2004 From Particle Size to Sediment Dynamics.

<http://www.sidimar.it>

HANSON H., BRAMPTON A., CAPOBIANCO M., DETTE H.H., HAMM L., LAUSTRUP C., LECHUGA A., SPANHOFF R. (2002) - Beach nourishment projects, practices and objectives – a European overview. *Coastal Engineering*, **47**: 81-111.

HARMA P., VEPSALAINENA J., HANNONEN T., PYHALAHTI T., KAMARI J., KALLIO K., ELOHEIMO K., KOPONEN S. (2001) - Detection of water quality using simulated water quality data and semi-empirical algorithms in Finland. *The Science of the Total Environment*, **268**: 107-121.

HAY B.J., HONJO S., KEMPE S., ITTEKKOT V.A., DEGENS E.T., KONUK T., IZDAR E. (1990) - Interannual particle flux in the southwestern Black Sea. *Deep-Sea Res.*, **37**: 911-928.

HITCHCOCK D.R., BELL S. (2004) - Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits, *Journal of Coastal Research*, **20**, 1: 101-114.

HITCHCOCK D.R., DRUCKER B.R. (1996) – Investigation of benthic and surface plumes associated with marine aggregates mining in the United Kingdom. In: *The Global Ocean-Towards Operational Oceanography Volume 2. Proceedings of the Oceanology International Conference* ISBN 0-900254-12-2: 221-234.

HITCHCOCK D.R., NEWELL R.C., SEIDERER L.J. (1999) - Investigation of Benthic and Surface Plumes associated with Marine Aggregate Mining in the United Kingdom – Final Report. *Contract Report for the U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service*. Contract Number 14-35-0001-30763. Coastline Surveys Ltd Ref. 98-555-03 (Final): 168pp.

ICRAM 2000a - Studio pilota per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento: il caso Anzio. Fase III/p - Prima campagna di monitoraggio. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 77pp.

ICRAM 2000b – Qualità degli ambienti marini costieri italiani (1996-1999). Valutazione preliminare del monitoraggio realizzato in convenzione con le regioni costiere. Quaderno ICRAM: 272pp.

ICRAM 2001a - Studio pilota per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento: il caso Anzio. Fase III/s - Seconda campagna di monitoraggio. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 74pp.

ICRAM 2001b - Studio pilota per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento: il caso Anzio. Fase III/t – Terza campagna di monitoraggio. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 87pp.

ICRAM 2001c - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Sito Anzio AZ. Relazione preliminare. Fase C1 - Caratterizzazione del sito. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 144pp.

ICRAM 2003a - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale. Area Montalto di Castro. Fase B - Caratterizzazione area vasta. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 285pp.

ICRAM 2003b - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Area di Gaeta (LT). Fase B - Caratterizzazione area vasta. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 249pp.

ICRAM 2004a - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento: area di Montalto di Castro Sito A2. Fase C1 - Caratterizzazione del sito. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 122pp.

- ICRAM 2004b - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale: area di Torvaianica. Fase B - Caratterizzazione area vasta. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 367pp.
- ICRAM 2004c - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale: area di Tor Vaianica. Fase C1 - Caratterizzazione del sito C2. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 87pp.
- ICRAM 2004d - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Area di Gaeta. Fase C1 - Caratterizzazione del sito. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 91pp.
- ICRAM 2005a - Studio in corso d'opera e monitoraggio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento del deposito sabbioso sommerso ai fini di ripascimento Cava A2 - Montalto di Castro. Fase C2 - Controllo in corso d'opera. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 70pp.
- ICRAM 2005b - Studio in corso d'opera e monitoraggio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento del deposito sabbioso sommerso ai fini di ripascimento Cava A2 - Montalto di Castro Fase C3: settembre 2004 -aprile 2005 - Monitoraggio. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 97pp.
- ICRAM 2005c - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale: Sito Anzio (AZ) - Fase di Monitoraggio C3: luglio 2003, settembre 2003 e aprile 2004. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 240pp.
- ICRAM 2005d - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Macroarea D. Fase B - Caratterizzazione area vasta. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 301pp.
- ICRAM 2005e - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento: Macroarea E. Fase B - Caratterizzazione area vasta. ICRAM, per conto della Regione Lazio: 266pp.
- KENDRICK G.A., AYLWARD M.J., HEGGE B.J., CAMBRIDGE M.L., HILLMAN K., WYLLIE A., LORD D.A. (2002) - Changes in seagrass coverage in Cockburn Sound, Western Australia between 1967 and 1999. *Aquatic Botany*, **73**: 75-87.
- KIRKMAN H. (1997) - Seagrasses of Australia. In: *State of the Environment Technical Paper Series* (Estuaries and the Sea): 37pp.
- LEONI V., PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., VELA A., PERGENT G. (2006) - Morphological responses of *Posidonia oceanica* to experimental nutrient enrichment of the canopy water. *J. Exper. Mar. Biol. and Ecol.*, **339**: 1-14.
- LOUIS BERGER GROUP Inc. (1999) - Use of Federal offshore sand resources for beach and coastal restoration in New Jersey, Maryland, Delaware, and Virginia. Contract No. 1435-01-98-RC-30820. Department of the Interior, Minerals Management Service, Office of International Activities and Marine Minerals, Herndon, VA: 244 pp.
- MANZANERA M., PEREZ M., ROMERO J. (1998) – Seagrass mortalità due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation*, **4**: 67-70.
- MARBÀ N, DUARTE C.M. (1997) - Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the Spanish Mediterranean littoral zone. *Limnol. Oceanogr.*, **42** (5): 800-810.
- MONTAGNA P.A., HOLT S.A., RITTER C., HERZKA S., BINNEY K.F., DUNTON K.H. (1998) - Characterization of anthropogenic and natural disturbance on vegetated and unvegetated ay



- bottom habitats in the corpus Christi Bay national estuary program study area. Publication CCBNEP-25A: 42-44.
- MORTON B. (1996) - The subsidiary impacts of dredging (and trawling) on a subtidal benthic molluscan community in the southern waters of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, **32**(10): 701-710.
- NEWELL R.C., HITCHCOCK D.R., SEIDERER L.J. (1999) – Organic Enrichment Associated with Outwash from Marine Aggregates Dredging: A Probable Explanation for Surface Sheens and Enhanced Benthic Production in the Vicinity of Dredging Operations. *Marine Pollution Bulletin*, **38**(9): 809-818.
- NEWELL R.C., SEIDERER L.J., HITCHCOCK D.R. (1998) - The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, **36**:127-178.
- NICOLETTI L., PAGANELLI D., GABELLINI M. (en empression) - Aspetti ambientali del dragaggio di sabbie relitte a fini di ripascimento: proposta di un protocollo di monitoraggio. QUADERNI ICRAM n°5.
- ORPIN A.R., RIDD P.V., SEVERINE T., KENNETH R.N.A., MARSHALL P., JAMIE O. (2004) - Natural turbidity variability and weather forecasts in risk management of anthropogenic sediment discharge near sensitive environments. *Marine Pollution Bulletin*, **49**: 602-612.
- PASQUALINI V., PERGENT-MARTINI C., CLABAUT P., PERGENT G. (1998) - Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: application off the island of Corsica (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**: 359-367.
- PEIRANO A., BIANCHI C.N. (1995) - Decline of the seagrass *Posidonia oceanica* in response to environmental disturbance: a simulation-like approach off Liguria (NW Mediterranean Sea). In: *Proceedings of the 30th E.M.B.S., Southampton, UK, September 1995*: 87-95.
- PEIRANO A., DAMASSO V., MONTEFALCONE M., MORRI C., BIANCHI C.N. (2005) - Effects of climate, invasive species and anthropogenic impacts on the growth of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Liguria (NW Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*, **50**: 817-822.
- PELLEGRINI D., ONORATI F., VIRNO LAMBERTI C., MERICO G., GABELLINI M., AUSILI A. (2002) - Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini. Dragaggi Portuali. Quaderno ICRAM n° 1: 201pp.
- PERGENT G. (1991) - Les indicateurs ecologiques de la qualite du milieu marin en Mediterranee. *Oceanis*, **17** (4): 341-350.
- PERGENT G. (2006) - Le rôle des herbiers à *Posidonia oceanica*. In: *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. Ramoge pub.: 25-31.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F. (1995) - Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualite du milieu littoral en Mediterranee: etat des connaissances. *Mesogée*, **54**: 3-27.
- PICAZZO M., TUCCI S. (1983) - Distribuzione e trasporto di materiale particolato sospeso nei canyons di Genova. Atti 5° Congr. Ass. It. Oceanol. Limnol., Stresa (1982): 675-690.
- PIERCE J.W., TUCCI S., FIERRO G. (1981) - Assessing variations in suspensates, Ligurian Sea (North- western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, **1**: 149-154.
- PORCHER M. (1984) - Impact des mouillages forains sur les herbiers a *Posidonia oceanica*. In: *International Workshop on Posidonia oceanica Beds*, eds. C.F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac and J. Olivier, GIS Posidonie publ, vol. **1**: 145-148.

- RUIZ J.M., ROMERO J. (2003) - Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, **46**: 1523-1533.
- SANDPIT (2005) - Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits. Process knowledge and guidelines for coastal management. L.C. van Rijn, R.L. Soulsby, P. Hoekstra, A.G. Davies (Eds.). EC Framework V Project No. EVK3-2001-00056: 816 pp.
- SHERIDAN P. (2004) - Recovery of floral and faunal communities after placement of dredged material on seagrasses in Laguna Madre, Texas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **59**: 441-458.
- SHORT F.T., WYLLIE-ECHEVIERRA S. (1996) - Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation*, **23** (1): 17-27.
- STEVENSON J.C., STAVELAND L.W., STAVELAND K.W. (1993) - Water quality associated with survival of submersed aquatic vegetation along an estuarine gradient. *Estuaries*, **18** (2): 346-361.
- SYLAIOS G., STAMATIS N., KALLIANIOTIS A., VIDORIS P. (2005) - Monitoring and assessment of land-based nutrient loadings, distributions and cycling within Kavala Gulf. *Water Resources Management* **19** (6): 713-735.
- TERRADOS J., BORUM J. (2004) - Why are seagrasses important? - Goods and services provided by seagrass meadows. In: *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Edited by Jens Borum, Carlos M. Duarte, Dorte Krause-Jensen and Tina M. Greve: 8-10.
- TERRADOS J., DUARTE C.M. (2000) - Experimental evidence of reduced particle resuspension within a seagrass (*Posidonia oceanica* L.) meadow. *J. Exper. Mar. Biol. and Ecol.* **243**: 45-53.
- TERRADOS J., DUARTE C.M., FORTES M.D., BORUM J., AGAWIN N.S.R., BACH S., THAMPANYA U., KAMP-NIELSEN L., KENWORTHY W.J., GEERTZ-HANSEN O., VERMAAT J. (1998) - Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of siltation in SE Asia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**: 757-768.
- TOUMAZIS A.D. (1995) - Environmental impact associated with the dumping of dredged material at sea. A study for the limassol port extension works. *Water Science and Technology*, **32**(9-10): 151-158.
- TUCCI S. (1989a) - Trasporto e sedimentazione del materiale particellato sospeso nelle acque comprese fra Gaeta e la foce del Volturno. *Nuove osservazioni sul sistema marino costiero dal Golfo di Gaeta alla foce del Volturno*. A cura di Ferretti O. e Tucci S. Serie Studi Ambientali ENEA: 61-73.
- TUCCI S. (1989b) - Caratterizzazione dimensionale del materiale particolato sospeso nelle acque costiere (Varazze - Capo Noli). In "Studi ambientali dell'area costiera di Vado Ligure". Serie Studi Ambientali, ENEA: 105-123.
- TUCCI S., CORRADI N., CENTURIONE L., ORSI M. (1996) - Dinamica del materiale sospeso lungo la piattaforma continentale compresa tra Alassio e Ventimiglia (Liguria occidentale). *Atti 11° Congr. Ass. It. Oceanol. Limnol.*, Sorrento, 26-28 ottobre 1994: 807-817.
- TUCCI S., FIRPO M., PICCAZZO M. (1992) - Caratterizzazione e dinamica del materiale in sospensione nelle acque marine tra le foci dei Fiumi Var e Roia. *Atti 9° Congr. Ass. It. Oceanog. Limnol.*, S. Margherita Ligure 20-23 novembre 1990: 263-273.
- TUNESI L., BOUDOURESQUE C.F. (2006) - Les causes de la régression des herbiers à *Posidonia oceanica*. In: *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. Ramoge pub.: 32-47.



- TURNER S., SCHWARZ A.M. (2006) - Management and conservation of seagrass in New Zealand: an introduction. Published by Science & Technical Publishing Department of Conservation Wellington, New Zealand: 90pp.
- VAN DOLAH R.F., CALDER D.R., KNOTT D.M. (1984) - Effects of dredging and Open-Water disposal on Benthic Macroinvertebrates in a South Carolina Estuary. *Estuaries*, **7**(1): 28-37.
- VERMAAT J.E., AGAWIN S.R., FORTES M.D., URI J.S., DUARTE C.M., MARBÀ N., ENRIQUEZ S., VAN VIERSSSEN W. (1996) - The capacity of seagrasses to survive increased turbidity and siltation: the significance of growth form and light use. *Ambio*, **25** (2): 499-504.
- WESTPHALEN G., COLLINGS G., WEAR R., FERNANDES M., BRYARS S., CHESHIRE A. (2005) - A review of seagrass loss on the Adelaide metropolitan coastline. Technical Report No. **2**: 26-31.
- WHITESIDE P.G.D., OOMS K., POSTMA G.M. (1995) - Generation and decay of sediment plumes from sand dredging overflow. In: *Proceedings of the 14th World Dredging Congress*, **14**: 877-892.
- WILBER D.H., BROSTOFF W., CLARKE D.G., RAY G.L. (2005) - Sedimentation: Potential biological effects from dredging operations in estuarine and marine environments. *DOER Technical Notes Collection* (ERDC TN-DOER-E20), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <http://el.erdc.usace.army.mil/dots/doer/doer.html>
- ZUPO V., MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., SCIPIONE M.B., CANCEMI G. (2006) - A small-scale analysis of the spatial structure of a *Posidonia oceanica* meadow off the Island of Ischia (Gulf of Naples, Italy): Relationship with the seafloor morphology. *Aquatic Botany*, **84**: 101-109.