

**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 Remblayage Environnemental Protocole

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

**Protocoles méthodologiques
ENV2 et TURBone (expérimental)**





LE PROTOCOLE ENV2 ET LES AUTRES RÉSULTATS

Dans ce sous-projet, l'intention était d'évaluer la valeur et l'applicabilité dans différents cadres territoriaux du protocole ENV1 (BEACHMED, 2004), spécifique pour les études de monitoring environnemental dans les cas de dragage et de rechargement par des sables fossiles et, éventuellement, de procéder à quelques révisions et/ou intégrations. Le travail effectué dans ce domaine au sein du partenariat a entraîné un accord général de tous les partenaires sur les contenus d'ENV1. Tous les partenaires, après avoir procédé à une analyse critique attentive du protocole ENV1, ont présenté des suggestions particulières (Phase A). Ces suggestions ont fait l'objet de discussion pendant le travail de révision du protocole, constituant ainsi une solide base de confrontation pour le travail suivant.

Le document final, ENV2, est présenté dans l'[annexe 1](#).

Selon les expériences acquises ces dernières années dans ces activités et comme le souligne bien le protocole ENV1, l'un des aspects les plus importants à considérer pendant les activités de dragage et de rechargement par des sables fossiles est l'augmentation de matériau 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). 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 sédimentation.

La recherche bibliographique menée durant la phase A sur les valeurs naturelles de turbidité et de taux de sédimentation dans les régions intéressées a mis en évidence une très grave carence d'informations. La recherche bibliographique menée sur les effets possibles de l'augmentation de turbidité et/ou des taux de sédimentation sur la *Posidonia oceanica* a également montré que le nombre de travaux spécifiques sur ce sujet est très limité.

Dans ce cadre, vu qu'il est important de connaître ces effets, entre autres pour déterminer éventuellement des valeurs de seuil et/ou des valeurs limites dont il faudra tenir compte en phase d'étude et/ou de contrôle des interventions, on a mis au point dans EuDREP une proposition méthodologique particulière pour l' "Etude des effets de la turbidité et du taux de sédimentation sur les herbiers à *Posidonia oceanica*", appelée TURBone, discutée en détail dans le rapport de la Phase B ([EuDREP, 2007](#)) et présentée dans l'[annexe 2](#).

MISE EN COMMUN ET PERFECTIONNEMENT DU PROTOCOLE ENV1

En fonction de ce qui a déjà été déterminé en Phase A et sur la base des discussions et des confrontations qui ont eu lieu au sein du partenariat, on a demandé à tous les partenaires de définir et de mettre en évidence, chacun pour sa propre situation géographique, les aspects d'ENV1 qu'il fallait approfondir et/ou compléter, en adaptant le protocole ENV1 à leur cas spécifique.

Application d'ENV1 au cas du Latium (ICRAM)

Un aspect particulièrement important pour l'environnement dans les études de caractérisation de fonds marins qui font l'objet d'une manutention se rapporte à la qualité chimique des sédiments; normalement, pour évaluer la qualité chimique (métaux et composés organiques) des sédiments de surface dans la zone de dragage, on prévoit de déterminer le contenu total, avec spéciation de chacun des congénères pour les polluants organiques et du seul contenu total pour chacun des métaux. Le protocole ENV1 comportait en effet l'étude des caractéristiques chimiques dans les



sédiments de la zone de dragage, tant dans la phase de caractérisation de la macro-zone (fiche 3 d'ENV1) que dans la phase de caractérisation du couloir de dragage (fiche 5 d'ENV1). Les polluants organiques, surveillés pour la défense du milieu marin (tels que, par exemple, IPA et composés organochlorurés), ont presque tous une stabilité chimique élevée et, par conséquent, ils persistent longtemps dans l'environnement. Cela en fait malheureusement des polluants ubiquitaires, qui ont tendance à s'accumuler dans les sédiments et les organismes marins. Leur présence dans le milieu marin peut difficilement s'expliquer par des situations naturelles. Donc, si l'on en constate la présence au cours de la phase de caractérisation de la macro-zone, dans la Phase C1 suivante (de caractérisation du site ou couloir de dragage), il faut prévoir de limiter le terrain de dragage à une zone non polluée.

Sur la base des expériences menées pour la rédaction d'études environnementales relatives au dragage de certains dépôts de sables fossiles le long de la plate-forme continentale du Latium (activités qui ont suivi l'élaboration d'ENV1), l'ICRAM a proposé d'aborder le problème de la qualité chimique des sédiments (métaux) de manière plus spécifique (Nicoletti *et al.*, 2006; Paganelli *et al.*, 2007).

En effet, dans le cas des métaux, il peut se produire que les anomalies de concentration découvertes dans les sédiments soient réellement dues à des phénomènes naturels (par exemple anomalies géochimiques); dans ce cas il est important non seulement de démontrer le caractère naturel du phénomène, mais aussi d'évaluer si, et dans quelle mesure, le métal est mobile et donc potentiellement bio-disponible. Les seules valeurs d'abondance totale ne permettent ni de remonter aux espèces chimiques, ni de différencier l'apport d'origine naturelle de l'apport d'origine anthropique. En présence de provinces géochimiques, la teneur totale particulièrement élevée d'un métal n'est pas représentative d'une situation de contamination; en outre, dans ce cas, les métaux sont généralement présents sous une forme difficilement mobilisable avec les variations normales des paramètres chimiques-physiques, auxquelles on peut s'attendre après la manutention des sables.

Par conséquent, si en phase de caractérisation de la macro-zone (Phase B) des anomalies de concentration devaient apparaître dans le sédiment superficiel pélagique, durant la Phase C1 suivante il faudra prévoir des enquêtes spécifiques plus approfondies (par exemple procédures opérationnelles d'extraction séquentielle) afin d'évaluer la mobilité des espèces métalliques à l'intérieur du sédiment superficiel (cas 1) et, donc, le caractère naturel ou non des concentrations observées. Si les résultats de la Phase B ne révèlent pas d'enrichissements particuliers dans les sédiments superficiels, durant la Phase C1 suivante on prévoit de déterminer le seul contenu total (cas 2).

CAS 1) en phase B les analyses chimiques révèlent un enrichissement en certains éléments, dont l'origine ne peut être attribuée avec certitude à des conditions naturelles: la caractérisation de la zone de dragage (Phase C1) devra comporter, outre la caractérisation chimique du sédiment superficiel par détermination du contenu total, l'identification des fractions de mobilité différente pour les éléments en trace présents dans le sédiment superficiel pélagique de la zone de dragage, par extraction séquentielle;

CAS 2) les résultats de la phase B ne révèlent pas de conditions anormales d'enrichissement dans les sédiments superficiels: en phase de caractérisation de la zone de dragage (Phase C1) il est prévu de procéder à la caractérisation chimique du sédiment superficiel par détermination du contenu total.

Application d'ENV1 au cas de l'Emilie Romagne (ARPA IA et DISTART)

L'applicabilité du Protocole ENV1 à la situation de la Région Emilie-Romagne a été évaluée en tenant compte des conditions particulières dans lesquelles se trouvent les dépôts sablonneux



reliques, dans le cadre de la plateforme continentale située en face de la Région. Ledit Protocole est applicable à cette situation.

Notre méthodologie reproduit ce qui a déjà été effectué pour la création, la conception du projet et l'exécution, aussi bien de la première intervention de rechargement au moyen de sables sous-marins réalisée en Emilie-Romagne en 2002, que dans la deuxième intervention exécutée par la Région en 2007. En effet, les deux interventions ont été précédées de vastes campagnes de caractérisation, qui ont fourni une connaissance complète des aspects chimio-physiques et biologiques des différents milieux marins intéressés, avant la réalisation des travaux (aire de dragage, zones limitrophes, plages).

Pour ce qui concerne au contraire la phase post-opération, la première intervention de rechargement au moyen de sables sous-marins en 2002 a été soumise à un programme détaillé de monitoring basé sur des relevés annuels, tant pour ce qui concerne l'aire de prélèvement que les plages faisant l'objet de rechargement. Et aussi pour l'intervention effectuée en 2007, on a prévu un programme similaire de campagnes annuelles pour s'assurer des conditions post-opération. La seule discontinuité a concerné uniquement le nombre de stations d'échantillonnage au sein d'une très petite aire de prélèvement (0,2 km²), inférieures à ce qui est indiqué par le protocole pour une seule aire. Compte tenu de la faible extension et de la grande distance de la côte (40 km), on a en effet opté pour un seul échantillon.

Nous soulignons, par ailleurs, plusieurs améliorations qui sont le fruit de l'expérience acquise ces dernières années dans le domaine de l'utilisation de dépôts sous-marins de sables utiles pour le rechargement des plages du littoral de la Région.

Ces considérations découlent essentiellement de la caractéristique des dépôts sablonneux qui se trouvent face aux côtes de la Région Emilie-Romagne. Ils sont en général à une distance de 50 km de la côte, sur des fonds marins de l'ordre de 35÷50 m, et ils offrent des épaisseurs utiles pour le dragage, de quelques mètres.

Sur la base de ces considérations, nous suggérons de garder à l'esprit les informations récoltées sur la stratigraphie du dépôt, afin de permettre une meilleure planification des activités de dragage. Dans le cas de dépôts sablonneux affleurant, cette information se révèle utile pour éviter, autant que possible, d'atteindre la limite entre les sables et les dépôts sous-jacents et d'altérer la nature du fond marin. Il faut absolument surveiller les modalités et les délais de récupération lors de la phase post-opération dans l'aire directement intéressée par le dragage.

Application d'ENV1 au cas de la Toscane (Province de Livourne)

La Province de Livourne, bien que soulignant la valeur particulière du milieu marin devant les côtes toscanes, comme elle l'a déjà exprimé en phase A (citation), est pleinement d'accord sur les modalités d'enquête du Protocole ENV1, tant pour la zone de dragage que pour celle qui fait l'objet d'un rechargement.

Application d'ENV1 au cas de la Macédoine de l'Est et de la Thrace (Université Democritus de Thrace)

L'Université Democritus de Thrace (DUTH) a examiné à fond le protocole ENV1 et a conclu que la méthodologie proposée satisfait aux conditions ambiantes établies par la législation nationale et régionale au sujet des projets inférieurs de dragage et de rechargement des plages.



Quoi qu'il en soit, le DUTH a mis en évidence certains aspects, non considérés jusqu'à présent, ni dans ENV1 ni dans la littérature, qui pourraient fournir des thèmes d'approfondissement ultérieur intéressants. Il s'agit, plus particulièrement, de l'étude des variations entraînées par le rechargement, relatives aux points suivants:

- principaux paramètres géotechniques des sables (densité relative, dureté, résistance au cisaillement) dans la zone de rechargement, et les effets possibles sur la faune benthique qui y réside. En effet les caractéristiques environnementales à décrire dans le secteur de rechargement doivent comprendre également la dureté et la compacité des plages, en ce sens que les plages rechargées tendent à être plus dures et donc moins appropriées à accueillir la nidification que les plages normales.
- couleur des sédiments de plage, par rapport spécifique (et exclusif) à la variation éventuelle de pouvoir thermique du sédiment, et effets possibles sur la faune benthique, compte tenu du fait que les sédiments plus foncés peuvent avoir comme conséquence des températures plus élevées de 0,5 à 1°C dans les sédiments.

Quant aux sédiments redéposés dans la zone de rechargement, le DUTH attire enfin l'attention sur un autre aspect qui pourrait fournir des indications utiles, non seulement pour l'étude du projet, mais aussi par rapport aux répercussions possibles sur l'environnement. Il s'agit de l'étude de la quantification des mécanismes de transport et de tri transversal, qui peuvent intéresser les sédiments redéposés, dont la mobilité est généralement supérieure à celle des sédiments d'origine.

Nous soulignons que les observations présentées dans ce paragraphe ont été pleinement partagées au sein du partenariat et seront certainement prises en compte pour de futures applications expérimentales. Ainsi, sur la base de données expérimentales directes (nécessaires car sur cet aspect la recherche bibliographique a révélé le manque total de données), on pourra à l'avenir présenter une proposition méthodologique ciblée sur ces problématiques à l'intérieur du protocole.

Application d'ENV1 au cas de la Ligurie (ARPAL)

L'activité d'ARPAL a consisté à mettre en évidence la possibilité d'adapter le protocole ENV1 à la situation particulière de la Ligurie.

En Ligurie, en effet, il faut prêter une attention extrême aux effets éventuels du dragage sur les habitats marins (dans la zone de dragage), mais aussi et surtout aux impacts possibles dans la zone de rechargement, dus principalement aux effets:

- du nouveau profil de plage sur les communautés benthiques;
- de la dispersion du sédiment redéposé, non stable sur les fonds limitrophes de la plage submergée,

comme il est spécifié ci-après.

En Ligurie, les habitats marins côtiers les plus sensibles et les plus vulnérables aux activités de rechargement sont:

- herbiers à *Posidonia oceanica*;
- peuplements côtiers de substrat dur photophiles (par exemple les peuplements de *Cystoseira*, les communautés photophiles sur *beach-rock*), tant sciaphiles (coralligène, précoraligène, peuplements des grottes).

La particularité du milieu côtier ligure est qu'à la différence d'autres types côtiers italiens il s'agit rarement de systèmes de plage du type dissipatif (grand développement en longueur et en largeur de la plage submergée, faible pente, granulométrie fine). Dans ces conditions (plages de type dissipatif) des habitats différents de ceux des sables fins se trouvent en général assez loin de la



côte. Par exemple, la limite inférieure des herbiers à *Posidonia oceanica* se trouve physiologiquement à une profondeur d'au moins 7-8 mètres, à une distance de centaines de mètres de la côte (telle est la typologie, par exemple, du trait de côte entre Albenga et Loano).

On trouve beaucoup plus souvent en Ligurie de petites plages au profil réflexif ou intermédiaire (faible étendue de la plage submergée, forte pente, granulométrie graveleuse) et adjacentes à des traits de falaise. Dans ces conditions les herbiers à *Posidonia oceanica* (établis sur des mattes ou sur le rocher) peuvent se trouver très près de la plage (profondeurs inférieures à 5 mètres et distance de quelques dizaines de mètres de la côte). En outre, sur les traits de falaise naturelle adjacents on peut trouver des habitats de qualité comme des ceintures de *Cystoseira* ou des falaises à la base desquelles ou dans les anfractuosités desquelles se trouvent des peuplements structurants sciaphiles.

Dans ce cas il est beaucoup plus délicat d'évaluer les impacts possibles, de sorte que, même dans les études de surveillance de l'environnement, les conditions suivantes doivent être satisfaites :

- selon les conditions hydrodynamiques, la granulométrie et les quantités de sédiment employées, on doit connaître la stabilité du matériau de rechargement ainsi que le profil de fermeture de la plage submergée, pour vérifier qu'à l'intérieur et dans un environnement proche il n'existe pas d'habitats à protéger;
- vu que, de toute façon, un certain pourcentage du matériau le plus fin se dispersera au-delà du profil de fermeture (car il est impossible de sélectionner parfaitement le matériau le plus adapté), il faut quantifier ce pourcentage et imposer des limites de tolérance.

Ces évaluations sont d'ailleurs actuellement requises par la législation régionale spécifique, en particulier dans le dgr n° 1533 du 2 décembre 2005 "Critères visant à sauvegarder l'habitat naturel prioritaire de *Posidonia oceanica*" (www.ambienteinliguria.it)

D'autres questions sur lesquelles il faut souligner les particularités de la situation ligure sont les suivantes:

- en Ligurie on ne connaît pas pour le moment de gisements de sables fossiles d'une grande extension (par exemple semblables à ceux que l'on trouve le long du littoral tyrrhénien du Latium). Dans ces conditions on propose que le nombre d'enquêtes et de suivis du milieu effectués pour le rechargement des plages par des sables fossiles soit fonction de la quantité de matériau utilisé (par exemple en supposant une simplification des protocoles sur l'environnement en cas de faibles avancées de la ligne de rivage et/ou de l'emploi de volumes modestes);
- puisque tout le littoral ligure se trouve à l'intérieur du Sanctuaire des Cétacés, il faudra prévoir un plan particulier de surveillance du milieu afin que le dragage ait lieu sans graves effets sur les espèces sensibles, qui pourraient être affectées par la présence de grosses embarcations (dragues) opérant de manière continue pendant plusieurs jours.

En Ligurie on ne trouve pas de grandes quantités de mollusques bivalves d'intérêt commercial. Il s'agit en effet d'un type de pêche peu pratiquée; actuellement les seules zones du littoral ligure où les mollusques bivalves sont une ressource économique sont la zone comprise entre Portovenere et l'île de Palmaria (La Spezia) et la zone qui fait face à la digue foraine du Golfe de La Spezia, où existent des installations de mytiliculture. Dans les cas cités, on pourrait avoir des effets sur les peuplements, liés à la diffusion éventuelle de la plume de turbidité à partir des zones de dragage et de rechargement.

L'examen effectué a donc mis en évidence le fait que, bien qu'une fois complété et/simplifié pour tenir compte des caractéristiques morphologiques et environnementales des côtes ligures, le protocole ENV1 peut être efficacement adapté à une situation complexe comme celle de la Ligurie, si différente des situations territoriales pour lesquelles ENV1 a été initialement mis au point.



LES INNOVATIONS D'ENV2

La simplification des listes d'analytes

L'une des questions sur lesquelles tous les partenaires sont généralement d'accord est la nécessité de simplifier le protocole ENV1, et plus particulièrement de réduire la liste des substances (métaux et polluants organiques) à rechercher dans les sédiments de la zone de dragage afin de vérifier l'état chimique des sédiments à manutentionner; en effet, il n'est pas possible d'établir une liste unique répondant de manière appropriée aux différents besoins des unités géographiques et administratives intéressées.

Chaque pays devra donc définir indépendamment des autres la liste des substances, en prenant en compte:

- les réglementations nationales
- les directives européennes,
- les caractéristiques géochimiques locales,
- l'histoire récente de la zone (événements accidentels qui pourraient en quelque sorte avoir intéressé la zone étudiée).

La liste des substances, aux termes de la Directive 2000/60/EC, doit, quoi qu'il en soit, inclure tous les polluants appartenant à la liste des priorités (donnée dans la Décision 2455/2001 EC) qu'une analyse des pressions aura révélés en quantité significative.

L'étude de la chimie dans la zone de dragage

Afin de bien évaluer les conditions de naturalité des sédiments superficiels de la zone de dragage (compte tenu en particulier du problème des métaux), vu la grande variabilité des fonds géochimiques naturels, caractéristique de nombreuses zones marines méditerranéennes, on a proposé dans ENV2 une activité complémentaire pour vérifier la mobilité réelle des métaux dans des zones où, pour les analytes considérés, des concentrations anormales sont connues.

Dans les cas précités, il faudra donc prévoir des analyses spécifiques ultérieures d'extraction séquentielle (étude de la répartition des différentes phases à l'intérieur du sédiment) sur les sédiments superficiels présents dans le couloir de dragage pour vérifier leur naturalité (concentrations à rattacher à des conditions de fond naturel) et leur mobilité.

L'étude de la turbidité: unification des unités de mesure

La recherche bibliographique menée durant la phase A sur les valeurs de turbidité et sur les taux de sédimentation dans les régions participant au sous-projet a mis en évidence une grande carence d'informations. En outre, l'une des plus grandes difficultés apparues justement durant cette phase a été l'impossibilité de comparer les données de turbidité trouvées, à cause de l'emploi d'unités de mesure différentes.

La littérature recensée en phase A, en effet, a montré que les données sur la turbidité sont exprimées dans différentes unités de mesure: FTU (*Formazine Turbidity Unit*) et NTU (*Nepheloid Turbidity Unit*) (au moyen du turbidimètre) et % de transmission de la lumière (au moyen du mesureur de transmission). Il est clair que, à l'exception des valeurs exprimées en mg/l (relevables par les analyses de laboratoire), les autres sont difficiles à comparer sinon à l'aide d'artifices mathématiques non immédiats.

Nous estimons donc devoir souligner l'importance de toujours soumettre les résultats directement obtenus par des mesures de turbidité ou de transparence à une phase de calibrage au moyen de mesures de TPM, qui permettra de transformer toutes les données relevées par les instruments (et

donc exprimées en FTU, NTU (% de transmission de la lumière) en mg/l, afin d'obtenir des données qui soient toujours comparables.

A titre d'exemple, on peut observer dans la **figure 1** la droite de corrélation entre les valeurs de turbidité (FTU) directement relevées et les valeurs de TPM (mg l^{-1}), obtenues par les analyses de laboratoire. Le graphique (**figure 1**) met en évidence une bonne corrélation entre les valeurs de turbidité (FTU) et les valeurs de TPM (mg l^{-1}); grâce à la courbe de calibrage (qui dans ce cas a une valeur de $R^2=0,9371$) on peut donc utiliser les valeurs de FTU pour calculer le matériau en suspension.

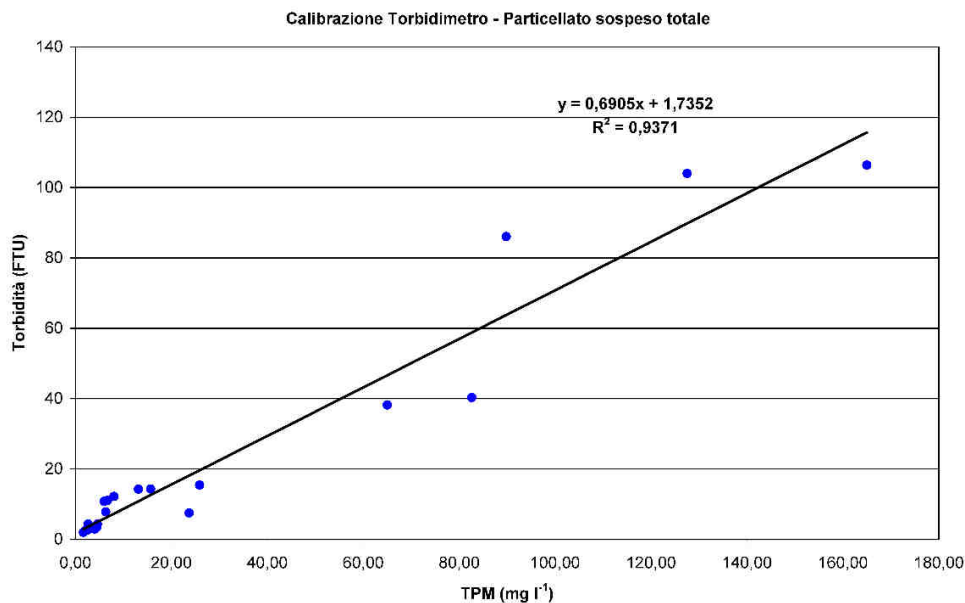


Figure 1 - Droite de corrélation (entre les valeurs de turbidité (FTU) directement relevées et les valeurs de TPM (mg l^{-1}), obtenues par les analyses de laboratoire

On trouve dans les figures qui suivent (**2 et 3**), pour un diaphragme donné (dans ce cas As20-As28), les élaborations des profils verticaux obtenues à partir des valeurs de turbidité (exprimées en FTU) directement relevées à l'aide du turbidimètre (**figure 2**) et les valeurs obtenues en utilisant les valeurs de TPM, à partir de l'équation de la courbe de calibrage (**figure 3**).

En ce qui concerne le mesureur de transmission, la procédure est tout à fait analogue, à cette différence près que la courbe de calibrage utilisée dans ce cas sera caractérisée par une pente inverse de celle qui est obtenue par le turbidimètre.

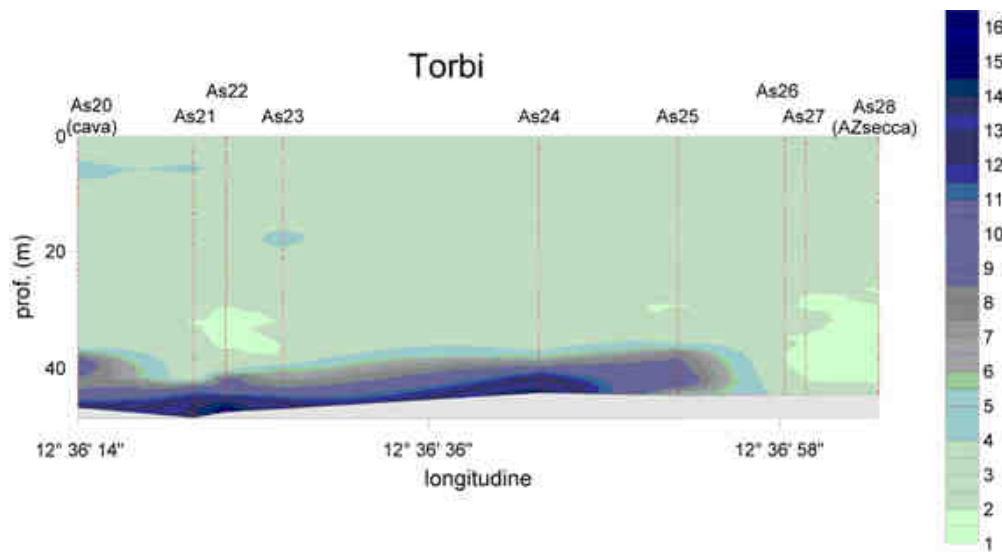


Figure 2 – Construction des profils verticaux de turbidité selon les données directement relevées à l'aide du turbidimètre, exprimées en FTU.

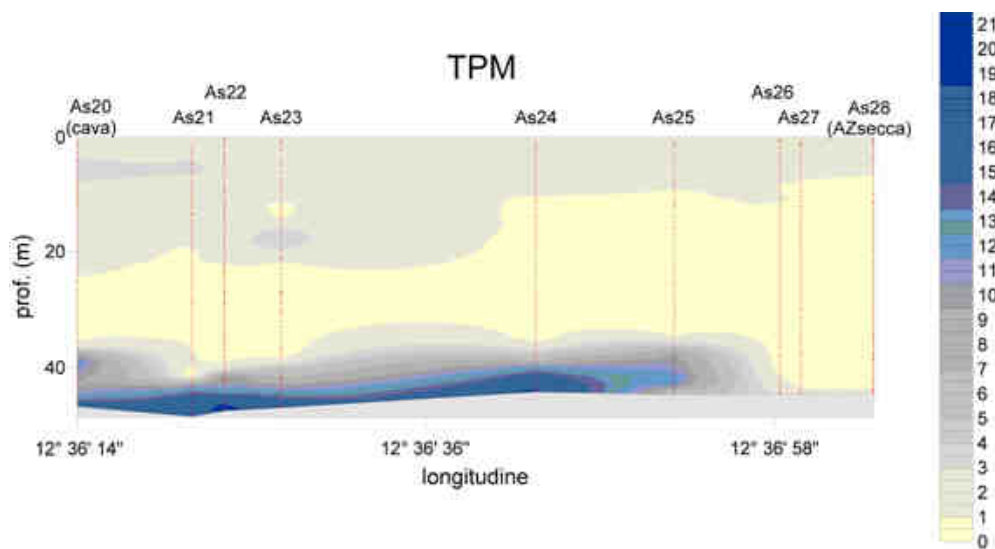


Figure 3 – Construction des profils verticaux de turbidité selon les données de TPM extraites de l'équation de la courbe de calibrage.

On estime donc qu'il est important de souligner la nécessité, entre autres pour une récolte de données en vue, par exemple, de créer des banques de données locales sur la turbidité (fondamentales pour étudier les valeurs de fond naturelles) et quel que soit l'instrument employé pour mesurer ce paramètre, de toujours prévoir une phase de calibrage, afin de convertir les données "physiques" relevées (turbidité ou transparence) en mg/l et de les rendre utilisables pour des contrôles ultérieurs, indépendamment des instruments employés.



Autres résultats: le protocole TURBone

[Etude des effets de l'augmentation de turbidité et de taux de sédimentation sur les herbiers à Posidonia oceanica](#)

Un autre résultat obtenu dans le cadre de ce sous-projet a été la mise au point d'une proposition de protocole méthodologique expérimental (présenté en détail dans le rapport étendu de la Phase B), essentiellement articulé en deux parties:

- Etude des effets de l'augmentation de la turbidité sur les herbiers à *Posidonia oceanica*;
- Etude des effets de l'augmentation du taux de sédimentation sur les herbiers à *Posidonia oceanica*.

Les deux parties du protocole présenté ont pour objectif final de déterminer des valeurs de seuil et/ou des valeurs limites de turbidité et de taux de sédimentation, afin de fournir également un instrument utile aux administrations intéressées, qui ont besoin de moyens appropriés pour pouvoir soutenir, cas par cas, de manière simple et univoque, le « bien-fondé, au plan de l'environnement » de ces interventions.

L'objectif de la méthodologie proposée est donc d'évaluer les effets de la manutention de sédiment (associée au dragage et au rechargement par des sables fossiles) sur les herbiers à *Posidonia oceanica*, afin de définir des valeurs limites ou des valeurs de seuil au-delà desquelles l'état de santé des herbiers est compromis de manière significative.

L'analyse de ces effets est compliquée par la difficulté de séparer l'effet de ces activités d'autres influences humaines et d'autres sources, en particulier le long des littoraux intéressés par des activités de rechargement qui sont généralement caractérisés par de fortes pressions anthropiques, par d'importants phénomènes érosifs et par la présence d'herbiers en phase de régression. C'est pourquoi, afin de réduire le nombre de variables en action, on mènera l'expérimentation dans des herbiers à *Posidonia oceanica* en bon état de conservation, en simulant artificiellement la réduction de pénétration de la lumière et l'augmentation du taux de sédimentation. On a donc décidé de rapporter l'expérimentation à des habitats sensibles (herbiers à *Posidonia oceanica*) afin de calculer des valeurs qui puissent être considérées comme assez "conservatoires" et potentiellement "exportables" et/ou applicables à d'autres milieux.

Une première contribution importante à la formation des deux protocoles en question, compte tenu entre autres de la carence extrême de données sur la turbidité et le taux de sédimentation dans les zones côtières (Phase A) a consisté à mettre en place une série de projets pilote en vue de:

- recueillir des données expérimentales de turbidité et de taux de sédimentation (en conditions naturelles et non);
- mettre au point des technologies innovantes pour l'étude de la turbidité, passage nécessaire pour perfectionner encore et "calibrer" le schéma opérationnel proposé.

Le premier cas (étude des effets de l'augmentation de la turbidité sur les herbiers de *Posidonia oceanica*) a donné lieu en particulier aux projets pilote d'ARPAL, ICRAM, Province de Livourne et Université Democritus, ciblés sur l'acquisition de données expérimentales de turbidité et de taux de sédimentation, en conditions naturelles (ARPAL, ICRAM, Province de Livourne et Université Democritus) et à la suite de actions de rechargement (ICRAM) ainsi que sur une étude poussée surtout au plan méthodologique, pour mettre au point une méthode innovante de mesure de la turbidité (ARPA-IA et DISTART).

Le second cas (étude des effets de l'augmentation du taux de sédimentation sur les herbiers à *Posidonia oceanica*), a fait l'objet des projets pilote d'ARPAL, Province de Livourne et ICRAM, ayant pour but d'acquérir des données sur les taux de sédimentation naturelle (ARPAL, Province de Livourne et ICRAM) et provoquée par le rechargement (ICRAM).

Le Protocole TURBone, dans sa version détaillée, est présenté dans l'[annexe 2](#).



ANNEXE 1

LE PROTOCOLE ENV2

**Protocole Méthodologique Spécifique pour l'Etude
des Aspects Environnementales pour l'Utilisation
des Dépôts Marins Sablonneux du Large et pour
le Remblaiement des Plages**

Phase A

Etude de Compatibilité Environnementale

Evaluations préliminaires à échelle régionale: zone de dragage

Zone d'étude

Zone suffisamment ample comprenant les potentiels gisements de sable présents et les zones en proximité pour un ample rayon et possiblement jusqu'à la ligne de côte.

Informations techniques et scientifiques disponibles en littératures relatives à:

Caractéristiques environnementales de la zone:

- bathymétrie et morphologie du fond
- granulométrie des sédiments superficiels
- chimique des sédiments superficiels (métaux et contaminants organiques)
- caractéristiques chimi-physiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)
- particules suspendues (totales et inorganiques)
- courantométrie
- peuplement benthonique (caractérisation biocénotique)
- peuplement ittique démersal (zones de nursery)

Utilisation de la mer:

- zones protégées:
 - zones archéologiques marines
 - zones marines protégées
 - zones naturelles marines protégées (oasis bleue)
 - zones protégées territoriales côtières
 - zones spécialement protégées de la Méditerranée (ASPIM)
 - parcs archéologiques submergés
 - sites nature 2000 (pSIC e ZPS)
- zones sensibles:
 - zones de nursery des principales espèces ittique démersales
 - prairies de Posidonia oceanica
 - zones marines de repeuplement
 - zones marines de tutelle biologique
 - bande des trois milles de la côte et/ou limite de la bathymétrie 50 m
- D'autres utilisations de la mer:
 - Zones destinées à la mariculture (mollusques et espèces ittiques)
 - Zones de versement des matériaux portuaires
 - Barrières artificielles submergées
 - câbles, conduites et oléoducs
 - terminaux pétroliers

polygones militaires

Elaboration des données

- Création d'un spécial database (préférentiellement réalisé à travers système G.I.S.)
- Création de cartes thématiques
- Visualisation des zones non compatibles avec le dragage à niveau d'environnement.

Résultats

Evaluation comparée préliminaire de la *Compatibilité Environnementale des activités de dragage*.

Conclusions

- Les données présentes en littérature ne sont pas suffisantes (à la Fase B)
- la mouvementation est compatible (a la Fase C1)
- la mouvementation est compatible seulement avec des opportuns artifices techniques (a la Fase C1)
- la mouvementation n'est pas compatible.

Phase A

Etude de Compatibilité Environnementale

Evaluations préliminaires à échelle régionale: zone de rechargement

Zone d'étude

Zone suffisamment ample qui comprend le trait de littoral directement intéressé par des activités remblaiement et les zones en proximité.

Informations techno-scientifiques disponibles en littérature relatives à:

Caractéristiques environnementales de la zone:

- granulométrie et composition des sédiments superficiels
- peuplement benthonique
- peuplement ittique démersal

Utilisation de mer:

- zones protégées:
 - zones archéologiques marines
 - zones marines protégées
 - zones naturelles marines protégées (oasis bleue)
 - zones protégées territoriales côtières
 - zones spécialement protégées de la Méditerranée (ASPIM)
 - parcs archéologiques submergés
 - sites nature 2000 (pSIC e ZPS)
- zones sensibles:

zones de nursery des principales espèces ittique démersales

prairies de Posidonia oceanica

zones marines de repeuplement

zones marines de tutelle biologique

- D'autres utilisations légitimes de la mer:

Zones destinées à la mariculture (mollusques et espèces ittiques)

Zones de versement des matériaux portuaires

Barrières artificielles submergées

câbles, conduites et oléoducs

terminaux pétroliers

polygones militaires

Elaboration des données

- Création d'un spécial database (préférentiellement réalisé à travers système G.I.S.)
- Création de cartes thématiques
- Visualisation des zones non compatibles avec le dragage à niveau d'environnement.

Résultats

Evaluation comparée préliminaire de la *Compatibilité Environnementale des activités de dragage*.

Conclusions

- les données présentes en littérature ne sont pas suffisantes (à la Fase B)
- les activités de remblaiement sont compatibles (à la Fase C1)
- les activités de remblaiement sont compatibles seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Fase C1)
- les activités de remblaiement ne sont pas compatibles

Phase B

Etude de Compatibilité Environnementale

Caractérisation de la macrozone: zone de dragage

Zone d'étude

Plan d'échantillonnage spécifique sur une zone vaste qui comprenne le dépôt à cultiver.

Recherches directes relatives à:

- granulométrie des sédiments superficiels
- chimique des sédiments superficiels : métaux (extraction totale) et contaminants organiques
- caractéristiques chimi-phisiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)

- particules suspendues (totales et inorganiques)
- courantométrie
- peuplement benthonique (caractérisation biocénotique)
- peuplement ittique démersal (zones de nursery)

Elaboration des données

- Intégration des données obtenues avec celles jaillies dans la Phase A, aussi en fonction des caractéristiques des dépôts sablonneux comme : localisation géographique, extension, éventuelle couverture de boue, méthode de dragage, et premières hypothèses sur les routes choisies pour le déplacement du sable de la zone de dragage à la zone de rechargement
- Création de cartes thématiques mises au jour
- Visualisation des zones non compatibles avec le dragage du point de vue environnemental

Résultats

Evaluation comparée préliminaire de la *Compatibilité Environnementale des activités de dragage*.

Conclusions

- la movimentation est compatible ; il n'y a pas la présence d'habitat sensibles dans des zones proches à celle-là de dragage (à la Fase C1)
- la movimentation est compatible seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Fase C1), à cause de la présence de habitat et/ou especes sensibles dans des zones proches à celle-là de dragage et/ou au long des routes hypotisées pour le déplacement du sable de la zone de dragage à la plage à recharger (à la phase C1 de la zone de dragage et de la zone de transport)
- la movimentation n'est pas compatible

Phase B

Etude de compatibilité environnementale

Caractérisation de la macrozone : zone de rechargement

Zone d'étude

Plan d'échantillonnage spécifique sur une zone vaste comprenant la plage à remblayer.

Recherches directes relatives à:

- granulométrie et composition des sédiments superficiels
- peuplement benthonique
- peuplement ittique démersal (zones de nursery)

Elaboration des données

- Intégration des données obtenues avec celles jaillies dans la Phase A, aussi en fonction des caractéristiques du rechargement, comme: la localisation géographique, extension du trait de littoral à recharger, composition des sédiments natifs, durée et période prévues pour les activités de rechargement; hypothèses sur les routes possibles pour le déplacement du

sable de la zone de dragage à la plage à recharger ripascere ;

- Création de cartes mises au jour
- Visualisation des zones non compatibles avec les activités de remblaiement du point de vue environnemental

Résultats

Evaluation comparée préliminaire de la *Compatibilité Environnementale* des activités de remblaiement.

Conclusions

- Les activités sont compatibles (à la Fase C1)
- Les activités de remblaiement sont compatibles seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Fase C1)
- Les activités de remblaiement ne sont pas compatibles

Phase C1

L'étude de Compatibilité Environnementale

Caractérisation des sites d'intervention: zone de dragage

Zone d'étude

Zone comprenant le site prévu pour le dragage.

Les stations d'échantillonnage seront placées à l'intérieur du site prévu pour le dragage et à l'extérieur, à distances croissantes en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de la zone et de l'éventuelle présence à proximité des zones sensibles. Disposition et nombre des stations d'échantillonnage:

- Zone intérieure au site de dragage : 4 stations par km²; au moins 3 stations par zones de dimensions inférieures
- Zone extérieure au site de dragage : 8 stations par sites de dimension égale ou inférieure à 1 km², le nombre devra proportionnellement augmenter au fur et à mesure de l'augmentation du site.

Recherches directes relatives à:

- bathymétrie et morphologie du fond* (relèvements S.S.S. et Multibeam)
- granulométrie des sédiments superficiels
- chimique des sédiments superficiels : métaux** (extraction totale et/ou extraction séquentiel. Pour l'explication voir la note) et contaminants organiques
- analyses microbiologiques des sédiments superficiels ***
- granulométrie et chimique des sédiments profonds****
- caractéristiques chimi-physiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)
- particules suspendues (totales et inorganiques)
- peuplement benthonique

* Seulement à l'intérieur du site de dragage

** Seulement dans les stations à l'intérieur du site de dragage. Si dans la phase B on a trouvé des anomalies de concentrations, à côté des analyses d'extraction totale, on doit prévoir aussi la réalisation de analyses plus spécifique d'extraction sequenciel.

***Seulement dans les stations à l'intérieur du site de dragage si les sables à destiner au remblaiement sont affleurants et privés de couverture pelitique

****Dans au moins trois carottes, prélevées à l'intérieur du site de dragage, à des altitudes significatives dans le but de la caractérisation du sédiment sableux à draguer

Elaboration des données

Analyse critique des données acquises, intégrées avec celles obtenues dans les Phases A et B, en fonction de:

- caractéristiques géologiques et sédimentologiques du dépôt sableux : localisation, extension, volume, épaisseur moyen, composition, présence de couverture pelitique
- méthode de dragage
- durée prévue pour les opérations de dragage

Résultats attendus

Evaluation comparée de la *Compatibilité Environnementale* des activités de dragage. Définition de spécifiques procédures pour le contrôle en cours d'oeuvre (Phase C2).

Conclusions

- la movimentation est compatible (à la Fase C2)
- la movimentation est compatible seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Fase C2)
- la movimentation n'est pas compatible

Phase C1

L'étude de Compatibilité Environnementale

Caractérisation des sites d'intervention: la zone de transport

Elle est faite seulement dans le cas où, **d'après les** Phases A et B, on note la présence d'habitat sensibles à proximité de la zone de transport.

Zone d'étude

Zone intéressée par la route de navigation de la drague du site de dragage à celui de rechargement, en particulier la zone où il y a des éventuels habitat et/ou especes sensibles.

Recherches directes relatives à:

- caractéristiques chimi-phisiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)
- particules suspendues

- peuplement benthonique (principale biocénose)

Traitement des données

Analyse critique des données acquises, intégrées avec celles obtenues dans les Phases A et B, **en fonction des caractéristiques du depot sablonneux aussi bien que de ces-là** techniques du moyen draguant, telles que:

- phénomènes d' overflow
- hypothétique route
- durée des activités

Résultats attendus

Evaluation comparée de la *Compatibilité Environnementale* des activités de transport des sables du site de draguage à celui de remblaiement. Définition de spécifiques procédures pour le contrôle en cours d'œuvre (Fase C2).

Conclusions

- la mouvementation est compatible (à la Fase C2)
- la mouvementation est compatible seulement avec des opportuns artifices techniques et/ou en choisissant des opportuns parcours pour le transport (à la Fase C2)
- la mouvementation n'est pas compatible

Phase C1

L'étude de compatibilité environnementale

Caractérisation des sites d'intervention: [la zone de rechargement](#)

Zone d'étude

Zone intéressée par les activités de rechargement.

Recherches directes relatives à:

- granulométrie et chimie des sédiments superficiels
- **habitat et/ou especes sensibles**

Traitement des données

Analyse critique des données acquises, intégrées avec celles obtenues dans les Phases A e B, en fonction des caractéristiques techniques des remblaiements, telles que:

- extension du trait de plage à recharger
- granulométrie et caractéristiques de composition du sable qu'on entend utiliser
- quantitatifs prévus
- avancement estimé pour la ligne de rive
- dessein du nouveau profil d'équilibre
- méthode de refluxement
- durée des activités

Résultats attendus

Evaluation comparée de la *Compatibilité Environnementale des activités de remblaiement*. Définition de spécifiques procédures pour le monitoring.

Conclusions

- il n'ya pas d'habitat sensibles en proximité de la plage à recharger, les activités de remblaiement sont compatibles (à la Phase C2)
- il y a des habitat et/ou espes sensibles en proximité de la plage à recharger, les activités de remblaiement sont compatibles seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Phase C2)
- les activités de remblaiement ne sont pas compatibles

Phase C2

L'Etude d'Impact Environnemental

Le contrôle en cours d'oeuvre: la zone de dragage

Zone d'étude

Même zone et mêmes stations déterminées dans la Phase C1.

Recherches directes relatives à:

- **Monitoring spatial et temporel de la plume de turbidité**
- Peuplement benthonique

Traitement des données

Analyse critique des données acquises, dans le but de vérifier si, au vecteur de chargement, des phénomènes d'overflow sont associés et si ces derniers peuvent intéresser les écosystèmes sensibles sur place.

Résultats attendus

Evaluation de l'*Impact Environnemental* des activités de dragage. Définition de temps et modalités du suivi *post operam* (Phase C3).

Conclusions

- la mouvementation peut poursuivre (à la Phase C3)
- la mouvementation peut poursuivre, avec la signalisation de spécifiques prescriptions techniques (à la Phase C3)
- la mouvementation ne peut pas poursuivre avec conséquente et immédiate interruption des activités (à la Phase C3)

Phase C2

L'Etude d'Impact Environnemental

Le contrôle en cours d'oeuvre: zone de transport

Zone d'étude

Même zone prévue dans la Phase C1. Dans cette phase on peut prévoir plusieurs campagnes de contrôle: la fréquence des activités sera décidée soit en fonction des caractéristiques de la zone et des techniques utilisées pour le dragage, soit en fonction des résultats déjà obtenus dans les phases antérieures.

Recherches directes relatives à :

- [Monitoring spatial et temporel de la plume de turbidité](#)
- [Habitat et/ou espèces sensibles](#)

Traitement des données

Analyse critique des données acquises, dans le but de vérifier si des phénomènes de chargement d'overflow sont associés pendant le transport et si ces derniers peuvent intéresser des écosystèmes sensibles [éventuellement](#) présents.

Résultats attendus

Evaluation de l'*Impact Environnemental* des activités de transport des sables du site de dragage à celui de remblaiement. Définition de temps et modalités du suivi *post operam* (Phase C3) à exécuter dans le cas où il y ait des *patterns* de distribution du sédiment mis en suspension tels à intéresser des écosystèmes sensibles.

Conclusions

- la mouvementation peut poursuivre
- la mouvementation peut poursuivre seulement avec des opportuns artifices techniques et/ou en choisissant des opportuns trajets alternatifs pour le transport (à la phase C3)
- la mouvementation ne peut pas poursuivre, avec conséquence immédiate interruption des activités (à la Phase C3)

Phase C2

L'Etude d'Impact Environnemental

Le contrôle en cours d'oeuvre: zone de rechargement

Elle est conduite seulement dans le cas où d'après la Phase C1 il y ait la réelle possibilité que des environnements et/ou des espèces sensibles présentes puissent être directement intéressés par le versement des sables (par ex. des prairies de *Posidonia oceanica*). Autrement on passe directement à la Phase de monitoring C3.

Zone d'étude

Même zone prévue dans la Phase C1.

Recherches directes relatives à:

- Habitat et/ou espèces sensibles

Traitement des données

Analyse critique des données acquises dans le but de vérifier si les activités de remblaiement peuvent intéresser des écosystèmes sensibles présents en manière négative.

Résultats attendus

Evaluation de l'*Impact Environnemental des activités de remblaiement*. Définition de temps et modalités du monitoring *post operam* (Phase C3).

Conclusions

- les activités de remblaiement peuvent poursuivre (à la Phase C3)
- les activités de remblaiement peuvent poursuivre seulement avec des opportuns artifices techniques (à la Phase C3)
- les activités de remblaiement ne peuvent pas poursuivre, avec consécutive immédiate interruption des activités (à la Phase C3)

Phase C3

L'Etude d'Impact Environnemental

Le monitoring post operam: zone de prélèvement

Zone d'étude

Même zone et mêmes stations déterminées dans la Phase C1.

Mêmes temps que ceux qui viennent des Phases C1 et C2.

Recherches directes relatives à:

- morphologie et bathymétrie du fond (SSS et Multibeam)
- caractérisation granulométrique des sédiments superficiels
- caractéristiques chimi-physiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)
- particules suspendues
- peuplement benthonique
- peuplement ittique démersal

Résultats attendus

Evaluation de l'*Impact Environnemental des activités de remblaiement*. Evaluation des temps et modalités de récupération de la zone.

Conclusions attendues

Les résultats du monitoring devront fournir aux autorités compétentes les informations techniques

pour établir:

- si les conditions des autorisations au prélèvement aient été respectées e (conformité et contrôle);
- les temps et les modalités de récupération de la zone draguée;
- si on ait prévenu les possibles effets négatifs sur l'environnement provoqués par l'exploitation du gisement sableux et/ou par la mouvementation de l'éventuelle couverture pelitique;
- si, après avoir défini les effets induits par la mouvementation et les temps de récupération, on puisse penser, en hypothèse, à des ultérieures exploitations du dépôt.

Phase C3

L'Etude d'Impact Environnemental

Le monitoring: zone de transport

A exécuter dans le cas où il résultait des *patterns* de distribution du sédiment mis en suspension pendant le transport, tels à intéresser des écosystèmes sensibles.

Zone d'étude

Même zone prévue dans la Phase C1 et C2. Les recherches devront s'effectuer dans toutes les stations choisies pendant la phase de caractérisation (C1 et C2). La fréquence des activités sera décidée soit en fonction des caractéristiques de la zone et des techniques utilisées pour le dragage, soit en fonction des résultats déjà obtenus dans les phases antérieures.

Recherches directes relatives à:

- caractéristiques chimi-phisiques de la colonne d'eau (température, salinité, turbidité, fluorescence et oxygène dissous)
- Particules suspendues
- Peuplement benthonique

Résultats attendus

Evaluation de l'Impact Environnemental sur les écosystèmes sensibles présents intéressés par des phénomènes d'overflow pendant le transport. Evaluation de temps et modalités de récupération de la zone.

Conclusions

Les résultats du suivi devront fournir aux autorités compétentes les informations techniques pour établir:

- Si les conditions des autorisations aient été respectées (conformité et contrôle)
- Les temps et les modalités de récupération de la zone intéressée
- Si on a prévu les possibles effets négatifs sur l'environnement provoqués par le transport des sables
- Si, après avoir défini les éventuels effets induits par le transport des sables et les temps de récupération de l'environnement, on puisse prévoir dans le futur des opportuns trajets alternatifs pour le transport.

Phase C3

L'Etude d'Impact Environnemental (Phase C3)

Le monitoring: zone de remblaiement

Zone d'étude

Même zone et mêmes stations que celles prévues dans la Phase C1. Les mêmes temps sortant des Phases C1 et C2.

Recherches directes relatives à:

- granulométrie des sédiments superficiels
- habitat et/ou espèces sensibles

Résultats attendus

Evaluation de l'Impact Environnemental des activités de remblaiement. Evaluation de temps et modalités de récupération de la zone.

Conclusions

Les résultats du suivi devront fournir aux autorités compétentes les informations techniques pour établir:

- Si les conditions des autorisations aient été respectées (conformité et contrôle)
- les temps et les modalités de récupération de la zone intéressée
- Si on a prévu les possibles effets négatifs sur l'environnement provoqués par les activités de remblaiement.



ANNEXE 2

Le protocole TURBone

Proposition d'un protocole expérimental pour l'étude des effets de l'augmentation de turbidité et du taux de sédimentation sur les herbiers de *Posidonia oceanica*

Introduction

L'introduction dans la colonne d'eau de quantités parfois importantes de solide suspendu se traduit par deux effets principaux qui sont la diminution de la pénétration de la lumière et l'augmentation des taux de sédimentation (Beachmed-e, 2006). Ces deux effets peuvent se répercuter sur les zones sensibles du milieu marin et, en particulier, sur les herbiers de *Posidonia oceanica*, "habitat prioritaire" protégé aux termes de la Directive 92/43/CEE (fig. 1).

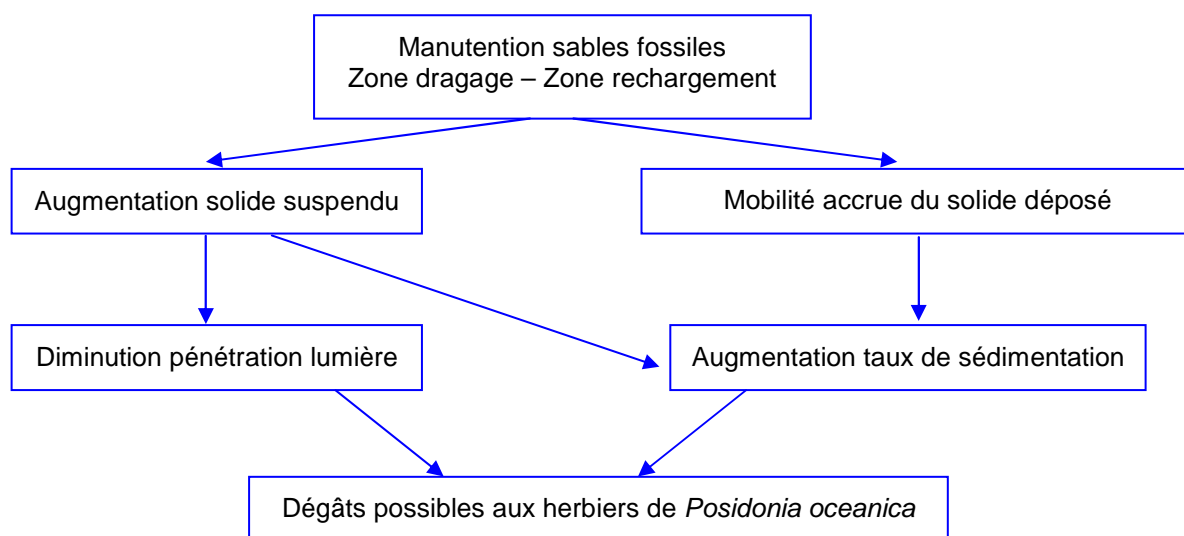


Figure 1 - Schéma des effets induits sur les herbiers de *Posidonia oceanica* par le dragage de sables fossiles et par le rechargement.

L'objectif de la méthodologie proposée est donc d'évaluer les effets de la manutention de sédiment (associée au dragage et au rechargement par des sables fossiles) sur les herbiers de *Posidonia oceanica*, afin de définir des valeurs limites ou des valeurs seuil au-delà desquelles l'état de santé des herbiers est compromis de manière significative.

L'analyse de ces effets est compliquée par la difficulté de séparer l'effet de ces activités d'autres influences humaines et d'autres sources, en particulier le long des littoraux intéressés par des activités de rechargement qui sont généralement caractérisés par de fortes pressions anthropiques, par d'importants phénomènes érosifs et par la présence d'herbiers en phase de régression.

C'est pourquoi, afin de réduire le nombre de variables en action, on mènera l'expérimentation dans des herbiers de *Posidonia oceanica* en bon état de conservation, en simulant artificiellement la réduction de pénétration de la lumière et l'augmentation du taux de sédimentation.

Etude des effets de l'augmentation de turbidité sur les herbiers de *Posidonia oceanica*

L'expérience consiste à créer un obscurcissement d'intensités différentes au moyen d'écrans en tissu ou en PVC (Ruiz e Romero, 2001) pendant des laps de temps différents dans des zones d'herbier à différentes profondeurs.

Le schéma méthodologique proposé est donc articulé comme suit:

1. Zone d'étude

Zone caractérisée par la présence d'un herbier de *Posidonia oceanica* en bon état de conservation et, si possible, non en régression. À cet effet on choisira un herbier qui a déjà fait l'objet d'une étude approfondie et qui satisfait aux conditions requises. Il faudra en outre disposer d'une cartographie récente détaillée, instrument incontournable pour aborder correctement une étude de monitoring (Ardizzone *et al.*, 2006), et, si possible, connaître les principaux descripteurs structurels de l'herbier.

2. Dessin d'échantillonnage

A l'intérieur de l'herbier choisi, on disposera 4 transects orthogonaux à la côte (1, 2, 3 e 4) et sur chacun d'eux on placera 3 stations, une le long de la limite supérieure (sup), une le long de la limite inférieure (inf) et une en position intermédiaire (int) (fig. 2).

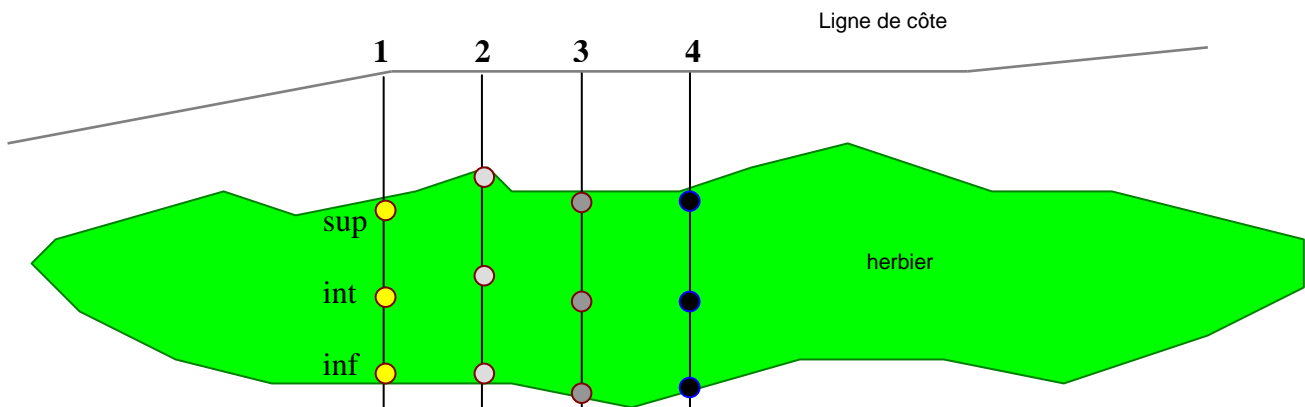


Figure 2 – Dessin d'échantillonnage (en jaune les stations de contrôle)

L'un des quatre transects choisis sera utilisé comme contrôle. Sur ce transect les stations seront dépourvues d'écran et définies par les carrés d'échantillonnage positionnés sur le fond. A l'endroit des autres transects, à chaque station on disposera les carrés d'échantillonnage et, en outre, des écrans de différente intensité (basse, : i_{basse} moyenne: $i_{moyenne}$, élevée: $i_{élevée}$), comme le montrent la figure 3 et le tableau 1.

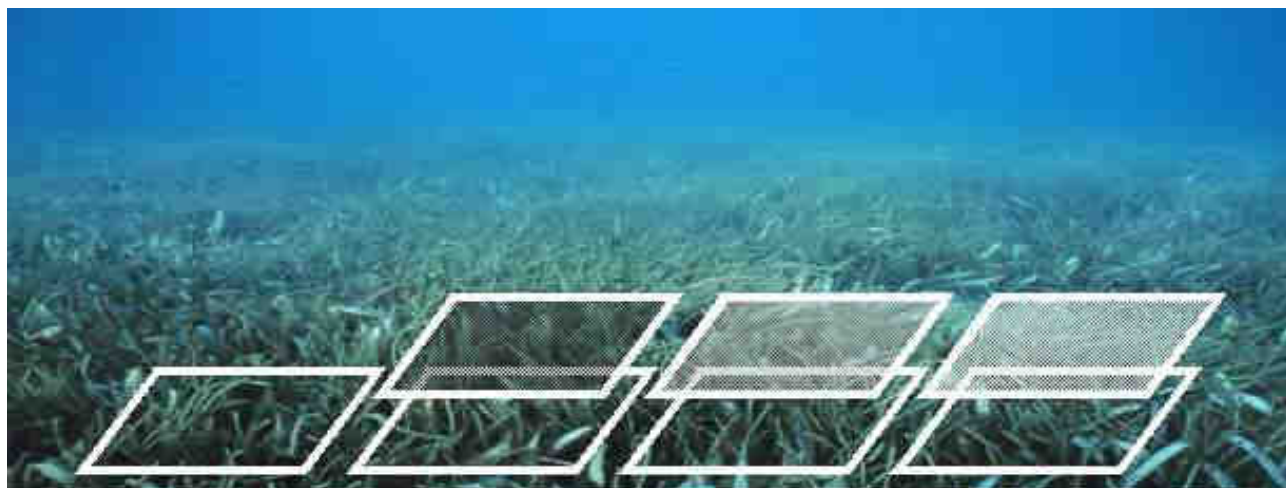


Figure 3 – Schéma d'échantillonnage sur lequel sont reportés les écrans de différente intensité.

	Transects			
Profondeur	1	2	3	4
Supérieure	Contrôle	i _{basse}	i _{moyenne}	i _{élevée}
Intermédiaire	Contrôle	i _{basse}	i _{moyenne}	i _{élevée}
inférieure	contrôle	i _{basse}	i _{moyenne}	i _{élevée}

Tab. 1 – Schéma du positionnement des écrans de différentes intensités sur chaque transept aux trois différentes profondeurs

Les écrans seront de forme carrée, d'au moins 1 m de côté, en tissu ou en PVC (Ruiz et Romero, 2001). Dans les deux cas on devra prévoir des interventions d'entretien, pour conserver inaltérée leur efficacité. Pour définir les niveaux d'interception de la lumière il faudra d'abord acquérir des données sur la turbidité naturelle et la turbidité induite pendant les activités de rechargement.

Les stations expérimentales devront être distantes l'une de l'autre d'au moins 5 mètres, afin que l'écran de l'une n'interfère pas sur les stations voisines (Ruiz et Romero, 2001).

Pour l'expérimentation proposée on suppose trois différentes durées de pose de l'écran: t_1 (15 jours), t_2 (30 jours) et t_3 (60 jours).

Par conséquent, pour tester les effets des écrans durant les 3 périodes indiquées ci-dessus, il faudra prévoir 3 transects pour chaque type d'écran, comme sur le schéma représenté par le dessin d'échantillonnage (fig. 4):

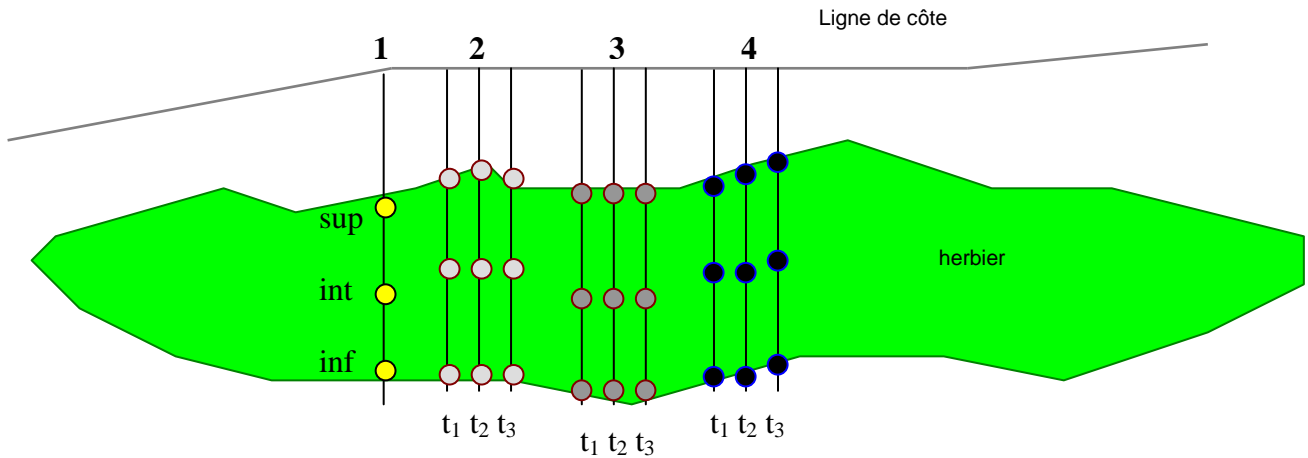


Figure 4 – Dessin d'échantillonnage (en jaune les stations de contrôle) sur lequel est reportée la répétition des transects, si l'on veut vérifier les effets des écrans pendant 3 laps de temps différents (t_1 , t_2 e t_3)

La période d'expérimentation, c'est-à-dire la période pendant laquelle appliquer les écrans, devra coïncider avec la période de l'année où la plante est plus sensible aux contraintes du milieu, si l'on veut obtenir des résultats qui soient le plus possible "conservatoires". La période où la plante est plus sensible aux contraintes du milieu, en particulier à la diminution de la lumière (causée par la turbidité), est selon Ruiz et Romero (2001) la période estivale. Durant cette période de l'année, en effet, les processus de photosynthèse sont particulièrement actifs, permettant l'accumulation des réserves de carbone nécessaires à la plante pour survivre pendant l'hiver: une réduction des processus de photosynthèse, entraînant la diminution de la production de carbone, pourrait en effet provoquer des dégâts considérables à l'herbier, même en l'absence d'effets immédiats (retard de quelques mois dans la réponse de l'herbier).

3. Paramètres à surveiller et durée

Pour évaluer les effets des écrans sur l'état de santé de l'herbier on examinera les principaux indicateurs de l'herbier, comme, par exemple, les descripteurs structurels (densité, couverture) et fonctionnels (phénologie, biomasse, croissance, production et productivité) et la faune associée (biomasse des épiphytes). En effet, ces paramètres (pour la description détaillée desquels nous renvoyons à Buia *et al.*, 2003 et Boudouresque *et al.*, 2006), sont considérés par différents Auteurs comme les descripteurs les plus efficaces des herbiers, en particulier au plan du rôle joué par la lumière (Alcoverro *et al.*, 2001; Elkay *et al.*, 2003) et par les impacts anthropiques, qui comportent généralement une augmentation de la turbidité (Ruiz et Romero 2001; 2003; Tomasello *et al.*, 2007). En outre, on relèvera aussi les principaux paramètres photosynthétiques (par exemple capacité photosynthétique et efficacité de respiration dans l'obscurité), d'accord avec Alcoverro *et al.* (2001) et Ruiz et Romero (2001, 2003).

En général, vu la variabilité saisonnière de la *Posidonia oceanica*, il faudra prévoir pour la phase de monitoring la répétition des échantillonnages durant toutes les saisons. En particulier, pendant la phase de masquage de la lumière il faudra prévoir des échantillonnages plus rapprochés dans le temps.

Dans le cas de paramètres pour le relèvement desquels il faut procéder à la récolte des faisceaux, on évaluera la fréquence des relèvements cas par cas, par rapport, entre autres, à la densité "initiale" de l'herbier. Par exemple, Ruiz et Romero (2001) considèrent, dans le cas d'un herbier de densité moyenne (300-400 faisceaux/m²), que la récolte d'un nombre de faisceaux

inférieur ou égal à 5% du nombre initial des faisceaux n'a aucune incidence sur l'état de conservation de l'herbier, c'est-à-dire que l'effet de l'échantillonnage est insignifiant.

Le monitoring de l'herbier devra durer au moins 1 an après la dépose des écrans.

Si l'on observe dans une ou plusieurs stations une souffrance excessive de l'herbier, on aura soin de retirer immédiatement les écrans et on entreprendra en même temps le suivi.

Etude des effets de l'augmentation du taux de sédimentation sur les herbiers de *Posidonia oceanica*

L'expérience consiste à provoquer un enterrement (artificiel) par déversement de différentes quantités de sable sur des zones d'herbier placées le long de la limite supérieure.

Le schéma méthodologique proposé est donc articulé comme suit:

1. Zone d'étude

Zone caractérisée par la présence d'un herbier de *Posidonia oceanica* en bon état de conservation et, si possible, non en régression. A cet effet on choisira un herbier qui a déjà fait l'objet d'une étude approfondie pour prouver l'existence des conditions requises. Il faudra en outre disposer d'une cartographie récente détaillée, instrument incontournable pour aborder correctement une étude de monitoring ([Ardizzone et al., 2006](#)), et, si possible, connaître les principaux descripteurs structurels de l'herbier.

2. Dessin d'échantillonnage

A l'intérieur de l'herbier choisi, on placera au moins 5 stations le long de la limite supérieure ([fig. 5](#)), qui est le secteur le plus vulnérable au risque d'enterrement.

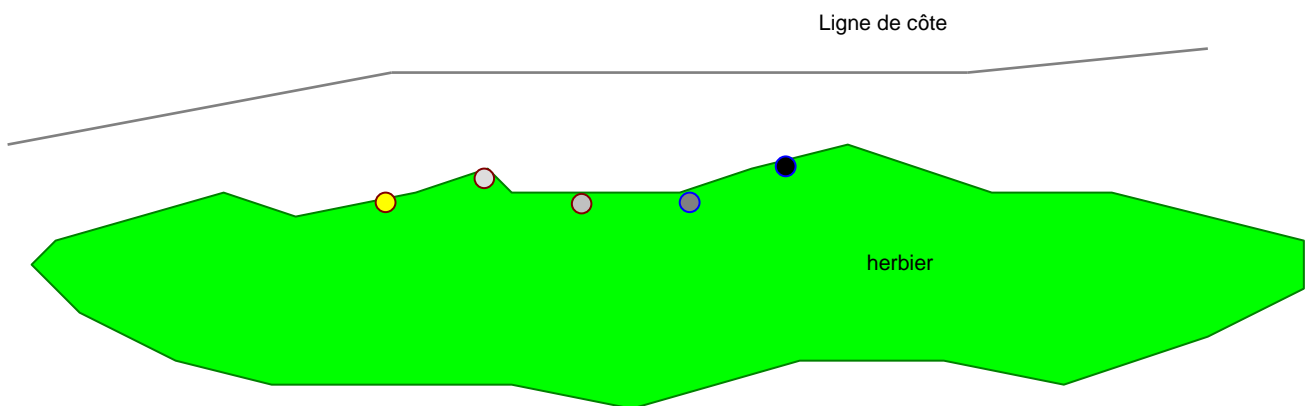


Figure 5 – Plan d'échantillonnage pour l'étude expérimentale des effets entraînés par une augmentation du taux de sédimentation (induit artificiellement) sur un herbier de *Posidonia oceanica*

Toutes les stations choisies seront délimitées par une enceinte *ad hoc* de dimensions aptes à empêcher la dispersion du sable déversé. L'enceinte sera de forme carrée, de 40 cm de côté.

L'une des 5 stations sera utilisée comme contrôle. Dans les autres on déversera différentes quantités de sable en vue de produire dans les différentes stations des enternements

d'importance variée. Durant cette phase on suppose que l'on produira artificiellement des enterrements égaux à: 0-3 cm, 5-7 cm, 9-10 cm, 12-15 cm. La limite maximum (d'enterrement) de 15 cm découle de l'étude de [Manzanera et al. \(1998\)](#), dans laquelle cette valeur apparaît comme le seuil au-delà duquel on assiste à la destruction complète de l'herbier. Dans tous les cas, les valeurs (d'enterrement) à utiliser dans l'expérimentation pourront être mieux définies de manière spécifique par des mesures directes dans les zones intéressées par des activités de rechargement.

La période d'expérimentation devra coïncider avec la période de l'année où la plante est plus sensible aux contraintes du milieu, si l'on veut obtenir des résultats qui soient le plus possible "conservatoires".

3. Paramètres à surveiller et durée

Pour évaluer les effets de l'enterrement sur l'état de santé de l'herbier, on examinera les principaux indicateurs de l'herbier, comme, par exemple, les descripteurs structurels (tels que la densité) et fonctionnels (tels que, par exemple, la croissance, la densité foliaire), pour la description desquels nous renvoyons à [Buia et al. \(2003\)](#) et [Boudouresque et al. \(2006\)](#). En particulier, [Boudouresque et al. \(1984\)](#) et [Manzanera et al. \(1998\)](#) considèrent la "mortalité des faisceaux" comme le paramètre auxquels se référer pour estimer les effets de l'enterrement.

En général, vu la variabilité saisonnière de la *Posidonia oceanica*, le monitoring devra prévoir plusieurs répétitions durant toutes les saisons. Dans le cas de paramètres pour le relèvement desquels il faut procéder à la récolte des faisceaux, on évaluera la fréquence des relèvement cas par cas, par rapport, entre autres, à la densité "initiale" de l'herbier. Par exemple, [Ruiz et Romero \(2001\)](#) considèrent, dans le cas d'un herbier de densité moyenne (300-400 faisceaux/m²), que la récolte d'un nombre de faisceaux inférieur ou égal à 5% du nombre initial des faisceaux n'a aucune incidence sur l'état de conservation de l'herbier, c'est-à-dire que l'effet de l'échantillonnage est insignifiant.

Le monitoring de l'herbier devra durer au moins 1 an après la perturbation (enterrement artificiel). Si l'on observe dans une ou plusieurs stations une souffrance excessive de l'herbier, on aura soin de « libérer » immédiatement les faisceaux du sédiment en excès, et on entreprendra en même temps le suivi de l'herbier.



Bibliographie

- ALCOVERRO T., CERBIAN E., BALLESTEROS E. (2001) - The photosynthetic capacity of the seagrass *Posidonia oceanica*: influence of nitrogen and light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **261**: 107–120
- ARDIZZONE G., BELLUSCIO A., MAIORANO L. (2006) - Long-term change in the structure of a *Posidonia oceanica* landscape and its reference for a monitoring plan. *Marine Ecology*, **27** (4), 299–309.
- BEACHMED-E (2006) – La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée (code 3S0155R). PROGRAMME OPÉRATIONNEL INTERREG III C – ZONE SUD. Composante 2. Mesure 2.4 : 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 finale, 80 pp.
- BOUDOURESQUE C.F., JEUDY de GRISSAC A., MEISNEZ A. (1984) – Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la Baie d'Elbu (Corse). In : Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. e Olivier O. (eds.) International Workshop on *Podisonia oceanica* Beds, pp. 185-191. *G.I.S. Posidonie Publ.*, Marseille.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. (2006) - Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE pub., 202 pp.
- BUIA M.C., GAMBI M.C., DAPPIANO M. (2003) – I sistemi a fanerogame marine. In: Gambi M.C. e Dappiano M. (Eds.). Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. *Biol. Mar. Med.*, **10** (suppl.): 145-198.
- ELKALAY K., FRANGOULIS C., SKLIRIS N., GOFFART A., GOBERT S., LEPOINT G., HECQ J.H. (2003) - A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). *Ecological Modeling* **167**: 1–18
- GACIA E., DUARTE M. (2001)– Sediment Retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* Meadows: the Balance between Depositing and Resuspension. *Estuarine, Coastal and shelf science*, **52**: 505-514
- MANZANERA M., PEREZ M., ROMERO J. (1998) – Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation*, **4**: 67-70.
- RUIZ J.M. , ROMERO J. (2001) - Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **215**: 107–120.
- 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
- TOMASELLO A., CALVO S., DI MAIDA G., LOVISON G., PIRROTTA M., SCIANDRA M. (2007) - Shoot age as a confounding factor on detecting the effect of human-induced disturbance on *Posidonia oceanica* growth performance. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.* **343**: 166–175.