

Projet BEACHMED-e

La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement durable des zones côtières de la Méditerranée

Sous-Projet MEDPLAN

(code :BMe- 3S0155R-3.1)

PROCESSUS D'ANALYSE ET DE GESTION DES ZONES COTIERES: METHODES D'EVALUATION DES RISQUES, DE REDUCTION DES IMPACTS ET D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE RAPPORT DE PHASE A

Recherches de la bibliographie relative au sous projet, état de l'art, analyse des données de base, échanges d'expérience, auditions d'experts

DESCRIPTION SYNTHETIQUE DU SOUS-PROJET MEDPLAN

Définition

Le projet MEDPLAN, approuvé en avril 2006 par les Régions adhérant au Projet européen Interreg III C Beachmed-e, se propose de: ***explorer les principales composantes d'un plan de gestion et d'aménagement de la côte afin de l'insérer dans un cadre opérationnel cohérent.***

Les composantes identifiées sont :

- la construction de scénarios à court et long terme des risques côtiers ;
- l'identification de modalités d'analyse et d'intervention de sauvegarde de l'environnement et de protection des infrastructures côtières ;
- la mise au point de stratégies opérationnelles pour la gestion et l'aménagement de la côte.

Principe fondamental à la base de ce projet: ***la défense de l'environnement à travers l'entretien et la requalification des territoires dans une perspective de développement durable.***

Les partenaires du Sous-Projet MEDPLAN

MEDPLAN se développe sur le territoire de six Régions européennes (sur les huit qui participent à Beachmed-e) intéressées par la mesure 3.1:

- Région Ligurie Chef-de file de la mesure 3.1 ;
- Région Anatoliki Makedonia, Thraki
- Région Crète
- Région Emilie-Romagne
- Département de l'Hérault
- Région Latium

Ce sous-projet est mené par sept groupes de recherche, réunis en partenariat:

- Département Polis, d'Histoire et Projet de l'Architecture, du territoire et du paysage (Chef de file des Partenaires) Université de Gênes, Faculté d'Architecture;
- IACM- FORTH, Fondation pour la Recherche et la Technologie, Institut de mathématiques appliquées
- ICRAM, Institut central pour la Recherche scientifique et technologique Appliquée à la Mer ;
- OANAK, Organisme de Développement de la Crète Orientale
- Université de Montpellier 1, CEP/LASER

- Université Democritus de Thrace - Laboratoire d' Hydraulique et des Travaux Hydrauliques
- Université de Ferrare, DST – Département des sciences de la terre

MEDPLAN définit un parcours d'ensemble d'analyse, de gestion et de planification de la côte ; chacun des groupes partenaires mène, dans sa Région d'appartenance, un programme de travail visant à approfondir les problématiques spécifiques des dynamiques côtières, en définissant une méthodologie d'acquisition et d'élaboration systématique des connaissances visant à protéger la côte ou en affrontant les aspects projectuels d'un processus de gestion et de développement durable des territoires côtiers.

LES CONTRIBUTIONS DES PARTENAIRES

1 Partenaire 1, Département Polis de l'Université de Gênes, Faculté d'Architecture

Préambule

La planification de la côte est un secteur bien particulier de la gestion du territoire: elle ne concerne pas en effet une zone délimitée du point de vue physique ou administratif, et elle n'affronte pas non plus un thème ou une question spécifique; elle se définit au contraire seulement à partir de la frontière entre la terre et la mer. Il s'agit là d'une frontière on ne peut plus incertaine, qui existe uniquement comme ligne sur une carte, tandis qu'en réalité elle varie continuellement compte tenu des vagues et des marées. Elle se déplace également de manière significative en raison des phénomènes liés à l'érosion et à l'accumulation. Elle peut être complètement altérée par l'homme de manière plus ou moins consciente. Mais surtout, lorsqu'on a pris comme référence la côte, la délimitation, par rapport à la terre ou à la mer, du territoire à planifier, ce fait ne doit jamais être considéré comme définitif ; ce territoire doit être continuellement redéfini en fonction des objectifs fixés par le plan.

Un plan, qui se fixe des objectifs généraux de protection et de développement des territoires côtiers, doit donc être articulé de manière à identifier les caractéristiques de chaque portion de la côte, en établissant pour chacune d'elles des objectifs spécifiques en fonction de ses ressources et de ses potentialités; de cette constatation dérive aussi la nécessité de définir une portion de territoire de profondeur adéquate. Etant bien entendu que tout ce qui se passe sur le bassin versant a une influence sur la portion de côte considérée, l'efficacité du plan est conditionnée par la capacité d'identifier un milieu relativement limité sur lequel on puisse mener à bien des projets de réhabilitation et de requalification efficaces, en tenant compte également des problématiques liées à un arrière-pays bien plus vaste mais en évitant de faire intervenir un certain nombre de facteurs, de variables et de sujets qui pourraient invalider la capacité de prévision du plan et rendre sa réalisation impossible.

Dans le cas de l'application du projet Beachmed-e, sous-projet Medplan, au territoire ligure, nous avons donc procédé dans un premier temps à la recherche d'un territoire côtier intéressant pour le sujet de notre étude et qui nous permette d'envisager des programmes d'interventions sur une vaste échelle; nous avons ensuite vérifié les ressources pouvant être mises en place, en ayant recours aux connaissances disponibles et en définissant un programme de travail permettant de les intégrer si nécessaire, de façon à pouvoir établir, lors des phases successives, quelles zones pourront être insérées dans un plan de protection et de développement durable et quels seront les objectifs du plan pour chaque territoire; enfin, toutes les propositions d'intervention définiront des actions-pilotes qui seront menées sur des portions limitées de la côte considérée

1.1 Le Sous-projet MEDPLAN dans la Région Ligurie

Le projet Medplan relatif au territoire ligure se propose d'expérimenter une méthodologie d'élaboration d'un plan-projet visant à requalifier une portion de côte, soit:

- Une stratégie générale de protection/requalification;
- Différentes lignes prioritaires d'action, compte tenu des caractéristiques et des vocations des zones retenues, qui seront confrontées aux instruments de planification urbaine et territoriale, aux différentes politiques, aux projets et aux programmes d'intervention ;

- Des propositions de développement de projets-pilotes particulièrement intéressants compte tenu de l'importance des territoires concernés et pouvant servir de catalyseurs à des processus de protection de la côte et de valorisation des territoires côtiers sur plus vaste échelle.

En choisissant une côte présentant un intérêt certain du fait de ses caractéristiques intrinsèques ou parce qu'elle a déjà fait l'objet d'opérations de remblaiement, nous souhaitons relier l'action localisée de protection du littoral à des perspectives de gestion de la zone côtière sur plus vaste échelle.

Le travail mené jusqu'à présent, et qui est décrit ci-dessous, distingue les opérations qui n'identifient pas une séquence rigide mais que l'on peut reconduire au programme contenu dans le Dossier de Candidature.

1.1.1 Opération 1: Identification d'un trait de côte pilote pour le développement d'un projet intégré d'aménagement. Visite des sites et sélection des aires pilotes

1.1.1.1 Le choix de la portion de côte pilote

Une première hypothèse a pris en compte quatre portions de la côte ligure; nous en donnons ci-dessous la liste en soulignant les caractéristiques qui ont justifié notre intérêt.

- A. La zone côtière du Beigua, qui s'étend d'Albisola à Arenzano. Il s'agit de six Communes situées sur une bande littorale présentant un intérêt écologique évident et séparant deux villes – et deux ports - : Gênes et Savone. Au cours de ces dernières années, ces Communes se sont montrées prêtes à collaborer face à la nécessité de développer des programmes de réhabilitation environnementale en situation de crise (risques de pollution due à la présence d'installations industrielles sur le territoire et à celle d'une épave sur les fonds marins face au littoral); ces communes tentent également de développer des politiques communes avec le parc naturel Régional du Beigua qui s'étend sur la zone montagneuse située dans l'arrière pays côtier
- B. La "Riviera delle palme" (Riviera des Palmiers), la riviera qui s'étend de Pietra Ligure à Ceriale. Les centres habités forment ici une conurbation côtière qui n'est interrompue que par le Cap Santo Spirito; c'est sur ce territoire que s'est développé un tourisme balnéaire "mûr", axé sur les résidences secondaires, qui a fini par générer un déclin général de la qualité urbaine et environnementale. La réalisation d'une nouvelle route, la nécessité de protéger la ressource fondamentale représentée par la plage, la possibilité future de réutiliser des zones littorales après le déplacement de la voie ferrée, sont autant d'occasions pour développer des projets communs de requalification de la bande côtière.
- C. La partie la plus occidentale de la Riviera dei fiori (Riviera des fleurs), de Bordighera à Vintimille. La conurbation côtière présente différents cas de figures: centres historiques, villas et hôtels entourés de jardins exotiques datant de l'époque de la première vague touristique sur la Riviera, périphéries urbaines et résidences secondaires ne présentant pas d'intérêt. Le paysage entre Vintimille et la frontière avec la France est formé essentiellement de zones rurales et semi-naturelles, dont certaines présentent un intérêt certain du point de vue paysager et environnemental.
- D. La partie de Riviera di Levante (Riviera du levant) comprise entre Moneglia et Lévanto. La côte y est particulièrement montagneuse et les centres habités, installés dans des vallées profondes débouchant sur la mer, sont séparés par des promontoires à pic sur la mer. C'est la nature qui prévaut ici. Après l'échec du projet de création d'un parc régional, soutenu par les Communes, il reste la possibilité de réunir les politiques locales au sein d'un programme unitaire de protection et de développement.

Après une série de contrôles sur place et une évaluation précise des avantages et des inconvénients présentés par chacun de ces sites pour le développement d'un projet-type, le choix s'est arrêté sur la zone indiquée par la lettre C, compte tenu des considérations suivantes:

- la variété des situations permet de réellement bien tester la méthode de travail ; la présence en particulier de zones non encore bâties nous autorise à avancer des

- hypothèses de requalifications importantes ; la présence de sites significatifs du point de vue naturel, paysager, ou historique et archéologique peut servir de point de départ à des projets de valorisation pouvant avoir des répercussions importantes sur les territoires;
- le manque de coopération de la part des Communes était un élément à déplorer jusqu'à présent, synonyme de faiblesse. Cependant, après avoir constaté l'intérêt et la disponibilité des Administrations Communales à discuter ensemble autour du projet Beachmed MEDPLAN, le développement du projet lui-même représente une occasion fondamentale pour démarrer un intéressant processus de collaboration entre les organismes.
 - enfin (et c'est la motivation principale) d'importantes opérations de remblaiement des plages, réalisées grâce aux fonds européens, ont déjà eu lieu sur ce territoire; en appliquant MEDPLAN dans ces mêmes zones, nous avons non seulement la possibilité de donner une continuité à l'œuvre entreprise et à en favoriser l'insertion dans un programme de réhabilitation et de requalification environnementale sur plus vaste échelle, mais également de mener de manière expérimentale un processus complet de gestion de la zone côtière – depuis l'intervention de conservation/reconstruction du littoral jusqu'au projet de développement – ce qui est justement l'objectif fondamental de MEDPLAN.

1.1.1.2 Les caractéristiques de la zone d'étude retenue

La zone sélectionnée est donc celle qui va de la frontière avec la France au littoral compris entre Bordighera et Ospedaletti et qui concerne les Communes de : Vintimille, Camporosso, Vallecrosia et Bordighera.

Différents types de milieux se rencontrent tout le long de cette côte, et les particularités locales sont très variées. Pour simplifier nous avons identifié quatre zones principales:

- 1) Des Balzi Rossi (frontière française et limite occidentale du Département des Alpes Maritimes) à la Punta della Roccia (Commune de Vintimille): la nature est prédominante: présence de sites de très grande qualité du point de vue environnemental; végétation remarquable, qu'elle soit spontanée ou introduite (Mortola); certaines zones rurales continuent à cultiver les fleurs et les plantes ornementales. Outre la beauté du paysage et la relative intégrité de l'environnement, il faut également tenir compte de la présence d'éléments très importants sous le profil historique et scientifique: le site archéologique des Balzi Rossi, les jardins d'acclimatation de la villa Hanbury, la voie romaine et les vestiges romains et médiévaux près du centre historique de Vintimille;
- 2) De la Punta della Roccia à l'embouchure du torrent Rattaconigli (Communes de Vintimille, Camporosso, Vallecrosia): il s'agit là d'un milieu essentiellement urbain "de banlieue", qui se caractérise par la qualité médiocre des constructions donnant sur la mer, par des problèmes d'érosion (résolus uniquement sur une partie du littoral grâce aux opérations récentes de remblaiement des plages), par une dégradation diffuse (présence de zones agricoles abandonnées et de serres délabrées); l'utilisation balnéaire de ce littoral est fondamentale pour l'économie touristique locale. La continuité du front urbain est interrompue par une oasis faunique qui s'étend le long de la partie terminale du torrent Nervia et est reliée à l'importante zone archéologique de la ville romaine d'Albium Intemelium;
- 3) De l'embouchure du torrent Rattaconigli au Cap Sant'Ampelio (Commune de Bordighera): la promenade de Bordighera (qui rejoindra bientôt Rattaconigli) définit un front urbain de relativement bonne qualité, avec des espaces verts, typiques d'un lieu de séjour sur la Riviera; il existe toutefois ici aussi quelques problèmes, liés en particulier à l'érosion de la plage;
- 4) De Cap Sant'Ampelio à la Madonna della Ruote (Commune de Bordighera): un territoire mixte et pas complètement urbanisé; on y trouve des infrastructures (le port touristique de Bordighera), des plages, des falaises; sans oublier des éléments remarquables du point de vue architectural (la villa Garnier) et environnemental (les anciennes cultures de palmiers de la vallée du Sasso).

Une marge en amont de la zone d'étude ne sera pas définie, car nous irons plus ou moins en profondeur en fonction des connexions entre les phénomènes observés et les problèmes à affronter sur le front de mer et les conditions de l'arrière-pays.

1.1.2 Opération 2: définition de la méthode

Lors de la phase A, trois grandes orientations méthodologiques ont été définies:

1) définition d'un cadre cognitif qui consiste à :

- recueillir, saisir et élaborer les données disponibles
- élaborer les instruments cartographiques comme base de connaissance pour le projet (en collaboration avec les structures et les opérateurs mis à disposition par la Région Ligurie à l'intérieur de ses bureaux, de manière à obtenir l'intégration immédiate des résultats dans le système informatique régional)

2) élaboration d'un programme commun de protection et de développement durable de la côte ainsi développé:

- ouverture d'un dialogue avec les partenaires et les collectivités locales
- organisation de rencontres et de tables rondes de confrontation dans une perspective de gouvernance
- recherche d'homogénéité et de compatibilité entre les différents instruments de planification et d'administration
- recherche de convergences et de synergies entre les politiques territoriales des différentes collectivités
- évaluation des perspectives pour la création d'un agenda stratégique local

3) présentation d'un plan-projet ainsi organisé:

- élaboration d'un programme-cadre d'intervention qui établisse des critères généraux et des lignes guides pour l'administration de la zone côtière
- recherche des territoires destinés au développement des projets, en croisant données territoriales, prévisions de plan et conditions locales
- développement de projets de principe pour des situations locales spécifiques.

Nous avons également sélectionné une série de *mots-clés* utiles à l'élaboration de ce projet:

- sauvegarde de la côte
- scénarios de transformation
- requalification environnementale
- réhabilitation et valorisation des paysages
- projets intégrés
- mise en oeuvre et réalisation des plans
- synergies entre territoires
- coopération intercommunale et transfrontalière
- tourisme « conscient »
- développement durable

1.1.3 Opération 3: définition du programme

Un premier programme de travail a été défini au début de la phase A. Il sera par la suite mis à jour et développé.

1.1.3.1 Gestion du travail

Le projet a été développé en étroite collaboration avec le Secteur planification de la Région Ligurie, par un groupe de recherche qui s'est constitué auprès du Département Polis de l'Université de Gênes, Faculté d'Architecture; des analyses sur place et des contrôles du site seront ensuite menés afin de constituer une banque de données.

Les stratégies seront décidées en accord avec la Région et discutées avec les Administrations locales.

L'attention qui sera constamment portée aux éléments physiques, aux processus en cours et à la demande en provenance du territoire, nécessite une base d'appui locale; c'est pour cette raison que nous nous sommes assurés la collaboration des Administrations locales, de concert avec la région; des contacts ont été pris avec les services techniques municipaux et il

a été décidé d'établir une base logistique dans la Commune de Camporosso, qui a mis un local à disposition.

1.1.3.2 Constitution d'un groupe de travail

Le groupe de travail est formé de différentes catégories professionnelles : urbaniste, architecte de projets, technologue en architecture, architecte paysagiste, expert en sciences environnementales, expert en géologie, expert des biens historiques architecturaux (compte tenu de l'importance archéologique du site sélectionné). Le groupe de travail est coordonné par un urbaniste, ayant une expérience aussi bien professionnelle que dans le domaine de la recherche, aidé par un assistant ayant une formation spécialisée.

1.1.3.3 Identification des zones et saisie des données

Parallèlement à une meilleure définition des caractéristiques du territoire, objet de notre programme, nous avons commencé à recueillir les données disponibles dans des publications scientifiques et dans des instruments de planification relatifs à l'habitat urbain et concernant les principaux problèmes de l'environnement; les analyses du Ptcp et du Plan de la Côte de la Région Ligurie ainsi que les descriptions fondatrices des Puc sont autant de bases de départ cognitives.

Les données ainsi recueillies seront ensuite intégrées, conformément à un programme sélectif en ligne avec les objectifs du projet, prévoyant des enquêtes sur le terrain qui seront menées par la suite (en fonction du programme en cours de définition).

La Région Ligurie entend acquérir les informations recueillies qu'elle insèrera dans sa base de données cartographiques

L'analyse croisée des données mènera également à l'identification définitive de l'arrière-pays de référence du littoral, objet de notre étude.

1.1.3.4 Analyse des données et élaboration de scénarios

Les données obtenues seront utilisées pour mener une analyse de l'état de fait et des questions émergentes. Nous nous attarderons plus particulièrement sur les éléments de détérioration et de risque ainsi que sur les possibilités de développement de la zone côtière. Sur la base des résultats obtenus et des considérations développées, nous procéderons à l'élaboration de scénarios évolutifs des processus de modification territoriale, et en particulier sur les conséquences que ces processus pourront avoir sur le territoire et sur l'environnement de la zone côtière. Nous prévoyons également de recueillir des informations directement sur le terrain grâce à des contrôles spécifiques.

1.1.3.5 Identification des zones d'intervention prioritaire et définition des lignes de projet

La connaissance de l'état de fait et la construction de scénarios évolutifs permettront d'identifier les zones présentant un intérêt particulier pour le programme de par leurs qualités intrinsèques et leurs valeurs stratégiques. Ces zones seront destinées au développement de projets d'intervention prioritaire qui devraient non seulement permettre une requalification des contextes locaux de très grande valeur ou soumis à des situations de risque particulier, mais aussi avoir des retombées importantes sur le territoire environnant et servir d'exemple. Des expertises de qualité et des principes généraux de gestion du territoire considéré seront définis pour chacune des zones; ces éléments seront intégrés dans un plan général de requalification et de réhabilitation qui constituera le résultat final de notre étude.

1.1.4 Opération 4: Choix des expertises et définition des apports des spécialistes

Pour développer ce projet, nous avons fait appel à des spécialistes, qui ont été choisis non seulement sur la base de motivations de type théorique et général, mais aussi compte tenu des exigences spécifiques du territoire sélectionné, telles qu'elles ont été évaluées après les premiers contrôles sur place. Nous nous sommes adressés à des experts dont la collaboration

scientifique au sein de l'Université de Gênes a déjà produit des résultats positifs aussi bien sous le profil scientifique qu'applicatif.

Les notes suivantes permettent de décrire le type de contribution demandée à chacun de ces spécialistes.

1.1.4.1 Géologue

La connaissance des caractéristiques géologiques et géomorphologiques du territoire est la base indispensable au développement de projets de requalification de la côte, en particulier en présence de dynamiques érosives et de risque sismique, comme c'est le cas pour la zone prise en examen. L'objectif de cette expertise est, en particulier, d'évaluer le niveau de connaissance de la zone, d'intégrer localement les données déjà disponibles en fonction de chaque projet, de mettre en évidence et d'évaluer les différentes conditions de risque.

1.1.4.2 Naturaliste

La zone sélectionnée présente un intérêt aussi bien du point de vue botanique que faunique. Il est donc nécessaire de faire le point sur les éléments positifs et sur les points sensibles, puis de définir les types d'intervention et de protection nécessaires, enfin d'évaluer leurs impacts possibles sur le milieu naturel.

1.1.4.3 Architecte paysagiste

Au delà de la valeur paysagiste du territoire – absolument remarquable- la présence de parcs et de jardins historiques ainsi que de cultures d'arbres, rend particulièrement utile une compétence spécifique. Ici aussi, après identification des principaux éléments importants et sensibles, il faudra envisager et évaluer les impacts possibles de ces projets sur le paysage.

1.1.4.4 Expert du patrimoine historique et architectural

Un relevé ponctuel et un recensement des sites archéologiques sont indispensables. Il faudra également donner des indications projectuelles de sauvegarde et d'utilisation future du territoire dans le cadre de projets de requalification territoriale et de mise en valeur touristique.

1.1.4.5 Technologue en architecture

Compte tenu de l'importance du patrimoine immobilier récent et de sa qualité relativement médiocre, la maintenance et la réhabilitation immobilière sont deux aspects à ne pas sous-évaluer (sans oublier, dans des cas extrêmes, la démolition avec reconstruction), tandis que dans le cas des constructions de luxe datant de la fin du XIXème et du début du XXème siècle, ce sont plutôt des problèmes de maintenance spécifique qui peuvent se présenter. En outre, dans ce type de contexte urbain présentant de nombreux « vides » et des zones dégradées enclavées, il est indispensable d'évaluer les possibilités de densification du tissu, de façon à améliorer localement la qualité urbaine et d'élever les prestations du système urbain dans son ensemble.

1.1.4.6 Urbaniste

L'apport de ce spécialiste est indispensable. Il ne se limite pas à construire et à évaluer le cadre de la planification existante ni à vérifier les politiques en cours, il dirige également les différentes composantes spécialisées vers des solutions projectuelles sur échelle territoriale et urbaine, en préparant le terrain au développement de chacun des projets et en définissant les lignes programmatiques

1.1.5 Opération 5: Rencontre avec les acteurs institutionnels et locaux

Un aspect essentiel de MEDPLAN Liguria concerne les rencontres avec les acteurs institutionnels et locaux, pour des finalités distinctes:

- la collecte de données, d'analyses et d'études pouvant avoir été menées précédemment ;

- le recueil d'informations émanant de témoins privilégiés;
- la vérification de l'intérêt manifesté par les collectivités locales par rapport au projet et leur disponibilité à collaborer;
- le recensement des exigences et la proposition de projets locaux;
- l'organisation de groupes de discussion, de manière à créer des synergies autour des projets et à vérifier la possibilité de mettre en place une agence de développement local.

Les premiers contacts ont été pris, dans la phase A, lors de réunions internes au sein de la Région, auxquelles ont participé le Département d'Aménagement du territoire et le Département des Logements et des Travaux Publics ; ces réunions ont permis de mettre au point les objectifs généraux et ont contribué au choix de la zone pilote et à la définition du programme de travail.

Des contacts ont donc été pris avec les collectivités locales, aussi bien au niveau technique que politique et ont principalement permis de rassembler du matériel, qui était disponible dans les Communes, de lancer un dialogue constructif avec les Administrations et d'obtenir des bases logistiques pour assister la recherche sur place (comme nous l'avons rappelé ci-dessus).

1.2 Les apports des spécialistes

L'un des premiers résultats de la phase A consiste en une série d'apports scientifiques élaborés par des spécialistes accompagnés par une bibliographie raisonnée reportée ci-dessous et classée par discipline.

1.2.1 Les caractères géologiques

Le territoire compris entre les communes de Vintimille et Bordighera est composé d'un trait de côte et de nombreux bassins imbrifiés qui débouchent dans la mer tyrrhénienne. En effet, pour un territoire comme celui de la Ligurie qui se caractérise par un arrière-pays divisé en plusieurs bassins hydrographiques de petites dimensions, par une ligne de partage des eaux très proche de la ligne de la côte et par des versants très escarpés, le lien étroit existant entre le trait côtier et l'arrière-pays nécessite que les deux milieux soient inclus dans tous les programmes de gestion territoriale. Ces relations aussi étroites se manifestent de manière très évidente en ce qui concerne l'évaluation du risque géomorphologique.

Les bassins hydrographiques en objet présentent de nombreux éléments d'homogénéité du point de vue de leurs caractères hydrogéologiques et géomorphologiques. Les lithologies qui composent le substrat se réfèrent toutes aux Flyschs de la Ligurie Occidentale qui présentent des déformations très prononcées, ductiles et fragiles, créées par l'orogénèse alpine et par l'activité néotectonique.

Ces caractéristiques géologiques et géomorphologiques se reflètent sur un paysage physique extrêmement varié et complexe, dont les particularités et les valeurs semblent être à l'heure actuelle sous-estimées et nécessitent donc un niveau d'attention majeure.

Un projet de valorisation des ressources environnementales pourrait prévoir la réalisation d'un ou de plusieurs itinéraires touristiques et paysagers accessibles par différents moyens de transport mais de préférence à parcourir à pied ou à bicyclette. La stratégie générale devrait concerner la mise en valeur du patrimoine culturel, paysager, historique, naturel et touristique du territoire en misant également sur le développement d'un système efficace d'intermodalité ferroviaire, maritime et véhiculaire. L'idée est de mettre en valeur l'offre touristique en utilisant les possibilités offertes par le territoire.

La richesse patrimoniale des territoires sélectionnés nous incite à prévoir l'accès aux sites, aux curiosités, aux monuments, aux musées et autres centres de grand intérêt, qui parsèment toute la zone.

Ces objectifs culturels, mais également les spécificités des domaines concernés (relief, sites à protéger, urbanisation, etc.), étendent leur champ d'intervention dans toutes les directions et nous poussent à préconiser, aussi bien dans la zone littorale qu'en montagne, au détriment de la cohérence et du respect des recommandations habituelles, un éventail diversifié et

ramifié de voies praticables (sentiers pour piétons, pistes cyclables et voies vertes) reliées entre elles ou complémentaires, conçues en intermodalité et articulées sur les services ferroviaires ainsi que sur le cabotage maritime.

Les principaux éléments de risque territorial feront également l'objet d'un approfondissement thématique compte tenu des derniers événements météorologiques et hydrologiques. Le risque sismique et hydrogéologique de la zone sera analysé en particulier là où le territoire de terrasses est laissé à l'abandon.

1.2.1.1 Mesures contre les risques hydrogéologiques: Planification du bassin

Le territoire concerné fait partie des zones 1- Roia et 2- Nervia, de l'Autorité du bassin de la Province d'Impéria

La zone 1, qui comprend le fleuve Roia, le torrent Latte et d'autres ruisseaux de moindre importance, a été approuvée par D.C.P. N. 20 du 27/02/2003 aux termes de la L.267/98.

La zone 2, qui comprend le torrent Vallecrosia, le torrent Borghetto et d'autres ruisseaux de moindre importance a été approuvée par D.C.P. N. 86 du 15/10/2002 aux termes de la L.183/89.

Les documents des autorités du bassin comprennent :

- Carte des bassins fluviaux (risques d'inondation)
- Danger ou risque d'éboulement
- Risque géomorphologique
- Risque hydraulique
- Carte des interventions.

En outre, le rapport et les annexes techniques font partie intégrante du plan (recensement des épisodes de glissement de terrain)

Cette documentation, pour les zones en objet, peut être consultée à l'adresse suivante:

<http://pianidibacino.provincia.imperia.it/site/9904/default.aspx>

1.2.1.2 Danger sismique

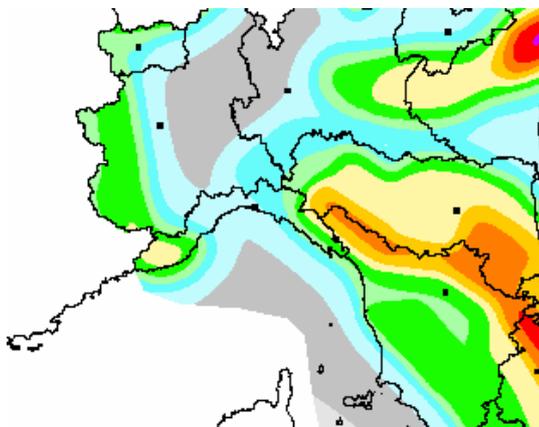
Institut national de Géophysique et de Vulcanologie

Arrêté PCM 3519 du 28 avril 2006, Ann. 1b: Danger sismique de référence pour le territoire national

<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

Groupe de travail MPS (2004). Rédaction du plan de danger sismique prévu par l'arrêté PCM 3274 du 20 mars 2003. Rapport conclusif rédigé par le Département de la Protection Civile, INGV, Milan-Rome, avril 2004, 65 pp. + 5 annexes

Mappa di pericolosità sismica 2004 (extract)



1.2.1.3 Bibliographie

- Astengo C., Quaini M. e Duretto E. (1982) - La scoperta della Riviera : viaggiatori, immagini, paesaggio. Genova : Sagep, 1982, 194 p.
- Bertolotti, Davide (1834) - Viaggio nella Liguria Marittima / Davide Bertolotti, 3 vol.
- Bertolotto A. e Pessano S. (1871) - Da Savona a Ventimiglia : viaggio in ferrovia. Firenze : Gazzetta d'Italia), 185 p.
- Brancucci G. (1994) – Il Clima della Liguria: versante marittimo. Osservatorio permanente corpi idrici della Liguria, 514 p.
- Ciliento B., Pazzini N. e Paglieri N. (1991) - Ventimiglia . Sagep Genova, 207 p.
- Clark J. (1996) Coastal zone management handbook. Lewis, Boca Raton,
- Da Prato C. (1875) – Ventimiglia. Tipografia Sociale Ligure San Remo
- Guzzini M. Sarti M. (1999) – Vulnerabilità e tutela delle coste protette. I quaderni delle coste italiane protette, Ancona
- Lamboglia N. (1946) – Toponomastica intemelia. Ist. Studi Liguri, Bordighera
- Lamboglia N. (1964) – Ventimiglia. Ist. Studi Liguri, Bordighera
- Mazzino F. (1994) Un paradiso terrestre. I giardini Hanbury alla Mortola. Sagep Genova, 143 p.
- Muratorio M. Kiernan G. (1992) Thomas Hanbury e il suo giardino. Arma di Taggia : S. Giuseppe, xi, 195 p.
- Navone G. (1827) - Passeggiata per la Liguria occidentale fatta nell'anno 1827 dal signor Giacomo Navone. Puppo Ed. Ventimiglia, 170 p.
- Orengo N. (1988) – Ribes. Milano : Euroclub, 1989, 222p.
- Orengo N. (1994) - La guerra del basilico. Einaudi, Torino, 196 p.
- Orengo N. (1997) - Il salto dell'acciuga . Einaudi, Torino, 69 p.
- Palmero Giuseppe (1994) - Ventimiglia medievale : topografia e insediamento urbano. (Genova-Pontedecimo Stamperia-editoria Brigati Glauco, 162 p.
- Pezzagno M. (2000) – Strade urbane in Europa: interventi a favore della sicurezza nei centri urbani residenziali. Quaderni di Sintesi, 55, ASM, Brescia
- Salzano E. (1992) - La città sostenibile.in Verde per l'ambiente urbano in Europa della CEE, un rilancio alla discussione sull'attuale condizione urbana in Italia e un contributo alla progettazione di una città omogenea allo sviluppo sostenibile. Roma : Edizioni delle autonomie, 346p.
- Stringa P. (1995) La Liguria paese per paese. Guido Mondani Editore
- Vallega, A. (1993) - Governo del mare e sviluppo sostenibile : conoscenze di base. Milano : Mursia, 318 p.
- Vallega, A. (1995) – La Regione sistema territoriale complesso. Milano : Mursia
- Vallega, A., Smith, Hance D.(1990) The management of semi-enclosed seas : the emerging global pattern and the ligurian case = Il governo dei mari semi-chiusi : modello globale emergente e caso ligure / editors Hance, 300 p
- Veneziano B. e Pachi C. (1981) – Ventimiglia al tempo della bella epoque. Ed. Alzani, Pinerolo
- Villa R. (1985) – La Mortola, il paese, la chiesa, il giardino botanico. Ed. Alzani, Pinerolo

Articles et contributions

- AF3V Association Française de développement des Véloroutes et Voies Vertes, "Un projet de réseau cyclable en France", Le Havre, 2000
- Alonzo N. Assessore all'ambiente, Regione Liguria, "La sostenibilità ambientale nel processo di pianificazione", atti del convegno *Regione e riforma urbanistica, l'esperienza della Liguria nel quadro nazionale*, Genova, 23/24 gennaio 1998
- Association Européenne des Voies Vertes, "Exemples de réalisations Urbaines et Périurbaines", Spagna, 2000
- Centre d' études et de recherches sur les montagnes sèches et méditerranéennes et U.M.R. 5651 ESP ACE, Equipe structures et dynamiques spatiales (Avignon), Equipes INTERTRANS (Montpellier), "Le projet de percée autoroutière du Mercantour et les infrastructures Maralpin", in *Montagnes Méditerranéennes*, n06, 1997
- Dinetti M., "La conservazione della biodiversità negli ecosistemi urbani" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma

pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Gachon L., "Comparaison du paysage de l'Italie septentrionale et de la France méridionale", in *Revue de Géographie Alpine*, Imprimerie Allier, Grenoble, 1954

Ghetti P.F., "Le reti ecologiche: struttura e funzioni" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Gibelli M.G., Santolini R., "Occasioni per le reti ecologiche nella pianificazione comunale" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Gruppo di esperti sull'ambiente urbano, "Città europee sostenibili", Commissione Europea, Bruxelles, 1996

Guccione M., "Le iniziative dell' Anpa per la sistematizzazione delle conoscenze sulle reti ecologiche" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Les Départements cyclables, "Aide à la conception des aménagements cyclables", Cahier technique n02, Etat des réflexions- édition juin 1999

Les Départements cyclables, "Politique cyclables et valorisation touristique", Cahier technique n02, Etat des réflexions- édition juin 2000

Les Départements cyclables, "Propositions méthodologiques pour l'élaboration d'une politique vélo" , Cahier technique n01, Etat des réflexions- édition juin 1999

Lorenzani F., Regione Liguria, "Conoscenza e sostenibilità dello sviluppo nel futuro piano territoriale regionale", atti del convegno *Regione e riforma urbanistica, l'esperienza della Liguria nel quadro nazionale*, Genova, 23/24 gennaio 1998

Malcevschi S., "La rete ecologica della provincia di Milano", In *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°4, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Maniglio Calcagno A., "Pianificazione paesistica e progettazione del paesaggio: la formazione delle competenze" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Maniglio Calcagno A., "Planification intégrée et gestion des zones côtières - rapport italien", in *Integrated planning and management of the mediterranean coastal zone*, Map technical reports series n061, UNEP, Split 1991

Mazzino E., "La visibilità nella tutela del paesaggio", in *Annali di ricerche e studi di geografia*, Istituto di Geografia dell'Università di Genova, 1955

Ministero per i beni culturali e ambientali, Soprintendenza archeologica della Liguria "Mosaici di Ventimiglia - l'area archeologica dell'ex ospedale S. Spirito"

Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Soprintendenza per i Beni Archeologici della Liguria, "Area archeologica di Albintimilium", Dicembre 1993

Mission Opérationnelle Transfrontalière-SCET, "Espaces Transfrontaliers", n07, mars 2000, Boulogne, France

Mission Opérationnelle Transfrontalière-SCET, "Espaces Transfrontaliers", n01, décembre 1997" Boulogne, France

Mission Opérationnelle Transfrontalière-SCET, "Espaces Transfrontaliers", n02, mai 1998, Boulogne, France

Mission Opérationnelle Transfrontalière, "La Mission Opérationnelle Transfrontalière, un outil au service des porteurs de projets"

Mission Opérationnelle Transfrontalière, "Amendements à la loi « SRU » adoptés par le Senat - élaboration et mise en oeuvre des projets urbains dans les territoires transfrontaliers", Mai 2000

Molinari J., "Ecobuage et gestion de l'espace - l'inflation du trafic maralpin de transit poids lourds. Sera-t-elle résistible ?", in *Montagnes Méditerranéennes*, nOIO, 1999

Pozzi E., "Le ville dell' estremo Ponente ligure" in *Rivista Ingauna ed Intemelia*, n048, 1997

Provincia di Rimini, "Quaderni della provincia di Rimini", n04, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, 1998

Regione Liguria, Dipartimento Pianificazione Territoriale ed Urbanistica "La Legge Urbanistica Regionale 4 settembre 1997 , n036"

Saladini S., "Le funzioni autorizzative degli impianti come occasione di riqualificazione ambientale" in Dimaggio C., Ghiringhelli R., "Reti ecologiche in aree urbanizzate", Atti del seminario, Milano, 5 febbraio 1999, in *Quaderni del piano per l'area metropolitana milanese*, N°13, Uffici del programma pianificazione territoriale e sviluppo sostenibile, Edizioni Franco Angeli, 1999

Van Monckhoven E., "Sviluppo urbano sostenibile", Comune di Messina, Comunità Europea, Giugno 1999

Autres documents

Déclaration des ONG de MED Forum sur les espaces protégés, la conservation de la biodiversité et le développement durable en Méditerranée, Déclaration de Malaga sur la biodiversité et le développement

Directive Territoriale d'Aménagement (DTA) des Alpes-Maritimes, Novembre 1999

Henri Jacquot, *L'actualité de la planification de l'aménagement du territoire en France*, mai 2000 *L'actualité de la planification de l'aménagement du territoire en France*

Piano Territoriale Regionale, Regione Liguria Dipartimento Pianificazione Territoriale ed Urbanistica, Prima conferenza di pianificazione ex art.6 l.rA settembre 97, n.36; Genova, 16 novembre 1998

Proposition d'amendements à la loi « SRU » de manière à faciliter l'élaboration et la mise en oeuvre de projets urbains dans les territoires transfrontaliers, Mission opérationnelle transfrontalière, 2000

Sites web

[http:// europa.eu.int/comm/urban](http://europa.eu.int/comm/urban)

<http://www.af3V.org>

<http://www.alisei.org/cittasostenibile>

<http://www.comune.modena.it/a21>

<http://www.liguriainrete.it/>

[http:// www.oneworld.org/uned-uk/health](http://www.oneworld.org/uned-uk/health)

[http:// www.pangea.org/MEDForum](http://www.pangea.org/MEDForum)

[http:// www.ramoge.org](http://www.ramoge.org)

<http://www.turismo.liguriainrete.it>

<http://www.unice.fr>

<http://www.urban.nl>

[http:// www.viaeromanae.org](http://www.viaeromanae.org)

<http://www.who.dk/healthy-cities>

<http://pianidibacino.provincia.imperia.it/site/9904/default.aspx>

1.2.2 Ecosystèmes, Environnement, Nature

Malgré la persistance d'aspects paysagers appréciables sous le profil esthétique et les résultats obtenus au niveau national et international (pavillon bleu, etc.), la bande côtière ligure est l'une des zones de la Méditerranée et de l'Europe où le niveau d'artificialité est le plus élevé. Elle a perdu le plus grand nombre de ses caractéristiques naturelles et elle se dégrade progressivement du fait des phénomènes d'érosion, de salinisation des ressources hydriques, de désertification et d'anthropisation généralisée. Presque partout, les paysages de la ligne côtière ont perdu les quelques aspects de naturalité et les liens écosystémiques fonctionnels qui existaient encore. Une réalité facilement vérifiable par des comparaisons diachroniques par photos aériennes et sur la base de documents cartographiques, mais ces faits ont déjà été confirmés par l'analyse de bioindicateurs importants comme la richesse et la qualité de la flore psammophile (Barberis et Mariotti, 1983): environ 60% des espèces propres aux plages ont disparu entre le début des années 60 et les années 80, en concomitance avec une transformation profonde de l'utilisation du territoire. Dans certains cas, les causes de ces phénomènes de dégradation peuvent facilement être imputées à l'homme et à sa volonté de transformer le territoire en fonction touristique, agricole, résidentielle ou industrielle. Dans d'autres cas, la recherche des causes est plus complexe et n'est pas facilement identifiable. Plusieurs exemples à ce propos ont d'ailleurs été mis en évidence ; le plus classique est la détérioration exceptionnelle de la flore et de la végétation (avec la perte d'importantes

populations endémiques et le développement d'espèces exotiques envahissantes) que l'on peut observer sur les petites îles (Gallinara et Bergeggi) et attribuable à la prolifération des mouettes (*Larus cachinnans*) causée essentiellement par l'ouverture et par les modalités de gestion des décharges de déchets solides urbains (y compris là où ces décharges se trouvent à plus de 40 km des îles) (Mariotti, 1994).

La flore et surtout la végétation de la bande côtière, en particulier sur les plages et aux embouchures des cours d'eau, sont autant d'indicateurs exhaustifs permettant d'évaluer la qualité de l'environnement et surtout son niveau de naturalité; les données géobotaniques examinées, ainsi que celles relatives à la composante abiotique peuvent permettre de mieux mettre l'accent sur les problèmes de fonctionnalité des écosystèmes d'interface mer-terre et suggérer des hypothèses de planification et de gestion de l'arrière-pays immédiat et plus généralement des bassins hydrographiques qui se trouvent en amont de la ligne côtière.

La connaissance des paysages du territoire est plutôt générale (Fig. 1), mais suffisante pour permettre d'avancer des considérations générales comme celles que nous avons exposées ci-dessus. Mais nous ne disposons pas d'informations actualisées et détaillées qui permettraient d'activer des processus de préservation des éléments ayant conservés un résidu de naturalité et mettre en place des programmes et des actions pour rétablir des habitats naturels là où cela est possible. Il faut d'un côté que l'on reconnaisse l'importance de conserver la biodiversité comme le veut l'esprit de la Convention internationale de Rio de Janeiro et de l'autre la compatibilité avec le développement « écodurable » du tourisme, de l'agriculture et d'autres activités économiques

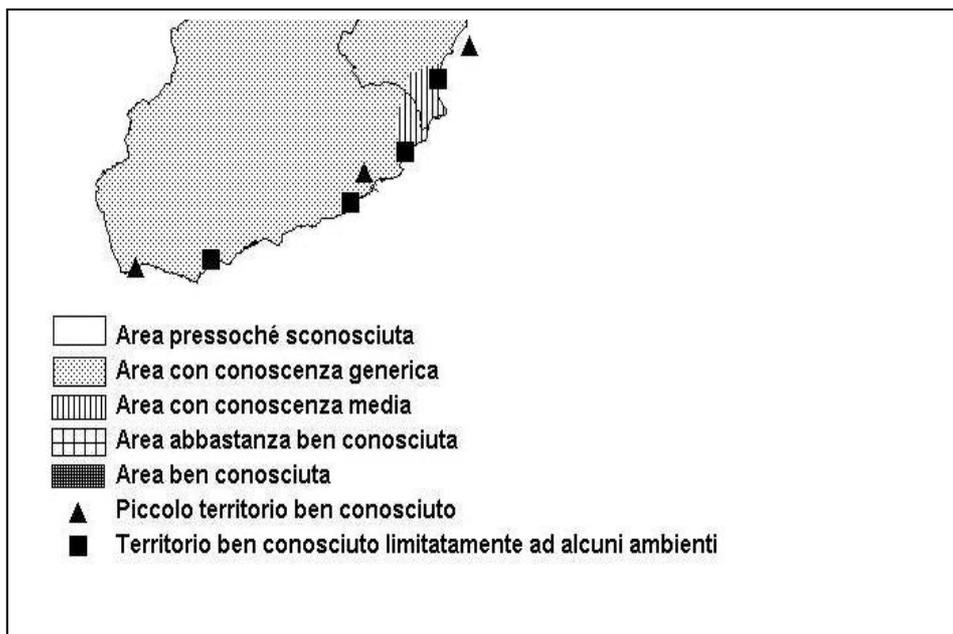


Fig. 1 – Etat des connaissances floristiques et végétales dans l'extrême ouest de la Ligurie

1.2.2.1 Programme de travail

Ce travail aura un caractère multi-échelle et concernera la bande côtière¹ de la province d'Imperia (zone vaste), à l'échelle 1:25.000 et une zone témoin (Commune de Vallecrosia) – choix de la commune décidé avec les experts des autres disciplines – à un niveau de détail plus important (échelle \geq 1:5000).

L'étude A de la zone vaste comportera cinq phases:

Vérification de l'état des connaissances,

Analyse territoriale sous le profil écologique,

Evaluation de la qualité et de criticité inhérents aux éléments et aux fonctions écosystémiques

Mise en évidence des principales mesures nécessaires à l'entretien, à l'amélioration et/ou au rétablissement de l'état de conservation d'espèces et d'habitats particulièrement importants et des fonctions écosystémiques,

Acquisition de données actualisées dans le domaine floristique et végétal des plages de la Ligurie occidentale,

Propositions de protocole des phases d'analyse et d'évaluation constructive du point de vue environnemental, dans le cadre de la planification urbaine et de la réalisation d'interventions significatives sur la bande côtière, en tenant compte en particulier des aspects écosystémiques fonctionnels de la zone d'interface terre-mer.

La zone-pilote, objet d'un approfondissement (B), sera soumise à des contrôles et à d'éventuels relevés floristiques et phytosociologiques et de la documentation photographique sera rassemblée afin de mettre en évidence les résidus de naturalité, les mesures de conservation nécessaires et la possibilité de rétablir des niveaux de naturalité.

Au terme de cette étude(C), un document de synthèse et un glossaire thématique seront rédigés. Ce dernier pourra éventuellement être confronté avec celui d'autres disciplines pour mettre en évidence les différences les plus importantes dans l'utilisation de termes et de concepts communs.

La phase A.1 (vérification de l'état des connaissances) est déjà commencée et les résultats sont reportés dans la Fig. 1 et dans l'annexe. Cette phase sera terminée d'ici décembre 2006.

La phase A.2 (analyse territoriale sous le profil écologique) sera terminée d'ici 6 mois et donnera lieu à la rédaction d'un court rapport et à l'élaboration des cartes thématiques suivantes :

1 - végétation,

2 - habitat,

3 – potentialité et tendance dynamique

4 – réseau écologique,

5 – zones de protection spéciale du point de vue environnemental.

La phase A.3 (Evaluation de la qualité et de criticité inhérents aux éléments et aux fonctions écosystémiques) sera terminée d'ici 10 mois et donnera lieu à la rédaction d'un court rapport et à l'élaboration des cartes thématiques suivantes :

6 – qualité environnementale sous le profil paysager,

¹ Dans ce document, par "bande côtière" on entend le territoire qui depuis la ligne de brisement des vagues s'étend sur 10 km vers l'arrière-pays ou jusqu'à la ligne de partage des eaux, là où celle-ci est la plus proche; par le terme "ligne côtière" on entend en revanche la bande de largeur variable sur laquelle se trouvent les habitats les plus conditionnés par les facteurs écologiques liés à la mer (salinité, mobilité des sédiments, actions des vagues et des courants, etc)

7 – risque et détérioration,

8 – barrières et fragmentations,

9 – possibilités d'utiliser le territoire sous le profil paysager

La phase A.4 (proposition de mesures) se terminera d'ici 12 mois et donnera lieu à la rédaction d'un court rapport et à l'élaboration des tables suivantes:

10 – Plan préliminaire d'interventions visant à rétablir la « naturalité » de la bande côtière.

La phase A.5 (acquisition de nouvelles données) se déroulera de mars à juillet 2007 (en fonction du cycle saisonnier) et se conclura par l'élaboration d'une banque de données géoréférencée à partir de sondages et à l'observation d'espèces indicatrices et à d'éventuels relevés phytosociologiques

La phase A.6 (proposition de protocole) se terminera d'ici 12 mois et donnera lieu à la rédaction d'un court rapport.

Les enquêtes d'approfondissement B sur la zone pilote seront menées de décembre 2006 à juillet 2007 et entraîneront une vérification des procédures d'analyse et la rédaction d'un court rapport.

Le document conclusif (C.1) et le glossaire thématique (C.2) seront rédigés d'ici juillet 2007.

Programme temporel

	2006					2007						
	A	S	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L
A.1												
A.2												
A.3												
A.4												
A.5												
A.6												
B												
C.1												
C.2												

1.2.2.2 Bibliographie

Littérature citée

Barberis G., Mariotti M.G., 1983 - Ricerche floristiche sulle spiagge liguri - Arch. Bot. Biogeogr. Ital. (Forlì), 57 (3-4) (1981): 154-170.

Mariotti M.G., 1994 - Main floristic and vegetation changes in the Liguria Islands - Ann. Bot. (Roma), 51 (1993): 265-266.

Autres textes significatifs traitant des aspects méthodologiques et généraux de ces problématiques

Consultation utile de : European Environment Agency, 2006 - The changing faces of Europe's coastal areas et des études qui y sont citées - Copenhagen, 112 pp.

Bibliographie et autres documents utiles à la connaissance du territoire et à la bonne marche des travaux

Barberis G., Gentile S., Paola G. (1998) *Ricerche sulla vegetazione mediterranea dell'Arco Ligure-Toscane*, Giorn. Bot. Ital., 122, suppl.1: 213.

Barberis G., Mariotti M.G. (1983) Ricerche floristiche sulle spiagge liguri. Arch. Bot. Biogeogr. Ital. (Forlì), 57 (3-4) (1981): 154- 170.

Barberis G., Peccenini S., Paola G. (1990) *Quercus ilex L. in dynamics of Ligurian vegetation (NW Italy)*. International Workshop "Quercus ilex L. ecosystem: function, dynamics and management", Montpellier. Abstracts: 38-39.

Barbero M., Bono P.G., Ozenda P., Mondino G.P. (1973) Carte écologique des Alpes au 1/100.000. Nice-Menton (R21) et Viève-Cuneo (R20). Coupe des Alpes Maritimes et Ligures. Doc. Cartogr. Ecol. (Grenoble), 12: 49-76.

Basso B., Cazzaniga E., Profumo P., Minuto L. (2001) Valutazioni sulla biodiversità di *Pancratium maritimum L.* Abstract 96° Congresso della Società Botanica Italiana, 1: 62.

Brullo S. (1988) Miscellaneous notes on the genus *Limonium* (Plumbaginaceae). Willdenowia, 17: 11-18.

Charpin A., Salanon R. (1985) Matériaux pour la Flore des Alpes maritimes. Catalogue de l'Herbier d'Emile Burnat déposé au Conservatoire botanique de la Ville de Genève. I. Lycopodiaceae-Lentibulariaceae. Boissiera, 36: 258 + VII pp., 1 carta.

Charpin A., Salanon R. (1988) Matériaux pour la Flore des Alpes maritimes. 2. Rubiaceae-Orchidaceae. Boissiera, 41: 339 pp.

Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C. (eds.) (2005) An annotated check-list of the Italian vascular flora, Palombi ed., Roma.

De Bolos O. (1970) A propos de quelques groupements végétaux observés entre Monaco et Gênes, Vegetatio, 21: 49-73.

De Bolos O. 1970 De Monaco à Gênes. Phytotopographie et phytogéographie. Israel J. Bot., 19: 336-347.

Gentile A. (1996) Esempi di integrazione di specie forestali esotiche in contesti vegetazionali mediterranei italiani. Coll. Phytosoc., 24 (1995): 123-130.

Gentile S. (1986) Profilo della vegetazione della Liguria con particolare riguardo a quella della fascia litorale (Vegetazione Mediterranea Sempreverde), Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova, 52 suppl.: 11-18.

Gentile S., Barberis G., Paola G. (1984) Stato delle conoscenze sulla vegetazione dei *Quercetea ilicis* nel versante tirrenico settentrionale. Not. Fitosoc., 19 (2): 109-122.

Gentile S., Gentile A. (1994) Ricognizione floristica e note sulla vegetazione spontanea de La Martola (Liguria occidentale). Fitosociologia, 27: 177-229.

Lucchese F. (1990) Revision and distribution of *Brachypodium phoenicoides* (L.) Roemer et Schultes in Italy, Ann. Bot. (Roma), 48 (1990): 163-167.

Mariotti M, Arillo A., Parisi V., Nicosia E., Diviaco G. (2002) Biodiversità in Liguria. La rete Natura 2000, Microart's, Recco. 299 pp.

Mariotti M. (1995) Osservazioni sulla vegetazione della Liguria., In: La vegetazione italiana. Atti dei Convegni dei Lincei, 115 (1993): 190-227. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Mariotti M. (2005) Valori e rarità della flora ligure., Microart's. Recco, 128 pp.

- Mariotti M.G. (1985) Flora endemica ligustica del piano basale: rapporti tra settore alpico ed appenninico, Lav. Soc. Ital. Biogeogr., n.s., 9 (1982): 175-209.
- Mariotti M.G. (1994) Main floristic and vegetation changes in the Liguria Islands. Ann. Bot. (Roma), 51 (1993): 265-266.
- Mariotti M.G., Barberis G.(1989) Note vegetazionali sugli aspetti a *Euphorbia dendroides* e *Anthyllis barba-jovis* in Liguria, Not. Fitosoc., 22 (1985): 77-82.
- Martini E. (1985) Lineamenti geobotanici delle Alpi Liguri e Marittime: endemismi e fitocenosi, Lav. Soc. Ital. Biogeogr., n.s., 9 (1982): 51-134.
- Martini E. (2000) L'originalità floristico-fitogeografica delle alpi Liguri e Marittime: dati acquisiti e problemi irrisolti. Ann. Mus civ. Rovereto, Sez. Arch., St., Sc. nat., 14 (suppl.) (1998): 85-94.
- Martini E., Orsino F. (1969) Indagine sulle risorse paesaggistiche e sulle aree verdi della fascia costiera ligure. 2. Aspetto dell'ambiente vegetale, Ist. Architett. Tecn. Urban. Univ. di Genova. 75 pp., 5 tav.
- Molinier Re., Molinier Ro. (1955) Observations sur la végétation littorale de l'Italie occidentale et de la Sicile, Arch. Bot. Biogeogr. Ital. (Forlì), 31: 129-161.
- Orsino F. (1969) Lineamenti geobotanici della Liguria, Arch. Bot. Biogeogr. Ital. (Forlì), 45: 207-234.
- Ozenda P. (1961) Carte de la végétation de la France au 200.000 ème, feuille 68: Nice. C.N.R.S., Toulouse.
- Paola G., Minuto L.(1994) Aree verdi urbane della Liguria mediterranea: il ruolo della componente spontanea della flora. Allionia, 32: 325-332.
- Paola G., Minuto L. (1996) Indigenous and exotic species as markers of the climatic limits of the Mediterranean region in Liguria (North Western Italy). Proceedings of International Colloquium: "Mediterranean: climatic variability, environment and biodiversity". Montpellier 6-7 April 1995. 1: 180-184. Maison de l'Environnement, Montpellier.
- Paulus H.F., Gack C. (1999) Bestäubungsbiologische Untersuchungen an der Gattung *Ophrys* in der Provence (SO-Frankreich), Ligurien und Toscana (NW-Italien) (Orchidaceae und Insecta, Apoidea). J. Eur. Orch., 31: 347-422.
- Polidori J.L., Salanon R.(2003) *Gentiana ligustica* R. de Vilmorin et Chopinet, endémique des Alpes austro-occidentales franco-italiennes: analyse bibliographique, morphologie, aire de distribution et principaux biotopes, Bull. Soc. linn. Provence, 54: 81-117
- Regione Liguria (ed.) (1980) Quindici Parchi per la Liguria Studio Cartografico Italiano, Genova. 159 pp.
- Russo F., Du Jardin P., Paola G. (2004) Monumental trees of Liguria (North-western Italy). In: NICOLOTTI G., GONTHIER P. (eds.), The Trees of History, protection and exploitation of veteran trees. Regione Piemonte e Università di Torino, Proceedings of the International Congress, April 1st-2nd, 2004: 138-143.
- Terzo V., Valcuvia Passadore M.G. (1977) Flora della valle del torrente Caramagna (Porto Maurizio - Liguria occidentale). Atti Ist. Bot. Lab. Critt. Univ. Pavia, serie 6, 12: 31-122
- Tosco U. (1953) Florula delle "Arene Candide" (Finale Ligure), Allionia, 1 (2): 247-256.

Autre documentation utile

Photographies aériennes : Vol 64: Basso 2003 - côtier

Photographies satellitaires : Immagine Quickbird Ventimiglia (octobre 2003; août 2004; RGB 321; RGB 432)

Carte Technique Régionale échelle. 1:10.000; 1:25.000

Carte paysagère 2003 échelle. 1:10.000

Carte des Peuplements Forestiers 2006 échelle. 1:25000

Carte Oléicole 2006 échelle. 1:25000

Evolution de la ligne de côte de 1944 à 1993, échelle. 1:8.000.

PTC paysager

Plan de la Côte

Plan Territorial Régional

Plan Territorial de la Province d'Imperia.

1.2.3 Système des biens historiques et archéologiques.

1.2.3.1 Premiers éléments pour une bibliographie sur les sites archéologiques de la zone côtière de la Ligurie occidentale comprise entre Sanremo et la frontière avec la France

Une première analyse de la bibliographie nous a permis de constater que le territoire situé à l'extrême ouest de la Ligurie présentait un grand nombre de sites archéologiques offrant un aperçu intéressant de l'occupation humaine dans cette zone, avec des vestiges remontant même au paléolithique inférieur et moyen. Les sites de l'époque pré-romaine, en particulier du néolithique, sont nombreux et certains d'entre eux ont fourni une très grande quantité de vestiges et de traces permettant de comprendre la culture des populations qui ont occupé ce territoire. Mais seuls quelques-uns présentent un intérêt pouvant justifier leur exposition dans un musée ou une utilisation didactique comparable à leur intérêt scientifique, comme par exemple les cavernes des Balzi Rossi ou la zone archéologique de Vintimille remontant à l'époque romaine (où l'on a retrouvé des vestiges datant de l'occupation pré-romaine), tandis que la plupart des sites de cette zone deviennent intéressants si on les observe du point de vue du système territorial. C'est le cas par exemple des « castellari » (places-fortes) des vallées du Roia et du Nervia, de San Remo ou des grottes sépulcrales de la vallée du Nervia et de la Haute Vallée Argentina, ou encore dans la Plaine de Latte, un groupe de villas, remontant très probablement à l'époque romaine (les vestiges sont pour le moment encore peu nombreux et la zone nécessiterait une étude plus approfondie) et qui a existé jusqu'au XIX^{ème} siècle. Intérêt archéologique et intérêt paysager semblent donc être indissociables dans cette zone, ce qui suggère une lecture intégrée de ces deux aspects, y compris pour ce qui est de la mise en valeur des ressources culturelles de ce territoire. En général, les textes examinés laissent apparaître que ce patrimoine archéologique n'est pas mis en valeur de manière adéquate par rapport à son importance scientifique et à son potentiel didactique (Bernardini, 1977; Lamboglia, 1976; Rosati, 1987). Les sites apparaissent en effet difficilement accessibles et peu équipés pour les visites, le corpus des vestiges mobiles associés aux différents sites a été appauvri ou a été dispersé dans différents musées, un fait qui a une incidence négative sur le potentiel didactique des vestiges eux-mêmes et leur exploitation muséale.

1.2.3.2 Bibliographie

La bibliographie a été rédigée en fonction des sites archéologiques identifiés sur le territoire grâce aux travaux de fouille et de recherche. L'organisation du matériel bibliographique existant est instrumental par rapport au projet de recherche, étant donné qu'elle permet de mettre en évidence les zones archéologiques sur lesquelles se sont concentrées les études et qui ont fourni les résultats les plus intéressants et utiles pour expliquer l'histoire de l'occupation humaine sur ce territoire.

La bibliographie thématique est précédée par une bibliographie générale qui regroupe des textes concernant l'archéologie ligure. Dans cette liste, les publications sont classées par ordre chronologique et divisée en : archéologie pré-romaine, archéologie romaine et des périodes post-romaines.

Bibliographie générale

- G. Barrili (1889), *Gli antichissimi Liguri*, Genova;
- N. Lamboglia (1941), *Liguria antica*, Milano;
- M. Pallottino (1952), *Il problema dei Liguri nella formazione dell'ethnos Italico*, in *Atti del I Congresso Internazionale di Studi Liguri*, Bordighera;
- N. Lamboglia (1962), *Problemi vitali delle riviere*, Genova;
- T.O. De Negri (1977), *Il ponente ligure : incrocio di civiltà*, Genova;
- Enzo Bernardini (1981), *Itinerari archeologici. Liguria*, Newton Compton, Milano;
- G. M. Cruise (1992), *Environmental change and human impact in the upper mountain zone of the Ligurian Apennines: the last 5000 years*, in R. Maggi, R. Nisbet, e G. Barker (a cura di), *Archeologia della Pastorizia nell'Europa meridionale*, II, *Rivista di Studi Liguri*, LVII, 1991.
- F. Benzi (1999), *Paesaggio mediterraneo : metamorfosi e storia dall'antichità preclassica al 19. secolo*, Genova;
- M. Gazenbeek, sous la direction de (2004), *Enceintes et Habitats perchés des Alpes Maritimes, catalogue de l'exposition*, Antibes.

Archéologie pré-romaine

- A. Issel (1874), *Cenni storici intorno al modo di esplorare utilmente le caverne ossifere della Liguria*, Genova;
- A. Issel (1878), *Nuove ricerche sulle caverne ossifere della Liguria*, Genova;
- A. Issel (1880), *Istruzioni per fare le osservazioni geologiche e paleontologiche*, Genova;
- A. Issel (1885), *La Liguria e i suoi abitanti nei tempi primordiali. Momenti geologici*, Genova;
- A. Issel (1892), *Liguria geologica e preistorica*, Genova;
- N. Morelli (1901), *Iconografia della preistoria ligure*, in *Atti dell'Università di Genova*, XVI;
- A. Issel (1908), *Liguria Preistorica*, Genova;
- Nicola Orengo (1926), *I Liguri Intimili*, in *Il Comune di Genova: bollettino municipale*, VI;
- N. Lamboglia (1938), *Lo stato attuale delle ricerche paleontologiche in Liguria e le esigenze delle future indagini*, in *Rivista Ingauna e Intemelina*, IV;
- N. Lamboglia (1939), *Armille dell'Età del Bronzo nella Liguria Occidentale*, in *Rivista Ingauna e Intemelina*, V;
- N. Lamboglia (1946), *Toponomastica Intemelina*, Genova;
- E. Sereni (1954), *La comunità rurale e i suoi confini nella Liguria antica*, in *Rivista di Studi Liguri*, 20;
- E. Bernardini (1977), *La preistoria in Liguria*, Genova;
- S. Tiné (1983), *I primi agricoltori e lo sviluppo del commercio*, Sagep, Genova;
- S. Tiné (1983), *I cacciatori paleolitici*, Sagep, Genova;
- A. Del Lucchese, R. Maggi (1985), *Considerazioni sulla cronologia dell'Età del Bronzo nella Liguria di Ponente*, in *Atti del Convegno Internazionale "I Liguri dall'Arno all'Ebro"*, Alberga 4-8 dicembre 1982, *Rivista di Studi Liguri*, XLVIII;
- ISCUM (1987), *I Liguri dei monti*, Genova;
- R.C. De Marinis (1988), *Liguri e Celto-Liguri*, in *AA. VV., Italia omnium terrarum alumna*, Milano;
- A. Violante et al (1994), *Genti pre-romane nel paesaggio e nella storia*, Silvana, Milano;

- F. Monteverde (1995), *I Liguri, un'etnia tra Italia e mediterraneo*, Vallecchi, Firenze;
- A. Del Lucchese (1996), *Nuovi dati sull'Età del Bronzo in Liguria*, in *Atti della XXXII Riunione scientifica I.I.P.P.*, Alba, 1995;
- A. Del Lucchese, G. Odetti (1996), *Nuovi dati sull'antica Età del Bronzo nella Liguria di Ponente*, in *Atti del Congresso "L'antica età del Bronzo in Italia"*, Viareggio 9-12 gennaio 1995, Firenze, 1996;
- R. Maggi (1997), *Aspetti dell'archeologia del territorio in Liguria: la formazione del paesaggio dal Neolitico all'Età del Bronzo*, in *Ambienti e storie della Liguria. Studi in onore di Emilio Sereni*, Annali Istituto "Alcide Cervi", 19;
- AA.VV. (1998), *Dal Diaspro al Bronzo. L'Età del Rame e l'Età del Bronzo in Liguria: 26 secoli di storia fra 3600 e 1000 anni avanti Cristo*, Quaderni della Soprintendenza Archeologica della Liguria, n. 5, Luna Editore, La Spezia
- R. Del Ponte (1999), *I Liguri. Etnogenesi di un popolo: dalla preistoria alla conquista romana*, Genova;
- P. Arnaud (1999), *Le Alpi Marittime di Nino Lamboglia. Tra Celti e Liguri*, in *Rivista di Studi Liguri*, LXIII – LXIV;
- P. Arnaud (2000), *Réflexions sur les limites occidentales du territoire d'Albintimilium et la frontière de l'Italie impériale*, in *D'Albintimilium à la prud'homie des pêcheurs Mentonnais*, Journée d'études, *Rivista di Topografia antica*, XI;
- D. Binder, R. Maggi (2001), *Le Néolithique ancien de l'arc liguro-provençal*, in *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 98,3:
- P. Arnaud (2001), *Les Ligures: la construction d'un concept géographique et ses étapes de l'époque archaïque à l'empire romain*, in V. Fromentin, S. Gotteland, *Origines Gentium*, Bordeaux;
- G. Camps (2001), *Il neolitico mediterraneo : tecniche e modi di vita*, Jaka Book, Milano
- A. Del Lucchese (2002), *Nuovi dati ed ipotesi sulla metallurgia preistorica della Liguria Occidentale*, in *Omaggio a Santo Tiné. Miscellanea di studi di Archeologia preistorica e protostorica*, Genova;
- R. Maggi (2004), *Pratiche agro-pastorali e paesaggio fra Alpi marittime e Appennino settentrionale: dal Neolitico all'Età del Bronzo*, in *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*, Aosta;
- C. Varaldo, a cura di (2004), *Insedimenti e territorio: viabilità in Liguria tra I e VII secolo d. C.*, *Atti del Convegno, Bordighera, 30 novembre- 1 dicembre 2000*;
- A. Del Lucchese et al. (2004), *Aspetti della seconda Età del Ferro nell'estremo Ponente Ligure*, in *Ligures Celeberrimi. La Liguria interna nella seconda Età del Ferro*, *Atti del Convegno, Mondovì, 26-28 aprile 2002*;
- G. Spadea, a cura di (2004), *I Liguri: un antico popolo europeo tra Alpi e Mediterraneo*, *Catalogo della Mostra*, Genova;

Archéologie romaine

- N. Lamboglia (1938), *Liguria romana: Nicea e Cemenelum*, Genova;
- N. Lamboglia (1939), *Liguria Romana – Studi storico- topografici*, Alassio;
- M. V. Antico Gallina (1992), *Aspetti topografici e geomorfologici della Liguria antica nelle fonti letterarie e itinerarie*, in *RendIstLomb* 126 – 1992;
- L. Gambaro (1999), *La Liguria costiera tra III e I secolo – Una lettura archeologica della romanizzazione*, Mantova;
- R. C. De Marinis (1998), *I Liguri tra Etruschi e Celti*, in *Tesori della Postumia. Archeologia e storia intorno a una grande strada romana alle radici dell'Impero*, *Catalogo della Mostra*, Milano;

G. Spadea (1998), I Liguri della costa tra prima e seconda età del Ferro, in Tesori della Postumia. Archeologia e storia intorno a una grande strada romana alle radici dell'Impero, Catalogo della mostra, Milano.

L. Giordano e N. Lamboglia (s.d.), Vie romane da Vado a Ventimiglia.

P. Luccardini (2001), Vie Romane in Liguria, De Ferrari, Genova.

Archéologie des périodes post-romaines

N. Lamboglia (1970), I monumenti medievali della Liguria di ponente, Genova;

N. Lamboglia (1986), I monumenti della valle di Imperia, Genova;

A. Gardini (1997), Archeologia post-medievale in Liguria, estratto da Archeologia post-medievale 1- 1997, All'Insegna del Giglio, Firenze;

F. Bulgarelli et al., a cura di (2001), Archeologia dei Pellegrinaggi in Liguria, Sabatelli, Savona;

P. Gollo (2002), L'architettura delle caselle. Atlante dei manufatti in pietra a secco nelle valli imperiesi, Amadeo, Imperia.

Bibliographie spécifique sur les principaux sites archéologiques du territoire étudié

Balzi Rossi – Vintimille

L. Villeneuve, M. Boule, E. Cartailhac, R. Verneau (1906-1919), Les grottes de Grimaldi;

A.C.Blanc, Nuovo giacimento paleolitico e mesolitico ai Balzi Rossi (Bàussi Rùssi) di Grimaldi, 1938;

P. Graziosi (1956), I Balzi Rossi, collana Itinerari Liguri, Bordighera;

G. Vicino (1972), Gli scavi preistorici nell'area dell'ex – Casinò dei Balzi Rossi, in Rivista Ingauna Intemelia, XXVII, 1-4

G. Vicino (1972), Scoperta di incisioni rupestri paleolitiche ai Balzi Rossi, in Rivista di Studi Liguri, XXXVIII;

M.G. Bulgarelli (1974), Industrie Mustieriane della Barma Grande ai Balzi Rossi di Grimaldi (Liguria), in Studi di Paleoetnologia, Paleoantropologia, Paleontologia, e Geologia del Quaternario;

F. Tiné Bertocchi (1974), Il Museo dei Balzi Rossi, in Musei e Gallerie d'Italia, 53;

G.Vicino (1974), La spiaggia tirreniana dei Balzi Rossi nei recenti scavi dell'ex- Casinò, in Atti della XVI Riunione Scientifica Istituto Italiano Preistoria in Liguria, Firenze;

P. Graziosi (1976), I Balzi Rossi: guida alle caverne preistoriche di Grimaldi presso Ventimiglia, Genova;

G. Rosati (1987), Proposta di sistemazione della zona archeologica dei Balzi Rossi, in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria III-2. Scavi e scoperte 1982-86. Dall'epoca romana al post-medioevo, Soprintendenza Archeologica della Liguria

A. Del Lucchese (1996), Museo Archeologico dei Balzi Rossi, 1996, Genova;

S.A. (1997), Balzi Rossi 1846-1996. Centocinquanta anni di preistoria tra collezionismo e indagine scientifica. Riassunti delle comunicazioni presentate alla tavola rotonda tenuta a Ventimiglia presso il Museo archeologico Girolamo Rossi dal 1. al 2 febbraio 1997, dattiloscritto.

Monte Bego – Vallée des Merveilles

C. Bicknell (1911), The Prehistoric Rock Engravings in the Italian Maritime Alps, Bordighera;

- C. Bicknell (1913), A guide to the prehistoric Rock Engravings in the Italian Maritime Alps, Bordighera;
- N. Lamboglia (1940), Val Meraviglie e le questioni etniche, In Rivista Ingauna e Intemelia, V;
- H. de Lumley, a cura di (1996), Le rocce delle Meraviglie. Sacralità e simboli nell'arte rupestre del Monte Bego e delle Alpi Marittime, Milano
- M. Brandolini et al. (2002), Le incisioni rupestri del Monte Bego nei diari di campagna di Clarence Bicknell. Ambiente fisico e presenza antropica, Genova.

Albintimilium – Vintimille

- G. Rossi (1908), I Liguri Intemeli, in Atti della Società Ligure di Storia Patria, XXXIX;
- G. Rossi (1986), Storia della città di Ventimiglia, Atesa, Bologna;
- P. Barocelli (1923), Albintimilium, in Monumenti Antichi dei Lincei, XXIX;
- N. Lamboglia (1934), Il municipio di Albintimilium e il confine occidentale dell'Italia romana, in Bollettino della Società storico- archeologica Ingauna e Intemelia, I;
- N. Lamboglia (1938), Nuovi scavi nella necropoli di Albintimilium, in Rivista Ingauna e Intemelia, IV;
- N. Lamboglia (1940), Mentone Intemelia, in Rivista Ingauna e Intemelia, VI;
- N. Lamboglia (1948), Le prime vestigia di album Intemelium preromana, in Rivista di Studi Liguri, XIII;
- N. Lamboglia (1949), La scoperta degli strati preromani di Albintimilium, in Rivista Ingauna e Intemelia;
- N. Lamboglia (1949), Il "Piano topografico della città degli Intemeli" di Grolamo Rossi, in Rivista di Studi Liguri, XIV;
- N. Lamboglia (1949), Verso la sistemazione del Museo Intemelio, in Rivista Ingauna e Intemelia, IV;
- N. Lamboglia (1950), Gli scavi di Albintimilium e la cronologia della ceramica romana. Campagne di scavo 1938- 40, Bordighera
- N. Lamboglia (1950), La stratigrafia del teatro di Albintimilium e la datazione dei monumenti romani, in Rivista di Studi Liguri XVI, 4- 1950
- N. Lamboglia (1953), Nuovi punti fermi sulla topografia di Albintimilium, in Rivista Ingauna e Intemelia, VIII;
- N. Lamboglia (1956), Primi risultati cronologici e storico-topografici degli scavi di Albintimilium (1949- 1956), in Rivista di Studi Liguri XXII, 2-4 1956
- C. Laviosa (1956), Le sculture della raccolta Hanbury nel Museo Archeologico di Ventimiglia, in Rivista Ingauna e Intemelia, XI;
- N. Lamboglia (1957), Lo scavo del pulpitem nel teatro romano di Ventimiglia, in Rivista Ingauna e Intemelia, gen-sett 1957;
- N. Lamboglia (1959), Prime osservazioni sugli strati preromani di Albintimilium, in Rivista di Studi Liguri, XXV;
- N. Lamboglia (1960), La villa Hanbury nel passato e nell'avvenire, in Rivista Ingauna e Intemelia, XV;
- N. Lamboglia (1961), Primi risultati cronologici e storico- topografici degli scavi di Albintimilium, in Rivista Ingauna e Intemelia, XVI;
- F. Pallares (1962), Lo scavo della Porta Provenza a Albintimilium, In Rivista Ingauna e Intemelia, XVII;
- N. Lamboglia (1964), Le "Notizie degli scavi" di Ventimiglia di Girolamo Rossi (1876- 1908), in Rivista Ingauna e Intemelia, XIX;

- N. Lamboglia (1964), Ventimiglia Romana, Itinerari Liguri 7, Bordighera;
- N. Lamboglia (1971), Gli scavi di Albintimilium del 1971, in Rivista Ingauna e Intemelia, XXVI;
- N. Lamboglia (1972), Gli scavi di Albintimilium del 1972, in Rivista Ingauna e Intemelia, XXVII;
- N. Lamboglia (1976), Ventimiglia, in Soprintendenza Archeologica della Liguria (a cura di), Archeologia in Liguria. Scavi e scoperte 1967-1975, Genova;
- F. Brusca, D. Gandolfi, F. Pallares (a cura di) (1977), Omaggio a Nino Lamboglia I, in Rivista di Studi Liguri, XLIII;
- F. Pallarés (1986), Le tecniche murarie di Albintimilium, in Rivista di studi liguri, LII;
- F. Pallarés (1987), Ventimiglia, in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria III-2. Scavi e scoperte 1982-86. Dall'epoca romana al post- medioevo, Soprintendenza Archeologica della Liguria;
- B. Durante (1988), Albintimilium antico municipio romano, Genova;
- G. Mennella (1992), Albintimilium, in Supplementa Italica, 10;
- G. Palmero (1994), Ventimiglia medievale: topografia e insediamento urbano, Genova estratto da Atti della Società Ligure di Storia Patria XXXIV (CVIII- II)
- F. Pallarés (1984), Ventimiglia, in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria II. Scavi e scoperte 1976-81, Soprintendenza Archeologica della Liguria, Genova.

Latte

- G. Rossi (1886), Storia della città di Ventimiglia, Genova;
- A. Surace (1984), Latte, in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria II. Scavi e scoperte 1976-81, Soprintendenza Archeologica della Liguria, Genova.
- E. Amaretti (1986), Toponomastica etimologica della costa di Ventimiglia, in Rivista Ingauna e Intemelia, gen- dic 1986;
- E. Pozzi (1993), Le ville dell'estremo ponente ligure, in Rivista Ingauna e Intemelia, XLVIII.

Bussana

- G. Isetti et al., Il giacimento musteriano della Grotta dell'Arma presso Bussana (Sanremo), In Rivista di Studi Liguri;
- G. P. Martino (1984), Bussana (villa romana), in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria II. Scavi e scoperte 1976-1981, Soprintendenza Archeologica della Liguria, Genova.

Grottes sépulcrales de la Vallée Argentina

- M. Ricci e E. Lanteri Motin (1963), Una cavernetta sepolcrale eneolitica a Realdo (alta Valle Argentina), in Rivista Ingauna e Intemelia, XVIII;
- M. Ricci (1964), Un vaso campaniforme nell'alta Valle Argentina (a Loreto, presso Triora), in Rivista Ingauna e Intemelia, XIX;
- M. Ricci e E. Lanteri Motin (1965), La terza campagna di scavo nella grotta sepolcrale eneolitica di Realdo, in Rivista Ingauna e Intemelia, XX;
- N. Lamboglia (1972), Un pozzo funerario dell'Età del Bronzo presso Borniga (Realdo), in Rivista Ingauna e Intemelia, XXVII;
- M. Ricci (1978), Il Pertuso: nuovi contributi allo studio dell'Età del Bronzo della Liguria Occidentale, in Bollettino Gruppo Speleologico Imperiese C.A.I., VIII;
- A. Del Lucchese, M. Ricci (1987), Il Pertuso, in P. Melli (a cura di), Archeologia in Liguria III-2. Scavi e scoperte 1982-86. Dall'epoca romana al post- medioevo, Soprintendenza Archeologica della Liguria.

A. Del Lucchese et al. (2003), Il pozzo sepolcrale Buco del Diavolo (Triora). Prime notizie sulle campagne di scavo 1998-2002, in Ricerche Paleontologiche delle Alpi Occidentali, Atti del II Congresso Internazionale CESMAP

Tana della Volpe – Triora

M. Ricci e Lorenzelli (1980), Quattro anni di scavi nella Tana della Volpe (Loreto, Alta Valle Argentina), in Bollettino Gruppo Speleologico Imperiese, X;

G. Cremonesi (1985), Tana della Volpe, in D. Cocchi Genick e R. Grifoni Cremonesi (a cura di), L'età dei metalli nella Toscana Occidentale, Pacini Editore, Pisa;

M. Capitano (1989), I resti umani preistorici della Tana della Volpe (Alta Valle Argentina, Triora), in Bulletin du Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco, 32;

Les places-fortes pré-romaines dans l'extrême ouest de la Ligurie et sur le territoire de San Remo

N. Lamboglia (1955), Esplorazioni archeologiche storiche- topografiche sui monti di Sanremo, in Rivista Ingauna e Intemelia, X;

M. Ricci (1962), Scoperta del Castellaro di Monte Colma, in Rivista Ingauna Intemelia, XVII.

N. Lamboglia (1973), Castellari liguri sopra Bordighera, in Rivista Ingauna Intemelia, XXVI;

Sanremo

P. Parocelli (1932), Sanremo. Avanzi di una Piscina e di altre costruzioni romane, in NSc, VIII;

G. Isetti (1961), Una stazione paleolitica nel centro di Sanremo, in Rivista di Studi Liguri, XXVII;

N. Lamboglia (1963), La demanializzazione e lo scavo della villa romana in regione foce a Sanremo, in Rivista Ingauna e Intemelia, XVIII;

F. Freudiani, M. Ricci, F. Pallarés (1964), Una tomba dell'Età del Bronzo e altri ritrovamenti sul Monte Grange (Taggia), in Rivista Ingauna e Intemelia, XIX;

N. Lamboglia (1976), Sanremo, in Soprintendenza Archeologica della Liguria (a cura di), Archeologia in Liguria. Scavi e scoperte 1967-1975, Genova

G. Rossi (1981), Storia della città di Sanremo, Atesa, Bologna.

Les cavernes de la Haute Vallée du Nervia

A. Issel (1887), La caverna della Giacheira presso Pigna, in Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, IX;

P. Maifredi (1962), Una grotta sepolcrale presso Tenarda (Pigna), in Rivista Ingauna e Intemelia, XVII;

M. Ricci (1988), Pigna nella preistoria, in Pigna e il suo territorio, Cartoguida De Agostani, Novara;

M. Ricci (1991), Il calcolitico e le grotticelle sepolcrali dell'Età dei metalli nell'estrema Liguria di Ponente, in Le Mont Bego. Une montagne sacrée de l'Age du Bronze. Sa place dans le contexte des religions protohistoriques du Bassin Méditerranéen, preprints del Colloquio Internazionale di Tenda, Alpi Marittime, Tomo primo.

1.2.4 L'Habitat. Bibliographie raisonnée de la maintenance et de la réhabilitation immobilière

«Les maisons dureront moins que nous. Chaque génération devra construire sa propre ville ». Voilà ce qu'écrivait Antonio Sant'Elia en 1914, en soulignant l'importance de la "nouveau" par rapport à celle de la "durée" et anticipant ainsi, même si ses intentions étaient en partie étrangères au débat actuel, l'un des problèmes majeurs de l'architecture du XXème et du XXIème siècle. Si l'on observe en effet les résultats les plus simples et les moins éclatants de ce processus constructif, la « ville diffuse », justement, nous ne pouvons, aujourd'hui, que constater la "crise de la modernité". La construction moderne et contemporaine est souvent le résultat d'une production à faible coût qui révèle, en exigeant désormais des interventions urgentes, une incapacité technique de contrôle et de maîtrise du processus de production et d'assemblage, dont la dégradation physique n'est que la manifestation superficielle la plus évidente.

En réalité, bien au-delà des résultats tangibles de ces activités de construction, ce sont les finalités mêmes, qui étaient autrefois à leur base, qui sont aujourd'hui mises en discussion. La réalisation de grands complexes résidentiels en marge de la ville, l'abandon de solutions constructives traditionnelles, même formelles, un lien, mal interprété ou oublié, avec le milieu physique et social, une simplification excessive de la manière d'"habiter", sont des principes que la société contemporaine ne reconnaît pas comme valeurs.

En outre, le progrès technique lui-même a contribué à annuler le concept de "limite", comme frontière infranchissable, surtout par rapport au milieu naturel et à l'utilisation des ressources, affaiblissant ainsi toujours plus les relations structurelles qui, autrefois, reliaient les formes d'habitats aux processus de construction de l'identité des lieux. Identifier et évaluer les risques, y compris ceux liés à l'environnement, auxquels est soumise une construction, prévenir les défauts et les dysfonctionnements des bâtiments, améliorer leurs prestations compte tenu de nouvelles exigences, en modifier l'aspect extérieur pour faire passer de nouveaux messages, combler et restaurer des espaces vides, réutiliser des volumes qui ont perdu leur fonction d'origine, avec des solutions techniques qui découlent de questions de caractère plus général, par rapport aux destins des constructions et de la ville moderne et contemporaine, et auxquels d'ailleurs la technique ne peut répondre seule.

La bibliographie a été divisée en plusieurs sections thématiques, qui traitent toutes du thème de la maintenance et de la réhabilitation du bâti existant.

La première section regroupe des textes, essentiellement des monographies, consacrés au problème de la détérioration, des défauts et des dysfonctionnements et des pathologies de la construction et aux pratiques et méthodes permettant de les reconnaître et d'identifier leurs causes de manière correcte (une étape nécessaire avant une quelconque intervention).

La deuxième section concerne les textes consacrés à l'entretien des bâtiments, un domaine qui, ces dernières années, a fini par acquérir sa propre autonomie "disciplinaire", en empruntant des instruments et des méthodes au secteur industriel lui-même.

La troisième section se réfère au problème de l'entretien des grands patrimoines immobiliers.

La quatrième section élargit le champ d'intervention de l'entretien à la réhabilitation immobilière, c'est-à-dire à un projet d'ensemble qui introduise des thèmes différents comme par exemple l'aspect architectural, les équipements, l'utilisation plus attentive des ressources...

La cinquième section se consacre à différents types d'intervention sur des zones urbaines identifiées comme "vides" qui nécessitent avant tout une « refonctionnalisation » dans le contexte et un nouvel aménagement spatial, morphologique et environnemental.

1.2.4.1 Détériorations, défauts et pathologies de la construction récente

De nombreux bâtiments réalisés à l'époque moderne, avec une structure en béton armé, manifestent aujourd'hui des signes de vieillissement précoce, qui peuvent être attribués à différentes causes, parfois concomitantes. Le béton armé est en effet un matériau qui, contrairement à ce que l'on pensait à l'époque de son expérimentation, peut facilement être l'objet de phénomènes de détérioration physique, chimique et biologique. Les attaques les

plus néfastes sont, par exemple, celles qui sont liées au cycle du gel et du dégel, des pluies et des eaux sauvages (détérioration physique), aux sulfates, aux chlorures et à l'anhydride carbonique (détérioration chimique) et aux actions mécaniques (solllicitations dynamiques, surcharges...)

Les causes de la détérioration peuvent souvent dériver de l'interaction entre agents météoriques et/ou environnementaux externes ainsi que de solutions constructives particulières (préparation de parpaings en béton armé sans respecter les règles de l'art, techniques pouvant être facilement attaquées par les eaux météoriques), parfois par l'absence ou la mauvaise qualité de la maintenance, ou par des pannes (dans les installations, en particulier dans l'évacuation des eaux blanches ou usées).

La mauvaise qualité du ciment (rapport eau/ciment élevé, un problème de granulosité des éléments inertes, un séchage ou une vibration non conformes) a une influence certaine sur le processus de détérioration du matériau: de tels problèmes sont par ailleurs aggravés par le taux élevé d'humidité et, surtout, par les agressions extérieures comme par exemple un taux élevé de pollution.

La détérioration des constructions, en dehors des phénomènes liés aux matériaux, peut avoir d'autres causes, liées au comportement de la structure, aux caractéristiques des éléments du revêtement, de certaines parties de la construction en contact avec les agents atmosphériques, mais également au comportement du bâtiment lui-même.

Parmi les causes de la détérioration possible du bâtiment, nous trouvons les infiltrations d'humidité en provenance du sous-sol et les sollicitations thermiques qui provoquent, en particulier dans les structures en béton armé, des phénomènes de rétraction. Les effets les plus évidents des sollicitations thermiques sont observables sur le revêtement extérieur et sur les planchers "froids", sans isolation thermique, qui reposent sur des soubassements à arcades dans le cas des structures sur "pilotis".

Les fissures, les effondrements et les affaissements peuvent au contraire être causés par des problèmes d'élasticité entre structure et maçonnerie, qui provoquent le décollement des fermetures verticales opaques; la détérioration de certaines structures moins épaisses comme par exemple l'enrobage des structures en béton armé; des fissures de décollement causées par la pause incorrecte d'une fixation entre deux matériaux (dans les constructions préfabriquées, les points faibles sont toujours les nœuds et les joints, qui étaient protégés autrefois par des éléments qui faisaient aussi office de décoration); tremblements de terre et séismes, qui provoquent des sollicitations dynamiques de type ondulatoire, des affaissements différentiels du terrain, qui provoquent l'effondrement de certaines parties et par conséquent des sollicitations aussi bien sur les structures charpentées que sur les panneaux rigides en maçonnerie.

Les textes reportés ci-dessous ont pour but de systématiser les connaissances sur les phénomènes courants de détérioration de bâtiments réalisés grâce à des techniques typiquement modernes.

Aa. Vv. (1981), *Patologie in edilizia*, Be-Ma, Milano.

Boaga G. (a cura di) (1994), *L'involucro architettonico. Progetto, degrado e recupero della qualità edilizia*, Masson, Milano.

Brancato F.S. (1991), *La prevenzione del degrado. Propedeutica alle tecnologie del recupero edilizio*, Ila Palma, Palermo.

Croce S. e Costantini M. (1982), *Patologia edilizia*, Be-Ma, Milano.

Croce S. (1995), "*Patologia edilizia: prevenzione e recupero*", Manuale di progettazione edilizia. Progetto tecnico e qualità, Hoepli, Milano, vol.3.

De Angelis E. (1998), "*Difetti e guasti delle facciate ventilate*", Ambiente costruito, 1.

Gasparoli P. (1998), "*Le patologie dei rivestimenti a cappotto*", Ambiente costruito, 1.

Gasparoli P. (2002), *Le superfici esterne degli edifici: degrado, criteri di progetto, tecniche di manutenzione*, Alinea Editrice, Firenze.

Harris S.Y. (2001), *Building pathology. Deterioration, diagnostics and intervention*, John Wiley & Sons, New York.

Hinks J. e Cook G. (1997), *The technology of building defects*, E&FN SPON, London.

Paganin G. (a cura di) (2003), *Danni e guasti dell'edificio*, Esselibri, Napoli.

Pizzi E., De Angelis E., Grecchi M. e Paolino L. (2000), *La facciata. Diagnosi del degrado e interventi di ripristino*, Maggioli Editore, Rimini.

1.2.4.2 La maintenance immobilière: méthodes et instruments

L'intervention sur les constructions modernes et contemporaines réalisées entre les deux guerres et au lendemain de la guerre, représente aujourd'hui un important champ d'application et d'étude, de recherche et de formation continue.

Les études menées dans ce domaine et la pratique acquise sur le terrain ont fait de la maintenance immobilière l'un des thèmes émergents du bâtiment de la fin du XXème siècle, ainsi qu'un important secteur de l'économie aussi bien dans le domaine patrimonial que dans celui de la construction. L'industrie a été la première à développer des méthodes de maintenance que l'on essaie maintenant d'appliquer au bâtiment en mettant au point des instruments adéquats pour programmer rationnellement dans le temps, des interventions, afin de prévenir les différentes formes de dysfonctionnement et de dégradation et de maintenir en état le bien.

Selon l' OCDE, la maintenance est " cette fonction au sein de l'entreprise à laquelle on demande d'exercer un contrôle constant sur les installations ainsi que l'ensemble des travaux de révision et de réparation nécessaires pour assurer le fonctionnement régulier et le bon état de conservation des installations de production, des services et des équipements " (1963) (1963).

Les objectifs de la maintenance dans l'industrie sont les suivants:

- la conservation du patrimoine industriel de l'entreprise, à travers le contrôle systématique des équipements (diagnostic de l'état de conservation et mise en place des actions visant à maintenir ou à ramener le matériel dans des conditions optimales d'efficacité)
- la sécurité (faire en sorte que les risques soient éliminés, aussi bien pour le personnel que pour les installations, à travers l'application de politiques adéquates de prévention et d'inspection et par conséquent de tous les contrôles nécessaires pour identifier les dégradations dues aux processus de vieillissement, de corrosion, etc.)
- la qualité (obtenir le niveau de qualité voulu, correspondant aux exigences du marché, tout en maintenant les conditions optimales d'efficacité opérationnelle des équipements)
- la fiabilité des équipements (garantir leurs prestations, dans des conditions d'utilisation précises, avec une fréquence d'arrêts non supérieure à une limite prescrite)
- la protection de l'environnement (contrôler / améliorer les conditions environnementales et écologiques internes et externes de l'usine à travers une maintenance rigoureuse des installations écologiques et l'adaptation constante aux normes)
- le contrôle des coûts (monitorage attentif des coûts de maintenance)
- formation du personnel (proposer et formuler des programmes de formation du personnel en fonction des technologies installées et des problèmes de gestion).

Récemment ces méthodes ont été appliquées, avec les adaptations nécessaires, au secteur du bâtiment, pour lequel on distingue différentes typologies de maintenance :

- la maintenance accidentelle (due à une panne ou une rupture), une intervention de réparation après une panne, pour ramener une machine, ou l'un de ses éléments, dans des conditions opérationnelles prédéfinies
- la maintenance préventive (statistique) ou programmée, une intervention faite à intervalles réguliers dans le but de réduire la possibilité que la machine (ou l'un de ses composants) cesse d'être dans les conditions opérationnelles prévues
- la maintenance selon les conditions (ou prédictive) c'est-à-dire réalisée avant la panne, est menée après avoir pris connaissance de l'état réel de chaque élément de la machine à travers des contrôles de routine ou constants (inspections).

Aujourd'hui, un programme de maintenance va toujours, nécessairement, de pair avec un support informatique. De nombreux ouvrages cités dans la bibliographie y sont d'ailleurs consacrés. Les logiciels utilisés actuellement gèrent des informations sur l'organisation, les aspects économiques et les aspects techniques.

On distingue deux phases dans les opérations du projet de maintenance: le pré-projet et le projet exécutif.

Les opérations suivantes appartiennent aux phases de pré-projet:

- analyses et prévisions (modèle de fonctionnement de systèmes et de sub-systèmes, élaborations de méthodes pouvant localiser les dysfonctionnements, création de check-list)
- liste des critères guides (instrument pour la conception et les choix technologiques)
- matrice éléments/exigences (définition des choix projectuels finalisés à garantir à chaque élément technique les éléments de maintenabilité)
- Fiche des solutions techniques (divisée en trois secteurs: identification de l'élément technique; schémas graphiques; description et période d'inspection)

- évaluation économique (coût global du cycle de vie des bâtiments)
- Les phases du projet exécutif comprennent:
- le livret d'utilisation et de maintenance
 - le dossier technique de maintenance

Bouclé F. e Ogus A. (1989), *La gestione della manutenzione: evoluzioni e mutazioni*, FrancoAngeli, Milano.

Cecchini C. (1989), *Strategie di manutenzione edilizia: le tecniche, gli strumenti e le implicazioni progettuali*, Alinea Editrice, Firenze.

CNIM (a cura del) (2003), *Il libro della manutenzione. Manuale per la progettazione e l'appalto dei servizi*, DEI, Roma.

D'Alessandro M. (a cura di) (1994), *Dalla manutenzione alla manutenibilità. La previsione dell'obsolescenza in fase di progetto*, FrancoAngeli, Milano.

Delmastro M., Martinella N. e Marsocci L. (2000), *La manutenzione programmata in edilizia*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Di Giulio R. (1991), *Qualità edilizia programmata. Strumenti e procedure per la gestione della qualità nel ciclo di vita utile degli edifici*, Hoepli, Milano.

Di Giulio R. (a cura di) (1993), *Manutenzione edilizia programmata*, Hoepli, Milano.

Di Giulio R. e Croce S. (2003), *Manuale di manutenzione edilizia: valutazione del degrado e programmazione della manutenzione*, Maggioli, Rimini.

D'Incognito V. (1995), *Progettare il sistema manutenzione*, FrancoAngeli, Milano.

Di Sivo M. (1992), *Il progetto di manutenzione*, Alinea Editrice, Firenze.

Fedele L., Furlanetto L. e Saccaridi D. (2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw Hill, Milano.

Ferracuti G. (1994), *Tempo Qualità Manutenzione. Scritti sulla manutenzione edilizia, urbana e ambientale*, Alinea Editrice, Firenze.

Furlanetto L. e Cattaneo M. (1986), *Manutenzione produttiva*, IPSOA.

Lucchetti P. e Semeraro G. (2000), *La manutenzione dei patrimoni immobiliari. Guida all'elaborazione dei capitolati e dei programmi di manutenzione*, EPC Libri, Roma.

Lucchetti P. e Semeraro G. (2002), *Il piano di manutenzione*, EPC Libri, Roma.

Manfron V. e Siviero E. (1998), *Manutenzione delle costruzioni: progetto e gestione*, UTET, Torino.

Marsocci L. (2000), *Il piano di manutenzione: linee guida per la compilazione*, DEI, Roma.

Maspoli R. (1996), *SIME sistema informativo per la manutenzione edilizia: manuale per gli operatori tecnici*, Alinea Editrice, Firenze.

Molinari C. (a cura di) (1989), *Manutenzione in edilizia. Nozioni, problemi, prospettive*, FrancoAngeli, Milano.

Molinari C. (1995), "La manutenzione edilizia", *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme*, Hoepli, Milano, vol.3.

Molinari C. (2002), *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. La manutenzione come requisito di progetto*, Esselibri, Napoli, vol.1.

Talamo C. (1998), *La manutenzione in edilizia. Le coordinate di una nuova professione*, Maggioli, Rimini.

Talamo C. (2003), *Il sistema informativo immobiliare. Il caso del Politecnico di Milano*, Esselibri, Napoli.

Tiveron A. (1990), *La manutenzione: un problema per l'edilizia*, DEI, Roma.

1.2.4.3 Stratégies de gestion des patrimoines immobiliers

Le secteur de la maintenance immobilière est aujourd'hui marqué par de nombreuses mutations qui ont modifié son cadre de référence. La loi cadre sur les marchés publics 109/94, arrivée désormais à sa quatrième révision avec la loi 166/2002, a attribué aux activités de maintenance cette centralité que la complexité du projet et de la gestion des bâtiments requiert. En introduisant le Plan de Maintenance comme instrument stratégique dont il faut tenir compte dès le début de la phase de programmation générale dans le cas d'investissements de la part de l'Administration Publique, la norme a contribué à donner une forte impulsion à ce secteur du bâtiment.

De la pratique de la maintenance comme "ensemble d'activités marginales orientées à la réduction des dysfonctionnements" (Molinari, 2002), on est en effet arrivés à lui donner le rôle plus large de stratégie de développement économique.

La maintenance se transforme donc en service (Global Service) offert pour programmer et garantir dans le temps le maintien de la qualité. Le secteur de la gestion des patrimoines immobiliers suscite aujourd'hui l'intérêt de nombreux opérateurs du marché. Dans le patrimoine public, les propriétaires et les gérants recherchent dans l'optimisation des activités la limitation des dépenses, l'efficacité et la qualité dérivant d'une administration correcte, tandis que les entrepreneurs voient une forte ouverture du marché dans ce secteur.

Nombreuses sont les innovations dans les modèles d'organisation de la gestion, qui s'ouvrent vers de nouvelles compétences et professions (property manager, facility manager, global server), ainsi qu'aux instruments d'évaluation et de valorisation immobilière à l'intérieur des services de gestion intégrée.

La complexité des thèmes liés à la réhabilitation est parfaitement illustrée par une recherche européenne, qui vient de se terminer (Cinquième programme Cadre, Croissance compétitive et durable), consacrée à la programmation d'un instrument informatique pour la gestion des grands patrimoines immobiliers, qui se base sur l'évaluation d'une série de critères (environnementaux, architecturaux, socio-économiques) diversifiés par rapport à la seule durée physique des matériaux, des composants et des systèmes technologiques. En fait, la recherche part du principe que les investissements économiques dans le domaine de la maintenance et de la réhabilitation doivent suivre des critères de développement durable et une approche intégrée multidisciplinaire (Franco, 2005). L'idée à la base de cette recherche est que la gestion des grands patrimoines immobiliers, qui représente l'une des caractéristiques de la ville contemporaine, et donc le choix des modalités et des priorités d'intervention (aussi bien pour la propriété publique que privée) ne peut faire abstraction des considérations relatives à la durabilité environnementale, à la qualité architecturale (entendue également comme identité culturelle), aux attentes des habitants ainsi, qu'évidemment, à la durée de vie prévue du bâti. L'utilisateur, dans le processus décisionnel de choix, est ainsi confronté à un cadre plus vaste de nécessités, de possibilités et d'occasions, dont les bénéfices pourront retomber, à long terme, sur la collectivité.

Arbizzani E. (1991), *Manutenzione e gestione degli edifici complessi: requisiti, strumentazioni e tecnologie*, Hoepli, Milano.

Bella D. e Rainini M. (2002), *Il mercato immobiliare e del facility management in Italia: prospettive e potenzialità di sviluppo nel settore alberghiero*, Clup, Milano.

Curcio S. (a cura di) (1999), *Manutenzione dei patrimoni immobiliari. Modelli, strumenti, servizi innovativi*, Maggioli, Rimini.

Curcio S. (2003), *Global Service immobiliare. Modelli e strumenti per la manutenzione e la gestione di strutture e impianti*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Curcio S. (a cura di) (2003), *Lessico del Facility Management. Gestione integrata e manutenzione degli edifici e dei patrimoni immobiliari*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Franco G. (2001), *EPIQR: uno strumento per la diagnosi e la stima degli interventi*, in "Ambiente Costruito" n.3.

Franco G. (2005), *Riqualificare l'edilizia recente. Un software per la gestione dei patrimoni immobiliari*, in "Recuperare l'edilizia" n.45.

Furlanetto L. e Mastriforti C. (2000), *Outsourcing e Global Service*, FrancoAngeli, Milano.

Guideroni F. e Marsocci L. (2003), *Global Service: manutenzione e Facility Management. Linee guida per l'appalto di servizio*, DEI, Roma.

Ricciardi A. (2000), *L'outsourcing strategico*, FrancoAngeli, Milano.

Solustri C. (1997), *Gestione e manutenzione dei patrimoni immobiliari*, NIS, Roma.

Solustri C. (2003), *La gestione integrata dei patrimoni immobiliari. Global Service, piani di manutenzione: teoria e pratica*, Esselibri, Napoli.

1.2.4.4 Réhabilitation immobilière

Les interventions sur un ou plusieurs bâtiments existants, présentant des problèmes de dégradation ou dont les prestations sont inefficaces, peuvent se limiter à une simple maintenance (rétablissement de l'état d'efficacité) ou, au contraire, à des opérations plus importantes, dans le but d'obtenir de "nouvelles qualités".

En dehors des interventions spécifiques sur le revêtement du bâtiment ou sur l'équipement, dans le but d'améliorer les prestations thermiques et géométriques et l'efficacité des installations, les bâtiments existants peuvent faire l'objet, de manière plus ou moins radicale, d'interventions de réhabilitation et d'amélioration, y compris en recourant à des démolitions

partielles et à des déconstructions ou, au contraire, à des ajouts et des surélévations. Ce type de stratégie a fait récemment l'objet d'interventions, conduites ou programmés, dans des pays européens, qui doivent, tous, affronter le problème du destin des grands ensembles résidentiels, souvent construits à faible coût et déjà obsolètes, aussi bien du point de vue physique, que social et fonctionnel. Ce sont ces interventions qui visent avant tout à réhabiliter un tissu immobilier anonyme, inadapté, dégradé et en déséquilibre par rapport à l'environnement. L'attention qui est accordée aujourd'hui à une utilisation plus attentive des ressources (à travers l'isolation thermique, l'utilisation des énergies renouvelables, le recours à des principes de contrôle climatique naturels) témoigne que la société, dans son ensemble, croit en ces valeurs qui sont à la base de ce projet d'intervention.

Le projet de réhabilitation "durable", en effet, prend en compte tous les facteurs de risque environnementaux, comme la présence de composants ou de matériaux nocifs: des éléments qui contiennent des fibres d'amiante, du radon ou d'autres produits dangereux, la localisation de sources de pollution électromagnétique, ainsi que la possibilité d'utiliser les sources d'énergies renouvelables dans les différents types d'installations, compte tenu des récentes dispositions législatives communautaires et nationales et de l'institution des futurs mécanismes de marché comme la négociation des titres d'efficacité énergétique (appelés « certificats blancs ») qui remplaceront les programmes d'incitation régis jusqu'à présent par la Loi 10/1991.

Aghemo C. (2000), *Il progetto dell'elemento involucro opaco: materiali e tecniche per l'isolamento termico*, Celid, Torino.

Agnoletto L. (1997), *Involucro edilizio e comportamento energetico*, Studioemme editore, Vicenza.

Anink D., Boonstra C. e Mak J. (1996), *Handbook of sustainable building. An environmental preference method for selection on materials for use in construction and refurbishment*, James&James Science Publisher, London.

Aste N. (2002), *Il fotovoltaico in architettura*, Gruppo Editoriale Esselibri, Napoli.

Bosia D. (2005), *Risanamento igienico edilizio*, EPC Libri, Roma.

Callegari G. e Montanari G. (a cura di) (2001), *Progettare il costruito. Cultura tecnica per il recupero del patrimonio architettonico del XX secolo*, FrancoAngeli, Milano.

Davoine G. (1997), "La réhabilitation des logements des années 60", *Le Moniteur Architecture*, 80.

De Pascali P. e Scudo G. (1991), "Controllo dei consumi energetici e recupero", *Recuperare*, 3.

Fanconi D. e Piardi S. (a cura di) (1998), *La qualità ambientale degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini.

Fontana C. (1985), "IBA-Alt. Il risanamento graduale a Kreuzberg", *Recuperare*, 19.

Franco G. (2003), *Riqualificare l'edilizia contemporanea. Valutazione, progetto, intervento, sicurezza*, FrancoAngeli, Milano.

Ginelli E. (a cura di) (2002), *L'intervento sul costruito. Problemi e orientamenti*, FrancoAngeli, Milano.

Highfield D. (2000), *Refurbishment and upgrading of buildings*, E&FN SPON, London.

Institute for Housing and Urban Studies (2001), *Sustainable renovation of the existing housing stock*, Erasmus University, Rotterdam.

Manna C. e Fanchiotti A. (a cura di) (1999), *Manuale per la riqualificazione dell'ambiente abitato*, Mancosu Editore, Roma.

Ministère de l'Urbanisme et du Logement (1982), *Guide pour l'amélioration des logements existants*, Le Moniteur, Paris.

Novi F. (a cura di) (1999), *La riqualificazione sostenibile. Applicazioni, sistemi e strategie di controllo climatico naturale*, Alinea Editrice, Firenze.

Raffestin Y., Dreidemie F. e Léger D. (1996), *Réhabiliter en site occupé. Concertation avec les locataires. Diagnostic social et enquêtes techniques. Conduit du projet de réhabilitation*, Le Moniteur, Paris.

Spagnolo M. (2002), *Il sole nella città. L'uso del fotovoltaico nell'edilizia*, Franco Muzzio Editore, Roma.

The Sustainable Building Rehabilitation Guide Book (2000), Los Angeles City and the Global Green USA Institute.

Vincenti A. (2006), *Sistemi fotovoltaici. Impianti solari in conto energia*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.

1.2.4.5 Les vides urbains et la réutilisation des quartiers abandonnés

Le problème des “vides urbains” émerge clairement dans le débat architectural et urbain autour des années 80, grâce à une série d’articles publiés sur Casabella et signés Bernardo Secchi, Vittorio Gregotti, Pierre-Alain Croset, Stefano Boeri pour n’en citer que quelques-uns. Ce sont les démantèlements des grands complexes industriels (en particulier dans l’industrie lourde), un phénomène particulièrement répandu dans d’autres métropoles européennes (Madrid, Londres, Stockholm, Amsterdam...) qui sont à l’origine de cette nouvelle réflexion sur l’idée de ville, sur son évolution et sur sa modification et, plus généralement sur la nouvelle architecture de planification. Les projets de reconversion du quartier Bicocca à Milan (exposés à la Triennale), du Lingotto à Turin et, plus tard, de Bovisa, toujours à Milano, des sites des anciennes aciéries Breda à Pistoia, ecc. sont autant d’occasions pour approfondir de nouveaux thèmes inhérents au débat théorique et disciplinaire sur la « théorie de la modification » et, en même temps, il s’agit de nouvelles manières de concevoir des projets à “échelle urbaine”.

Le terme “vide urbain” est associé, au sens large, à différents types de sites, de par leurs origines ou localisations; un quartier, un bâtiment, un complexe de bâtiments industriels abandonnés, une zone portuaire, une gare ferroviaire, une ancienne prison, une “lacune” dans une ville consolidée ou dans la vieille ville à la suite d’épisodes dramatiques (bombardements par exemple) ou encore une carrière abandonnée. Le projet urbain naît d’une lecture originale et différente par rapport aux analyses préliminaires traditionnelles de la planification. Cette lecture s’efforce de faire émerger l’identité, les significations, les conflits, les particularités, les critères immobiliers (considérés par rapport aux urgences), urbains, paysagers et territoriaux. Le thème de la réinsertion du vide à travers le projet urbain, qui veut instaurer, avant même de nouveaux aménagements spatiaux et morphologiques, de nouveaux rapports dans un tissu urbain souvent « effiloché », domine le panorama national actuel depuis la fin des années 80.

Aa. Vv. (1986), *Progetto Bicocca*, Electa, Milano.

Aa. Vv. (2004), *Le aree industriali dismesse dell’ex Ilva di Bagnoli: l’archeologia industriale*, Liguori, Napoli.

Barbolini G. (2000), *Riqualificare le città: le società miste per le aree urbane dismesse*, FrancoAngeli, Milano.

Bondonio A. (a cura di) (2005), *Stop&go: il riuso delle aree industriali dismesse in Italia. Trenta casi studio*, Alinea, Firenze.

Boeri S. (1985), *Riconversione industriale in luoghi urbani*, in “Casabella”, n. 517, p. 24.

Clementi A., Perego F. (a cura di) (1990), *Eupolis: la riqualificazione delle città in Europa*, Laterza, Roma-Bari.

Dansero E., Giaimo C., Spaziantè A. (2001), *Se i vuoti si riempiono: aree industriali dismesse. Temi e ricerche*, Alinea, Firenze.

Erba V., Moranti C. et al. (2000), *Bovina: una riqualificazione possibile*, Unicopli, Milano.

Gasparrini C., Latini A.P. (1997), *I programmi di riqualificazione urbana*, INU, Roma.

Giovannelli G. (a cura di) (1997), *Aree dismesse e riqualificazione urbana: strategie progettuali e modelli operativi per il recupero. Il caso delle aree ex-Breda a Pistoia*, Alinea, Firenze.

Giura Longo T., Petrangeli M. (a cura di) (2001), *L’architettura per la riqualificazione della città esistente: il contributo dei premi Gubbio*, Gangemi, Roma.

Gregotti V. (1990), *Aree dismesse: un primo bilancio*, in “Casabella”, n. 564, p. 2.

Karrer F. (1998), *Il rinnovo urbano: programmi integrati di riqualificazione e di recupero urbano*, Carocci, Roma.

Pallottini R. (a cura di) (1999), *I nuovi luoghi della città: riqualificazione urbana e sviluppo locale*, Palombi, Roma.

Secchi B. (1984), *Un problema urbano: l’occasione dei vuoti. Il vuoto*, in “Casabella”, n. 503, p. 18.

Secchi B. (1986), *Le occasioni del Progetto-Bicocca. Gli elementi di una teoria della modificazione*, in “Casabella”, n. 524, p. 4.

Storchi F. (2001), *Recupero, riqualificazione e riuso della città*, Unicopli, Milano.

1.2.5 La cartographie et les instruments urbains

Du point de vue de l'urbanisme, l'élaboration du cadre des connaissances a concerné essentiellement la recherche de cartographie (générale et thématique) disponible et le contrôle de l'état de la planification, et donc de l'acquisition du matériel informatif contenu dans les plans.

En ce qui concerne la cartographie, mis à part les cartes topographiques régionales à différentes échelles (1:5.000, 1:25.000), nous nous sommes **procurés** les cartes spécialisées disponibles et utiles à notre recherche, comme la Carte géologique, la Carte forestière, la Carte d'utilisation des sols ainsi que des cartes aériennes.

En ce qui concerne le système de planification, nous avons pris en compte les instruments suivants:

- Plan territorial de coordination paysagère (régional); concerne le territoire des quatre Communes concernées par MEDPLAN et est réparti en trois niveaux de planification, le niveau local comprend un zonage (articulé en aménagement de l'habitat, de la végétation et géomorphologique) particulièrement intéressant pour le développement de MEDPLAN;
- Plan de la côte (régional); concerne uniquement le littoral; constitue une base essentielle pour le développement de MEDPLAN;
- Plan territorial de coordination de la Province d'Imperia, concernant le territoire des quatre Communes;
- Plans de bassins; concernent les bassins des torrents Roja et Nervia
- Plans d'urbanisme municipaux (le plan de Vintimille et celui de Vallecrosia sont en cours de réalisation, les documents du premier sont déjà disponibles tandis que le second est en phase de démarrage, des contacts ont donc été pris avec le responsable du projet, afin de coordonner les contenus avec le MEDPLAN).

Nous n'avons pas tenu compte, pour le moment, d'autres instruments spécifiques (par ex. les plans des Communautés de montagne) qui concernent le territoire des Communes considérées par MEDPLAN mais qui n'intéressent que marginalement ou indirectement le milieu côtier.

Tableau des plans

STATO DELLA PIANIFICAZIONE						
	PIANI D'AREA VASTA	note	STRUMENTI URBANISTICI GENERALI	PIANI ATTUATIVI	PROGETTI INFRASTRUTTURE	PIANI DI SETTORE
VENTIMIGLIA	PdB stralcio Val Roia del 27/02/03		PUC preliminare giugno 2006	Piano delle Spiagge		Piano Territoriale di Coordinamento delle attività di cava
	PdB Val Nervia	La porzione di territorio interessata è relativa alla riva destra del torrente Nervia alla Foce ove è presente l'oasi faunistica provinciale ed interessa alcuni edifici tra il mare e la Ferrovia tra cui il "Biscione" di Nervia, l'area Parco merci della FFSS che sta per essere dismessa ed altri edifici in corrispondenza del sovrappasso della ferrovia verso Collasgarba intorno alla Chiesa di Cristo RE			Parco Ferroviario di Ventimiglia: interscambio gomma-rotella di unità di carico intermodali	
	PTCP					Piano di sviluppo socio economico della Comunità Montana Intemelia.
	Piano della Costa Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale					
VALLECROSA	PdB Val Nervia		PUC in adozione	Piano delle Spiagge		
	PTCP Piano della Costa Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale					
CAMPOROSSO	PdB Val Roia		PUC approvato	Piano delle Spiagge		
	PTCP Piano della Costa Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale					
BORDIGHERA	PdB Val Nervia		PRG approvato	Piano delle Spiagge		
	PTCP Piano della Costa Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale					

2 Partenaire 2, ICRAM, Istituto centrale per la Ricerca Scientifica ed Applicata al Mare; Partenaire 3, Université de Ferrare, DST – Département des sciences de la terre

2.1 Introduction

La zone côtière revêt une importance centrale pour l'économie, l'environnement et la culture méditerranéenne. Pour ces raisons, la politique de gestion de la bande côtière devrait prendre en compte la réponse intégrée du système naturel aux variations environnementales, telles que les changements climatiques prévus à court et à long terme.

L'état d'équilibre est une fonction du temps et, selon les successions sédimentaires (Curry, 1964), trois tendances évolutives à une échelle temporelle géologique peuvent être identifiées à travers lesquelles la côte peut atteindre l'équilibre : progradation, rétrogradation et aggradation.

Au cours de cette dernière décennie, la nécessité croissante de prévoir l'évolution morphodynamique en fonction de la montée prévue du niveau de la mer a conduit les modélisateurs et la communauté scientifique à affronter le thème du « *large scale coastal behaviour* » Pilkey *et al.*, 1994; Cowell *et al.*, 1995; Niedoroda *et al.*, 1995; Storms *et al.*, 2002; Cooper e Jay, 2002).

À tel propos, Capobianco *et al.* (1999) mettent en évidence les principaux problèmes liés aux modélisations à long terme de l'évolution du système côtier :

1. des séries temporelles d'observations insuffisantes pour une compréhension quantitative des dynamiques évolutives et des processus physiques qui les déterminent ;
2. une compréhension limitée des processus et leur difficulté de modélisation à long terme.

Une alternative valable aux modélisations à long terme, basée sur les processus physiques qui agissent sur la côte, est représentée par les « *data-based models* », ou des modèles structurés sur des séries d'analyses et d'observations de variables morphologiques. En fonction de certains agents, le comportement du secteur côtier est défini a priori et est exprimé par la série de données disponibles (Larson *et al.*, 2003).

A court terme (échelle temporelle humaine) les zones côtières sont caractérisées par des interactions complexes et dynamiques entre des processus naturels, démographiques et économiques liés les uns aux autres par un réseau d'influences communes réciproques. Ces processus sont essentiellement reductibles à des cycles dynamiques qui impliquent les ressources naturelles, leur transformation et l'utilisation pour la croissance démographique, l'organisation sociale, la production économique, la génération de produits de passage et leurs re-dispersion dans la nature.

Le long de la façade côtière, les milieux terrestres sont influencés de manière plus ou moins directe par des processus marins et vice versa (Elliot, 1986). En fonction de la variabilité des processus, l'ampleur et les limites géomorphologiques-sédimentaires qui la caractérisent varient en fonction du temps. La morphodynamique, en analysant les relations de feedback entre morphologie et processus hydrodynamiques (Wright & Short, 1984), formalise les "états morphodynamiques" qui, opportunément analysés en fonction du temps, définissent des comportements précis de la côte. Le profil d'une plage exprime ainsi une condition morphologique particulière, déterminée par l'équilibre entre les processus agents et les caractéristiques morpho-sédimentaires. À chaque variation d'un de ces paramètres, le système réagira en évoluant vers une nouvelle condition d'équilibre, ou bien tendra à rejoindre un nouvel état morphodynamique (Cowell and Thom, 1994). Cependant, le concept d'état d'équilibre d'un littoral se réfère à une condition dynamique qui se traduit par une variabilité morphologique (des profils morphologiques) à l'intérieur d'un état morphologique (ou morphodynamique) bien défini, dépendant, par exemple, des caractéristiques météoro-climatiques et marines.

De nombreuses activités humaines sont concentrées dans les régions côtières qui sont généralement moins aptes à assimiler de telles activités et où leurs effets négatifs sont plus apparents et importants.

Dans de nombreuses nations européennes, l'Italie comprise, une croissance socio-économique excessive ou incontrôlée a augmenté la pression sur le système côtier : par exemple l'augmentation de la population, résidente ou temporaire, engendre des tensions sociales autour de l'utilisation possible des zones côtières. Elle a souvent donné l'origine à un processus de détérioration de l'environnement côtier qui peut même aboutir à sa destruction. Des interventions anthropiques le long de vastes zones côtières, comme la construction improprie de nouvelles infrastructures, ont détruit des habitats importants ou ont considérablement réduit leur capacité à réaliser de nombreuses fonctions essentielles : il est utile de rappeler que sur les 700.000 hectares de marécages côtiers existants en Italie au début du siècle ils en restaient seulement 100.000 en 1994 et que 75% des systèmes dunaires de l'Europe méridionale, du détroit de Gibraltar à la Sicile, avaient déjà disparu en 1960.

Les milieux littoraux-côtières occupent donc une des interfaces environnementales-territoriales plus dynamiques (sous le profil temporel et spatial), délicates et en mesure de supporter les habitats les plus divers et les plus productifs. Dans des zones relativement restreintes, ces milieux peuvent présenter une large gamme de conditions liées à des facteurs de salinité (eaux douces à hypersalines) et d'énergie, (lagunes, aires humides protégées, côtes rocheuses, plages, etc.) ainsi qu'aux réalités socio-économiques liées à l'occupation et aux infrastructures.

Ces milieux, conjointement à cet ensemble de caractères strictement anthropiques qui les caractérisent actuellement, sont exposés à des risques provenant de la mer et de la terre (tempêtes, vagues et storm surge, inondations, érosion de la côte, etc.) et à l'éventualité de dégâts biologiques et écologiques (floraisons d'algues, agents polluants, etc.).

De plus, quelques littoraux alluvionnaires, souvent intensément urbanisés, présentent une augmentation, parfois significative, des taux de subsidence pour des raisons anthropiques. Dans ces zones, qui seront indubitablement concernées par une montée relative du niveau de la mer, les variations réelles de l'altimétrie du territoire dépendront donc de la somme des facteurs globaux et des variations locales et régionales des taux de subsidence.

Déjà aujourd'hui, dans de nombreux systèmes côtiers, les taux élevés de subsidence ne sont plus équilibrés par un apport suffisant de sédiment ce qui a pour conséquence une « domination » des processus marins et des inondations. Ainsi, selon Sanchez-Arcilla et Jimenez (1997), les effets majeurs du changement climatique pour les deltas régularisés (aménagés) seront liés à la composante marine par effet de l'érosion due à la houle.

Cependant, toutes les variations observées sur les côtes ne sont pas seulement imputables à l'action anthropique, puisque des facteurs à l'échelle globale, comme les variations climatiques, peuvent déterminer d'importants impacts négatifs, directs et indirects, sur l'organisation de ces zones. Selon des études officielles le changement climatique actuel pourrait par exemple causer une montée du niveau de la mer, des changements du régime des tempêtes, des précipitations, de l'évaporation, et avoir des conséquences sur la disponibilité en eau douce, etc... Les problématiques déjà existantes aujourd'hui, et celles qui pourront s'ajouter prochainement, mettent la zone côtière dans d'évidentes conditions de précarité et de danger.

À court terme le recul du trait de côte, la disparition de la plage et la perte d'une partie du territoire représentent l'un des aspects les plus délicats de la planification des stratégies de gestion de la zone côtière et de réduction des impacts, y compris biologiques et écologiques, dus à la modification ou à la destruction de l'habitat. Il suffit par exemple de penser que les taux d'érosion côtière sont en général environ 100 fois supérieurs à ceux liés à la montée du niveau de la mer ; cela signifie qu'en général, à un millimètre d'élévation marine correspondent 10 cm d'érosion côtière (Douglas et al., 2001).

2.2 Les variations du niveau marin

2.2.1 Mesures marégraphiques

Les mesures marégraphiques fournissent des données correspondant aux variations du niveau marin (VNM) qui, mis à part quelques rares séries anciennes, se réfèrent seulement

aux deux derniers siècles, lorsque plus d'un millier de marégraphes, installés pour faciliter la navigation, ont commencé à fonctionner dans le monde entier, pendant des périodes variables ; les valeurs moyennes mensuelles et annuelles de ces enregistrements sont réunies dans la banque de données du « Permanent Service for Mean Sea Level » à Birkenhead (Angleterre). La plus longue série marégraphique existante provient de Stockholm en Mer Baltique et contient des données recueillies à partir de 1774 ; ces données indiquent un RSLR de 0 mm/an à la fin du petit âge glaciaire (1550-1850 Å), d'environ 1 mm/an au cours du XIX^{ème} siècle, et de nouveau d'environ 0 mm/an au siècle dernier. Par contre les données marégraphiques historiques plus continues de VNM méditerranéens indiquent des remontées du niveau marin comprises entre 12 et 15 cm/siècle pour les 100 dernières années (Pirazzoli, 1996) (Tab. 1).

Autori	Numero di stazioni	Periodo considerato	Velocità media d'innalzamento del livello marino
1 Gutenberg, 1941	69	1807-1937	1,1
2 Polli, 1952	110	1871-1940	1,1
3 Cailleux, 1952	76	1885-1951	1,3
4 Valentin, 1952	253	1807-1947	1,1
5 Lisitzin, 1958	6	1807-1943	1,1
6 Fairbridge e Krebs, 1962	non precisato	1860-1960	1,2
7 Kalinin e Klige, 1978	126	1900-1964	1,5
8 Emery, 1980	247	1850-1978	3,0
9 Gornitz et al., 1982	193	1880-1980	1,2
10 Barnett, 1983	9	1903-1969	1,5
11 Barnett, 1984	152	1881-1980	1,4
		1930-1980	2,3
12 Pirazzoli, 1986	229	1807-1984	indeterminabile
13 Gornitz e Lebedeff, 1987	130	1880-1982	0,9-1,2
14 Peltier e Tushingham, 1989	40	1920-1970	2,4
15 Pirazzoli, 1989	58 (Europa)	1880-1980	0,52
			<1,26
16 Stewart, 1989	152	18881-1980	indeterminabile
17 Trupin e Wahr, 1990	84 (a N di 30°N)	1900-1979	1,75
18 Douglas, 1991	21	1880-1980	1,8
19 Emery e Aubrey, 1991	517	1807-1986	indeterminabile
20 Shennan e Woodworth, 1992	33 (U.K. e Mare del Nord)	1901-1988	1,0
21 Groëger e Plag, 1993	854	1807-1992	indeterminabile

Tableau 1 - Estimations de l'élévation globale (moyenne) du niveau marin obtenues à partir des enregistrements marégraphiques (Pirazzoli, 2000).

Les résultats d'une récente étude de Tsimplis and Baker (2000) sembleraient démentir cette évidence. En effet, les données recueillies de 1960 à 1990, relatives à sept marégraphes situés en Méditerranée occidentale et dans l'Adriatique, montreraient, une diminution du niveau de la Mer Méditerranée à partir de 1960, de -1.3 mm/an. D'autres stations ont indiqué une montée du niveau de la mer Noire de 2.2 mm/an ; en outre les données du niveau de l'Atlantique nord-oriental, même si toujours en hausse, montreraient pour la même période un trend réduit à environ 1.1 mm/an.

Selon les auteurs, la variation de tendance en Méditerranée serait reductible en partie à des causes locales (Bethoux et al., 1998), et en partie à des variations de température et de salinité des eaux profondes à imputer aux oscillations de l'index NAO (North Atlantic Oscillation) (Send et al., 1999 ; Vignudelli et al., 1999 ; Tsimplis et Baker, 2000) ; la relation serait due aux effets combinés des anomalies de la pression atmosphérique et des changements de régimes d'évaporation et de précipitation.

Ces observations de la chute du MSL en Méditerranée se produisent en même temps que les prévisions d'une montée du niveau de la mer due aux changements climatiques causés par l'homme; d'autre part on peut penser que l'augmentation du niveau de la Méditerranée liée à des causes anthropiques a été jusqu'à présent masquée par la variabilité des phénomènes atmosphériques qui agissent sur le bassin (Tsimplis et Josey, 2001).

Dans tous les cas, les incertitudes et les incohérences qui transparaissent de ces données sont dues à plusieurs facteurs. Les enregistrements sont en général localisés le long des côtes des pays développés, surtout dans les zones côtières présentant des estuaires ou des

lagunes, qui enregistrent souvent des mouvements par subsidence. De plus, la discontinuité de la distribution géographique des marégraphes contribue à rendre particulièrement difficile une évaluation des variations globales du niveau marin (Pirazzoli, 2000). Finalement, pour avoir la certitude que les données marégraphiques dépendent réellement de trends climatiques et non de fluctuations décennales ou séculaires, il serait nécessaire d'analyser des séries historiques beaucoup plus longues (Antonioli et Silenzi, 2000).

Malgré ces problèmes, les données marégraphiques ont fourni des indications intéressantes :

- le niveau marin global ne semble jamais s'être abaissé au cours du siècle dernier (Pirazzoli, 2000) ;
- toujours au cours du siècle dernier aucune accélération du SLR est évidente (Woodworth, 1990, Douglas, 1992).

Dans une étude récente, Cazenave et al. (2002) étudient des relevés des marégraphes méditerranéens en les comparant aux données satellitaires: les auteurs montrent que le niveau marin n'est pas remonté de plus de 0.5 – 1 mm/an au cours des dernières décennies, et que les 7 mm/an obtenus grâce aux relevés satellitaires (voir ci-dessous) doivent être interprétés comme une variation de la circulation superficielle plutôt que comme une accélération de la montée du niveau marin.

2.2.2 Relevés satellitaires

La géodésie spatiale est depuis peu utilisée conjointement aux stations marégraphiques pour déterminer les mouvements verticaux du sol près des stations mêmes ; à travers des techniques de type GPS (Global Positioning System) des mesures ponctuelles de précision centimétrique sont obtenues, et des déplacements de l'ordre de 3 mm/an peuvent être relevés (Zerbini et al. 1996 ; Wöppelmann, 1997). Bien que cette technique présente le grand avantage d'obtenir des résultats extrêmement rapides par rapport aux nivellements traditionnels, les mouvements du sol près d'un marégraphe peuvent invalider l'évaluation directe de l'eustatisme (Pirazzoli, 2000).

La mise en orbite du satellite franco-américain Topex/Poseidon en 1992 a permis d'obtenir des relevés continus du VNM, en passant tous les 10 jours au dessus des mêmes zones. Sa précision altimétrique, qui est de 2 cm pour les mesures ponctuelles, s'affine si des moyennes sont calculées sur des zones vastes; en effet les données de ce satellite, après avoir été filtrées des variations des marées mondiales, peuvent théoriquement permettre de déterminer des différences de l'ordre du millimètre par an. Il devient donc possible d'observer, pratiquement en temps réel, les variations du niveau des océans aussi bien à échelle régionale qu'à échelle globale.

Les relevés satellitaires du Topex/Poseidon pour la période 1993-1998 et les relevés marégraphiques effectués à échelle planétaire de l'élévation du niveau marin au cours des 40 dernières années (de 1955 à 1996) indiquent que la montée marine de + 3.2±0.2 mm/an déterminée par des marégraphes peut être entièrement expliquée par l'expansion thermique des océans (Cabanès et al., 2001). De telles preuves permettent aux auteurs de supposer que la remontée du niveau de la mer, déterminée à partir des mesures marégraphiques, peut être surestimée, en rapprochant la composante de la remontée du niveau marin due aux changements climatiques à celle indiquée par l'IPCC 2001 (0,7 mm/an à échelle mondiale).

Les données préliminaires relatives à la Méditerranée (1993-1996) mettaient en évidence certains désaccords, par rapport à une élévation moyenne du niveau marin supérieure à 10 mm/an, avec des pics positifs de quelques mm en Méditerranée Orientale (+ 30 mm/an au Sud de la Crête) et des pics négatifs en Mer Ionienne et au Sud des Îles Baléares (-10 mm/an).

Cazenave et al. (2002) ont réalisé une analyse approfondie sur les changements actuels du SL en Méditerranée et en Mer Noire, en utilisant les mesures du satellite Topex/Poseidon de janvier 1993 à décembre 1998 (Fig. 1) et des satellites ERS-1 et 2 d'octobre 1992 à juin 1996. Les relevés montrent que les taux de la montée du niveau marin sont de 7±1.5 mm/an pour la Méditerranée et 27±2.5 mm/an pour la Mer Noire.

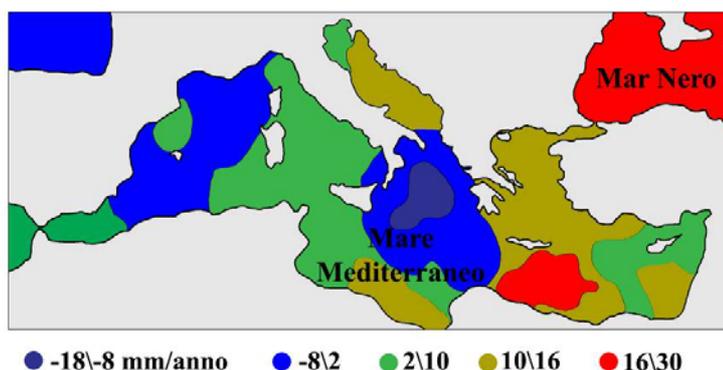


Figure 1 -
Simplification des
variations du niveau
de la Mer
Méditerranée
mesurée à partir du
satellite
Topex/Poseidon de
1993 à 1998 (modifié
d'après Cazenave et
al., 2002).

Les auteurs relèvent des taux de + 20 à + 30 mm/an de VNM dans le bassin Levantin, alors qu'en Mer Ionienne ce trend est négatif (de -15 à -20 mm/an). En Méditerranée occidentale, les trends ont des valeurs inférieures, si toutefois il existe des zones caractérisées par une montée du niveau marin ou par un abaissement. De plus, il semble qu'il existe une forte corrélation entre le trend de VNM et les températures superficielles de la mer, ce qui suggère qu'une partie des variations observées pendant la période d'observation sont dues à des causes thermiques et à la variation de la salinité, en accord avec les changements de la circulation thermohaline observés durant les dernières décennies (Bethoux et al., 1990 ; Bethoux et Gentili, 1996). La moyenne de la remontée globale de la Méditerranée est d'environ 7 mm/an, et Cazenave et al. (2002) l'interprètent en partie comme le résultat des changements du bilan thermique et hydrologique du bassin, surtout dans les régions de formation des eaux profondes ; la forte variabilité présentée par les différents bassins est liée selon les mêmes auteurs aux oscillations décennales de la circulation méditerranéenne.

2.3 Modèles de prévision des scénarios futurs

Stott et al. (2000), en comparant des observations et des simulations de données relatives à la circulation atmosphérique et océanique avec des agents anthropogéniques, établissent que ces derniers ont contribué aux changements de température du XX siècle, supérieure, en moyenne de 60% aux variations globales décennales et sur 50 ans. De plus, les données montrent une augmentation de la température superficielle de la planète d'environ 0.2° par décennie pour les trente dernières années, indiquant donc un comportement inhabituel par rapport à celui observé au cours du millénaire précédent ; les scénarios d'émission des gaz de serre pourraient ajouter aux variations climatiques, pour les décades futures, une contribution quantitativement analogue à celle du passé (Fig. 2)

Par rapport aux données précédemment examinées, il apparaît évident que de nombreuses incertitudes demeurent sur les tendances évolutives passées et surtout actuelles du niveau moyen des mers. Ces incertitudes sont encore plus marquées si on essaie de prévoir les scénarios futurs.

Les projections réalisées jusqu'à maintenant sont essentiellement basées sur l'enregistrement Holocène, sur les reconstructions paléo-climatiques, sur les données marégraphiques enregistrées au cours du siècle dernier, mais aussi sur les variations historiques de la température moyenne de la Terre et sur la fonte potentielle des glaces, ainsi que sur l'effet de l'expansion thermique des océans en évaluant, donc, l'augmentation du niveau de la mer au cours des 100 prochaines années.

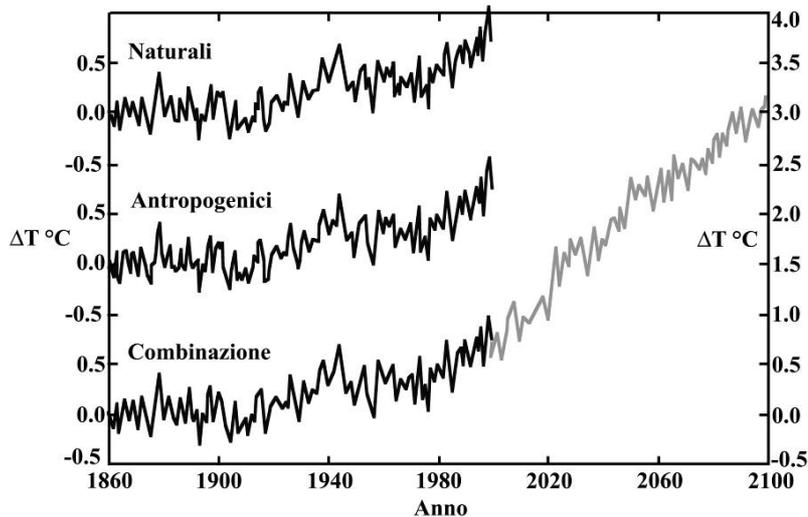


Figure 2. Moyenne annuelle des anomalies globales de la température au sol (courbe noire) liée aux agents naturels et anthropogéniques, et leur somme. L'extrapolation des données futures (courbe grise), basée sur les scénarios d'émission, montre une augmentation des températures pour le siècle prochain nettement supérieure à celle observée au cours des 100 années précédentes. D'après Stott et al., 2000.

Ces projections résultent extrêmement controversées. Malgré les incertitudes et les contradictions qui animent le débat scientifique, les prévisions plus accréditées demeurent substantiellement celles qui indiquent une élévation du niveau de la mer au niveau global.

Le rapport IPCC (2001), afférents aux 5 années précédentes de recherche sur les changements climatiques et souscrits par des centaines de spécialistes, proposent six scénarios d'émission de gaz de serre sur la base des possibles organisations socio-économiques futures de la planète, en variant quelques paramètres comme la croissance économique, la croissance et la distribution de la population mondiale, le degré et l'efficacité du progrès technologique, les stratégies énergétiques alternatives, les interactions sociales et culturelles, etc.

De tels scénarios prévoient une augmentation de la température superficielle moyenne globale de 1.4 et 5.8 °C, pour la période 1990-2100.

En considérant la gamme complète des scénarios SRES pour le même arc de temps, une élévation de + 0,09 et + 0,88 m du niveau global moyen marin est prévue (Fig. 3) ; un tel phénomène semble essentiellement dû à l'expansion thermique des eaux et à la perte de masse des calottes et des glaciers continentaux.

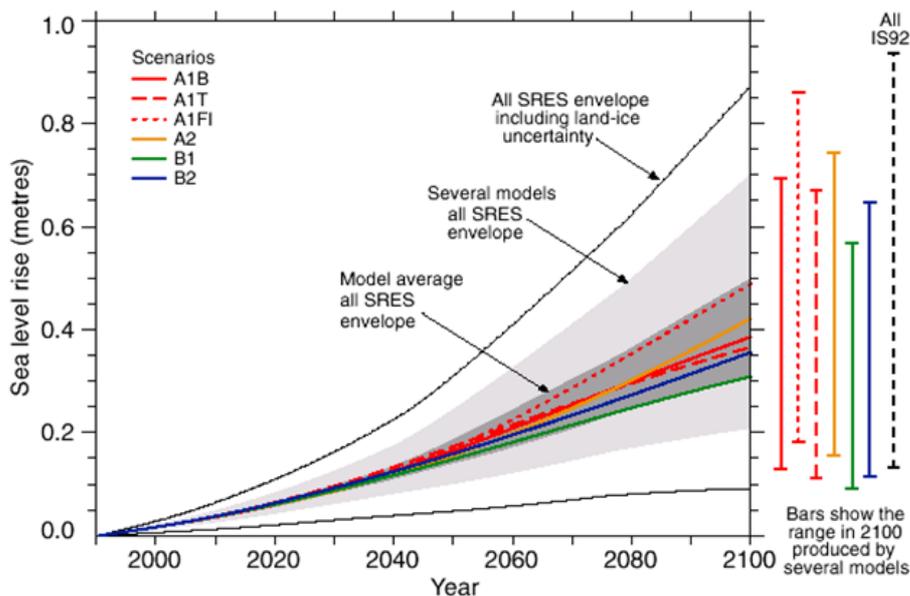


Figure 3. Courbe des prévisions de montée du niveau marin pour les 100 prochaines années ; l'ampleur considérable des barres est liée aux incertitudes relatives aux variations de la calotte glaciaire antarctique et à celles relatives aux concentrations futures des gaz de serre et des aérosols (IPCC, 2001).

En outre, en Méditerranée, il faut considérer l'effet de retard sur les côtes en réponse à la montée globale. Ceci peut, en effet, être influencé par des facteurs locaux comme les gradients de pression atmosphérique qui existe dans le bassin, les conditions hydrauliques dominantes du détroit de Gibraltar (Ross et al., 2000), les variations stériques et les changements du cycle de l'eau dus aux agents atmosphériques (Tsimplis & Josey, 2001).

À titre d'exemple, la tendance du niveau marin (sea-level ; SL) pour les trois stations ayant une série historique plus longue en Méditerranée, Marseille, Gênes et Trieste, montre des valeurs de remontée variables entre + 1.1 et + 1.3 mm/an : celles-ci sont inférieures aux prévisions de l'élévation à échelle globale (Tsimplis & Baker, 2000).

Dans le détail, pour la période comprise entre 1960 et le début des années 90, il n'a pas été enregistré en Méditerranée de variations ou de diminutions du niveau marin, principalement à cause des variations de la pression atmosphérique pendant la période hivernale (Tsimplis & Josey, 2001 ; Woolf et al. 2003), de la diminution de la température et de la variation de la salinité liée au NAO (Tsimplis & à Rixen, 2002).

Entre 1993 et 2002, les analyses des données du système satellitaire Topex/Poseidon révèlent une image complexe où les variations à l'intérieur du bassin ne résultent pas homogènes et/ou constantes.

Pour la période 1993-1999, une élévation rapide du niveau de la mer a été observée dans la zone orientale du bassin Méditerranéen (Cazenave et al. 2002 ; Fenoglio-Marc, 2002) liée aux variations de la température superficielle (Cazenave et al. 2002). Une chute du niveau marin après 1999 a été enregistrée dans la même zone (Fenoglio-Marc, 2002 ; Vigo et al. 2005) et s'explique comme conséquence de la restitution partielle par la mer Adriatique, en tant que source principale, des eaux profondes vers le bassin oriental (Vigo et al. 2005).

Pendant cette même période, une réduction du gradient de remontée du SL a été observée au niveau du détroit de Gibraltar, associée aux changements des conditions hydrauliques dans le détroit (Ross et al., 2000) ou comme variation des différentes densités entre la Méditerranée et l'Atlantique (Brandt et al., 2004).

L'importance des données climatiques dans les variations du SL de la Méditerranée est en accord avec le modèle barotropique à deux dimensions de Tsimplis & de Josey (2001), où sont élaborées les composantes météorologiques et stériques (et confrontées avec le NAO) : l'importance des paramètres météo-climatiques dans le trend observé entre 1960 et 1993 et entre 1993 et 2001 est confirmée.

Pendant la période 1958-2001, une tendance négative de SL, d'environ -0.4/-0.7 à mm/an est observable dans tout le bassin.

Les valeurs les plus négatives sont enregistrées dans la région centrale (à l'Est de la Corse, à l'Ouest des Balkans, près de la côte turque et syrienne), alors que les valeurs minimales sont enregistrées dans le reste de la Méditerranée orientale et dans le secteur Est de la Méditerranée occidentale.

La tendance observée en Méditerranée, même en considérant la dernière décennie de remontée rapide, varie entre -0.3 et 0.7 mm/an, valeur qui est nettement inférieure aux prévisions de la remontée du niveau de la mer (globale) de + 1.5 mm/an (Church et al., 2001).

Les trends inférieurs observés sont provoqués par les agents météorologiques qui donnent un trend d'environ 0.6 mm/an pendant cette période. Une fois l'influence météorologique corrigée, la tendance résultante est comprise entre 0.3 et 1.3 mm/an, donnée qui est toujours inférieure à la valeur moyenne globale de montée du SL. Comme indiqué ci dessous, de telles tendances sont dues à des facteurs indépendants de l'élévation globale du niveau de la mer.

La tendance à la baisse relevée par Tsimplis & de Backer (2000) des années 60 au début de 1993 disparaît si le signal atmosphérique n'est pas considéré.

L'élévation successive du niveau marin observée à la fin des années 90 n'est pas univoque pour tout le bassin.

Bien qu'il apparait que la tendance météorologique ait dominé le niveau de la Méditerranée avant 1993, il faut souligner que la chute du niveau de la mer à la fin des années 80 et au début des années 90, coïncide avec la variation des sites de formation de l'eau profonde, qui se déplacent de l'Adriatique à la Mer Égée (Eastern Mediterranean Transient ; EMT).

A propos de la prévision des variations futures du niveau de la mer, Mörner (2004) rappelle que la compréhension des scénarios possibles ne peut être basée que sur l'étude des événements passés, en évaluant aussi les effets sur une échelle de temps géologique. L'auteur observe que les changements relatifs du niveau marin sont liés à une multitude de facteurs, aussi bien climatiques que géologiques. Parmi ceux-ci il y a : les variations climatiques, les changements du volume des glaces, la variation du champ gravimétrique et de la vitesse (moment) de rotation de la planète, la diversification des courants océaniques qui implique la modification de la distribution des eaux sur la superficie terrestre, le bilan hydraulique (évaporation/précipitation).

Mörner souligne que jusqu'à la mi-Holocène (c.a. 6000 ka BP) la description des variations du niveau marin résulte dominée par la remontée eustatique due au réchauffement global débuté lors de la dernière glaciation, dont l'acmé eut lieu il y a 20 ka BP.

Les variations du rayonnement solaire, qui rejoignaient la Terre, provoquaient des changements dans le rapport entre les calottes glaciaires et l'eau océanique. A celles-ci était associée une variation de l'instant angulaire de la Terre, dû à la distribution différente des masses d'eau sur sa superficie induisant une alternance des cycles glaciaires et interglaciaires. Ainsi, alors que le début de la glaciation, entre 30 Ka et 20 ka BP, engendrait un abaissement considérable du niveau de la mer (plus de 50 mètres), la terre subissait une accélération de sa rotation.

La remontée du niveau marin a eu lieu entre 20 et 5 ka, le début d'une nouvelle période interglaciaire (l'actuel) entraînait la Terre à décélérer sa vitesse angulaire. Au cours des derniers 5000 ans la redistribution conséquente des masses d'eau sur la planète a induit une alternance de périodes d'accélération et de décélération de la vitesse de rotation autour de son axe.

Cette redistribution des masses d'eau, combinée aux variations du pattern de circulation océanique, du bilan hydrologique et des variations de la superficie gravitationnelle des géoïdes a réellement conditionné de manière substantielle la tendance du niveau marin au cours des derniers 5 ka.

Ces changements doivent être calculés pour déterminer l'oscillation du niveau marin au cours des derniers siècles, mais même à échelle décennale ou annuelle ils peuvent avoir une influence importante sur les variations prévues pour le futur, influence qui n'est pas nécessairement liée à une réduction des calottes glaciaires.

Sur la base des enregistrements géologiques, en considérant la variabilité des systèmes naturels et les données relevées au cours des derniers siècles, Mörner (2004) affirme que la remontée future du niveau marin peut être considérée à + 5 ±15 cm pour 2100 (Fig. 4).

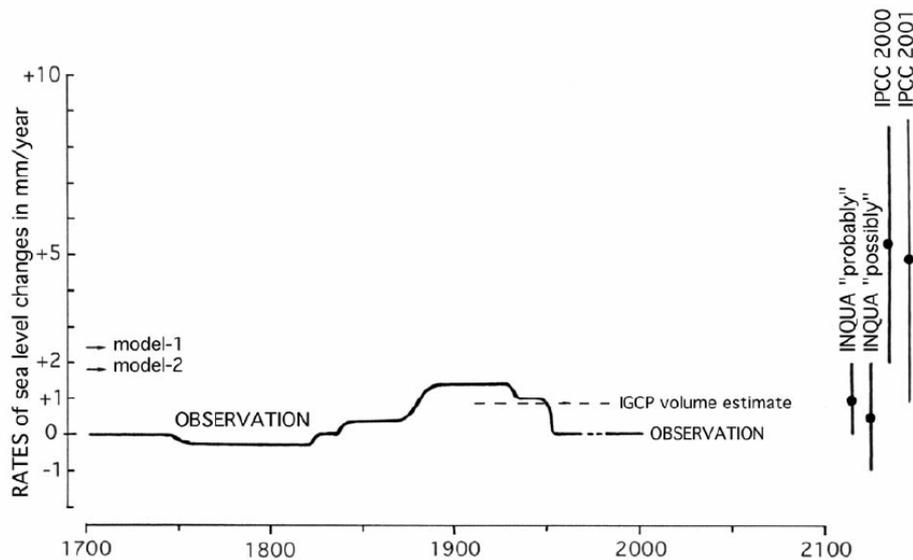


Figure 4. Scénarios possibles des prévisions définis par l'INQUA (modifié d'après Mörner, 2004) confrontés aux données IPCC (2001).

Une étude récente publiée sur la revue Science (Meehl et al., 2005), montre que, même si la concentration des gaz de serre se stabilisait aux niveaux de l'an 2000, le réchauffement global continuerait, en induisant une augmentation de la température moyenne de la planète de + 0.5°C : l'expansion thermique des océans qui en découlerait, conjointement à la fonte des glaces, aurait pour conséquence une montée relative du niveau marin (Fig. 5).

Pour évaluer l'importance de la montée du niveau de la mer, les auteurs considèrent différents scénarios : émission de gaz de serre, concentration de l'ozone troposphérique et stratosphérique, contribution de l'activité volcanique, effets des aérosols, des changements du solar forcing et augmentation de l'anhydride carbonique. En particulier pour le CO₂ les modèles de prévision envisagent différents scénarios compris entre un maximum et un minimum de concentration : selon le premier, plus pessimiste, la concentration augmenterait jusqu'à atteindre 800 ppm en 2100 ; selon le second la réduction d'émission porterait à la stabilisation du CO₂ aux niveaux de l'an 2000 (ndr, aujourd'hui déjà dépassés), à environ 380 ppm.

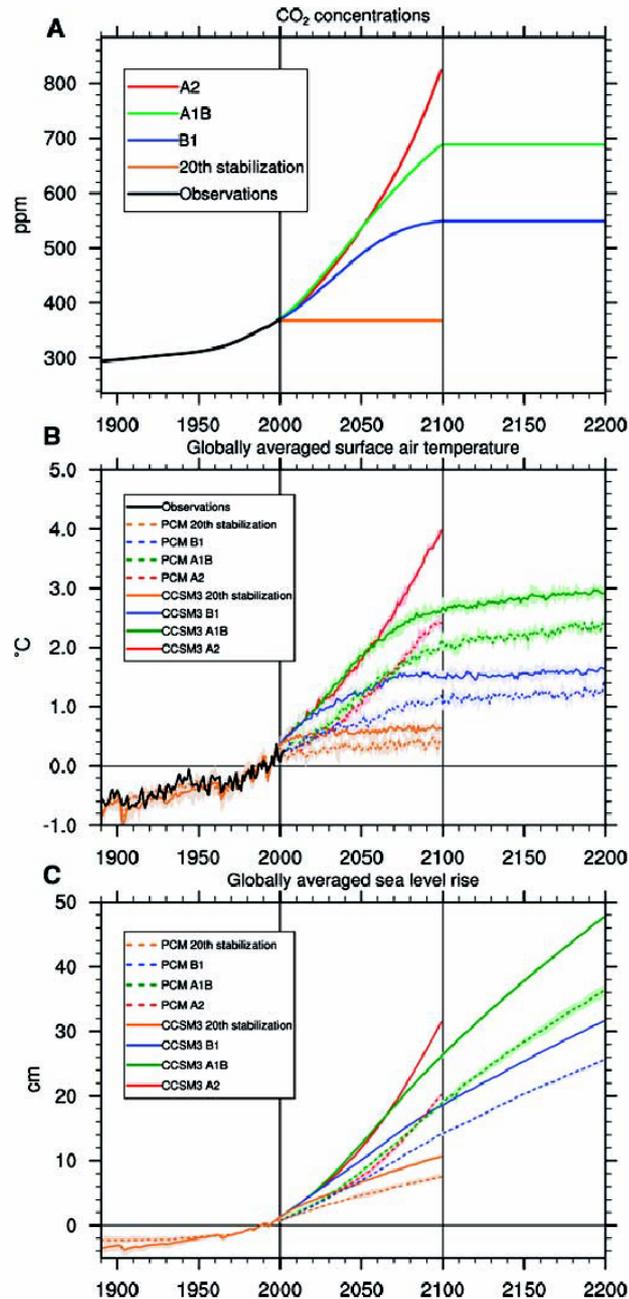


Figure 5. Variations de la concentration d'anhydride carbonique selon différents scénarios (A), relatif accroissement de la température (B) et (C) conséquente élévation du niveau marin par effet de l'expansion thermique des océans. À noter que selon le scénario de stabilisation du CO₂ aux valeurs de l'an 2000, la température et le niveau de la mer continueraient à augmenter (de Meehl et al., 2005).

L'élévation du niveau de la mer prévue par ces scénarios, calculée à partir de la seule composante d'expansion thermique, est comprise entre +8 cm et +32 cm (réchauffement planétaire de +0.3/+0.6°C).

Cette donnée s'accorde avec les projections d'élévation du niveau moyen des mers de l'IPCC : de +9 à +88 cm entre 1990 et 2100, et de valeur moyenne +48 cm ; entre les différentes composantes de la remontée, la contribution de l'expansion thermique des océans varie de +11 à +43 cm (Church et al. 2001).

Des données exposées ci-dessus, on peut déduire que l'élévation observée du SL au cours des années 90, qu'elle dépende des variations de la formation des masses d'eau produites par

l'EMT, ou des agents atmosphériques ou de la combinaison des effets, est principalement liée à des variations régionales plutôt que globales.

À ces variations (plutôt complexes, ndr) il faut associer les mouvements des croûtes (composante verticale) qui caractérisent chaque portion de la région Méditerranéenne et qui déterminent l'effet relatif des variations du niveau de la mer.

Dominés par l'activité tectonique locale et par la subsidence naturelle et/ou anthropique, ces mouvements sont généralement peu importants le long de la côte Nord occidentale et Nord orientale de la Méditerranée, alors qu'ils sont plus significatifs dans le Sud de l'Espagne et à l'ouest de l'Adriatique (mais ceci ne vaut pas à l'échelle locale, où des situations géologiques particulières peuvent déterminer des différences importantes avec le reste du secteur du bassin).

Une composante ultérieure doit être recherchée dans l'isostasie globale comme conséquence de la diminution des calottes glaciaires nord-européennes et alpines, ou bien liée à l'augmentation du niveau des eaux marines suite à la dernière période glaciaire, qui produit des trends significatifs de déplacement vertical (encore actif) dans toute la Méditerranée (Lambeck et al., 2004a et b).

2.4 La variabilité climatique des événements extrêmes

Une autre importante conséquence du changement climatique potentiel est représentée par la variation de la structure du système climatique. Des études de modélisation (Knutson and Tuleya, 2004) et des considérations sur les systèmes côtiers (Emanuel, 2005 ; Trenbert, 2005 ; Webster et al., 2005) indiquent que l'intensité des événements extrêmes pourrait s'intensifier avec l'augmentation de la température moyenne de la planète, en se superposant à l'effet lié à la seule remontée du niveau marin (Lowe et al., 2001).

Bien que, comme indiqué par le TAR de l'IPCC (2001), il n'y ait pas une relation précise entre le changement climatique et la variabilité de l'activité des événements extrêmes, une série de travaux récents propose une corrélation entre les variations de température superficielle de la planète et l'activité des événements extrêmes.

L'intensité des cyclones tropicaux augmente fortement aux moyennes et aux hautes latitudes de l'hémisphère septentrional et, une telle tendance semble être liée à une augmentation de la température superficielle à la fin de l'été / au début de l'automne. La nature d'une telle augmentation représente un problème toujours en discussion. Quelques auteurs l'attribuent à des fluctuations climatiques naturelles (Atlantic Multidecadal Oscillation- AMO), et d'autres supposent qu'une telle variation est liée à l'effet de serre.

Elsner (2006) a démontré que les variations de température globale suivent celles des températures superficielles de l'Atlantique (mais pas le contraire). L'augmentation de la température globale entraînerait une augmentation de l'énergie thermique emmagasinée par le bassin Atlantique et, par conséquent, de l'énergie relâchée durant les saisons des ouragans.

Emanuel (2005) a mis en évidence qu'il existe une corrélation entre la température superficielle et la variation de la fréquence et de l'intensité des cyclones tropicaux américains. Toutefois, selon Goldenberg et al. (2001), de telles relations sont fonction de la variabilité naturelle de la circulation profonde de l'Atlantique (AMO) qui contrôle directement l'activité des ouragans et la température superficielle. De même, Elsner (2006) a mis en évidence que la circulation océanique des zones tropicales joue un rôle fondamental dans les mécanismes de réchauffement et de refroidissement de la température superficielle.

2.4.1 Les impacts du changement climatique sur la côte

Les effets des changements climatiques et du RSLR (Relatif Sea Level Rise) sur les systèmes côtiers peuvent être ainsi résumés (Klein and Nicholls, 1999) :

- augmentation de la fréquence des phénomènes de submersion ;
- érosion du trait de côte;

- inondation côtière ;
- élévation de la nappe phréatique côtière ;
- intrusion d'eau salée;
- effets biologiques.

La croissante urbanisation de la zone côtière, agissant sur les dynamiques littorales engendre une série d'impacts physiques qui se superposent (avec des fréquences et des modalités complexes et difficilement quantifiables) à ceux liés aux changements climatiques (Tab. 2).

<i>Impacts</i>	<i>et</i>	<i>projets d'impact</i>
Variation de la bathymétrie du near-shore et des modalités de transformation du mouvement de la houle		"Land reclamation"
Altération des courants de dérive littorale		Régularisation hydraulique
Perte de sédiment du système sédimentaire		Activité d'extraction des sédiments
Réduction de l'input sédimentaire fluvial		Construction de structures d'accueil touristique
Réduction du volume des bassins tidaux		Ouvrages de défense du littoral
Modification de la végétation côtière		Activité d'extraction de gaz et hydrocarbures du sous-sol
Modification des typologies du sol		
Modification des modalités du transport éolien		
Subsidence du sol		

Tableau 2. Evaluation des impacts physiques et des projets d'impact dus à l'activité anthropique selon EUROSION

Il apparait donc évident que les stratégies d'adaptation aux variations environnementales doivent, avant tout, réaliser des analyses intégrées de leurs causes, et en deuxième lieu, elles doivent considérer qu'elles sont étroitement dépendantes du contexte local dans lequel elles se trouvent (Cooper & McLaughlin, 1998 ; Capobianco et al., 1999).

Par ailleurs, au niveau scientifique il est maintenant d'opinion commune que la vulnérabilité côtière augmentera de manière dramatique dans les zones qui ont été modifiées ou exploitées par l'homme. Donc, les menaces environnementales des systèmes écologiques, et en particulier les ressources hydriques souterraines, l'érosion côtière etc, seront certainement amplifiées par la remontée du niveau marin.

De nos jours, ces considérations sont consolidées dans leur ensemble, y compris au niveau national d'autant plus que la récente délibération CIPE 57/2002 en terme de "Stratégie d'action environnementale pour un développement durable en Italie", dans le cas des zones côtières cite textuellement "on estime qu'au cours du XX^{ème} siècle les eaux de la Méditerranée sont remontées de 12 cm. La montée prévue pour les trente prochaines années varie entre 12 et 18 cm voire plus pour les zones concernées par la subsidence. Les impacts possibles d'un tel phénomène s'observeront en particulier sur les côtes basses, dans les deltas et dans les villes côtières et seront les suivants: a) augmentation de l'énergie des vagues sur des côtes particulièrement exposées; b) conséquences sur les infrastructures portuaires développées en mer; c) augmentation de l'intensité et de la fréquence des inondations dans les zones deltaïques; d) conséquences sur les infrastructures côtières soumises à l'influence des

marées; e) érosion côtière accélérée et inondations dues à l'augmentation de la fréquence des tempêtes; f) pénétration des eaux marines dans les nappes aquifères".

Il apparaît donc évident que le problème principal et prioritaire qui devra être affronté est lié à la réponse physique du trait de côte à l'élévation du niveau de la mer. Le recul du trait de côte, la perte de la plage et les pertes matérielles rendent déjà aujourd'hui critique la planification de la gestion des zones côtières. Actuellement, la planification côtière à court-moyen terme et les choix décisionnels suivent des parcours épisodiques et, surtout, partiels. De ce fait, la construction d'infrastructures et le développement de communautés entières ont été réalisés sans tenir suffisamment compte des coûts potentiels de préservation ou de reconstruction liés à l'érosion côtière, aux inondations et aux dégâts provoqués par les tempêtes.

Sur la base de cet aperçu général, ce projet souhaite définir et éventuellement quantifier, l'ampleur des impacts et le degré de vulnérabilité que le changement climatique prévu, surtout pour sa composante liée à la variation du niveau marin, provoquera à court-moyen terme dans les zones côtières en subsidence. Parallèlement on essaiera de définir et de mettre au point des méthodes, des procédures et des critères d'évaluation, en accord avec les principes internationaux, pour l'analyse et la définition des impacts possibles, de la vulnérabilité et des principales options d'adaptation de la côte.

2.5 Le risque

Après l'acquisition des éléments nécessaires à l'encadrement géomorphologique, hydrodynamique et historique, des hypothèses sur les tendances évolutives de la zone côtière doivent être formulées. Cette phase de prévision est extrêmement délicate et dangereuse car elle transfère des éléments et des tendances passés et présents sur le futur. Pour une prévision plausible il faut s'assurer que les données recueillies sont valables, c'est-à-dire significatives, et qu'elles le seront encore dans le futur et être conscients que les projections perdent de leur crédibilité au fur et à mesure qu'un futur lointain est considéré.

De plus en plus, des modèles, essentiels pour une gestion correcte du littoral, sont utilisés pour recueillir des données du passé et du présent afin de réaliser des prévisions et des projections sur le futur. En effet, il n'est pas facile de déterminer les processus côtiers dominants, d'estimer leurs interactions possibles et de quantifier leurs effets. Certains systèmes côtiers sont difficiles à modéliser en raison des interactions des processus physiques et physico-chimiques, et des interactions liées aux activités biologiques (par exemple les plaines de marée). De plus, les processus doivent être appuyés par des mesures appropriées *in-situ* qui sont souvent absentes et généralement longues et coûteuses.

A partir des données issues de l'étude cognitive il sera possible de réaliser une simplification du problème en définissant le risque pour chaque trait côtier, ce qui permettra de définir des priorités d'intervention. Le risque peut aussi être considéré comme la probabilité que les conséquences économiques et sociales d'un certain état de dangerosité dépassent un seuil déterminé, ou bien comme l'ensemble des effets attendus non désirés sur les hommes ou les choses.

Les opérations de mitigation des risques, c'est-à-dire de prévention, impliquent une évaluation des coûts et des bénéfices. Des niveaux de garantie et de protection devront être déterminés aussi bien pour l'homme que pour l'environnement. Dans certains cas, il faudra parfois choisir un seuil de risque qui sera nécessairement d'autant plus onéreux que plus élevé, et dans d'autres cas une échelle de priorité devra être établie.

La littérature propose de nombreuses définitions pour des termes comme susceptibilité, dangerosité, vulnérabilité et risque. Les définitions ont généralement un caractère général et valent pour chaque typologie de phénomène d'instabilité potentiellement destructif. Ci-dessous sont reportées les définitions proposées par des travaux importants, parmi lesquels celui de l'Unesco (Varnes et IAEG, 1984). L'objectif de l'UNESCO dans le domaine des catastrophes naturelles revêt plusieurs aspects et notamment la promotion d'une meilleure compréhension de la répartition dans le temps et dans l'espace des catastrophes naturelles et de leur ampleur ; le renforcement de la protection de l'environnement en vue de la prévention des catastrophes naturelles ; la promotion des recherches post-catastrophes, et des mesures de

réhabilitation. Cet organisme s'intéresse donc directement aux mitigations des dommages causés par des événements naturels extrêmes et à la réduction de leur risque.

Susceptibilité (Susceptibility, S):

- Tendance d'une portion de territoire à l'apparition d'un phénomène précis potentiellement destructif déterminé par la concomitance de conditions physiques déterminées (Brabb, 1984 ; Carrara et al., 1995).
- La susceptibilité d'une aire exprime l'occurrence potentielle des risques naturels en fonction de l'interaction des facteurs potentiels qui contribuent à l'apparition de ces mêmes risques (USGS, 2005).

Dangerosité (Hazard, H) :

- Probabilité qu'un phénomène potentiellement destructif se vérifie sur une zone donnée et au cours d'une période de temps précise (Varnes et IAEG, 1984).
- Probabilité qu'un phénomène potentiellement destructif d'intensité déterminée, se vérifie au cours d'une période de temps donnée et pour une zone donnée. Selon cette définition la Dangerosité est considérée en termes de probabilité annuelle et d'intensité donnée (Canuti et Casagli, 1996).
- Magnitude, fréquence et sévérité d'un événement potentiellement destructif (Chapman, 1994).
- Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un phénomène et de sa sévérité mécanique et géométrique (Perrot, 1988 ; DRM, 1990).
- Probabilité d'occurrence d'un phénomène destructif au cours d'un intervalle de temps déterminé (Einstein, 1988).
- Produit de la magnitude d'un phénomène potentiellement nuisible déterminé par sa probabilité d'occurrence (Fell, 1994).

Intensité (Intensity, I) :

- Sévérité géométrique et mécanique du phénomène potentiellement destructif. Il peut être exprimé selon une échelle relative ou bien en fonction d'une ou plusieurs grandeurs caractéristiques du phénomène comme sa vitesse, son volume, son énergie, son étendue, etc (Fell, 1994 ; Canuti et Casagli, 1996).
- Localisation dans l'espace et caractérisation géométrique et mécanique du phénomène potentiellement destructif (Einstein, 1988).

Éléments à risque (Element at risk, E) :

- Population, propriété et activités économiques à risque d'une zone donnée (Varnes et IAEG, 1984).
- Population, propriétés, activités économiques, services publics et biens environnementaux à risque d'une zone donnée (Canuti et Casagli, 1996).

Valeur des éléments à risque (Worth of element at risk, W) :

- Valeur économique ou nombre d'unités relatives à chacun des éléments à risque d'une zone donnée; telle valeur est fonction du type d'élément à risque $W=W(E)$ (Canuti et Casagli, 1996).

Vulnérabilité (Vulnérabilité, V) :

- Degré de perte d'un certain élément ou groupe d'éléments exposés à risque résultant de l'occurrence (vérification) d'un phénomène naturel d'intensité déterminée, exprimée sur une échelle de 0 (aucune perte) à 1 (perte totale) (Varnes et IAEG, à 1984) ; la Vulnérabilité peut être en outre considérée comme une fonction de l'intensité du phénomène destructif et de la typologie de l'élément à risque $V=V(I;E)$ (Canuti et Casagli, 1996).
- Importance des pertes attendues, exprimée en termes monétaires, pour un événement de dangerosité et d'intensité déterminées (Panizza, 1988 ; du Prêtre et al., 1992).
- Capacité d'un système naturel et social à soutenir les dommages dus à un phénomène naturel (IPCC, 1997).

- Valeur économique, exprimée en termes monétaires, des éléments exposés à une menace potentielle (Braaf et al., 1995 ; Greve et al., 2000).
- La vulnérabilité exprime le degré de susceptibilité aux impacts liés aux risques naturels d'un système physique et social (CENAT, 2004).

Dommmage potentiel (Potential worth of loss, WI) :

- Importance potentielle des pertes liées à un événement d'intensité déterminée ; il peut être exprimé en nombre ou en quantité d'unités exposées ou bien en termes monétaires. Pour une typologie d'élément à risque et pour une intensité donnée du phénomène, le dommage potentiel est donné par $WI = W(E) V(I;E)$ (Canuti et Casagli, 1996). Cette définition de dommage potentiel correspond à celle de la Vulnérabilité définie par de nombreux auteurs français.

Risque (Risk, R) :

- Perte attendue en conséquence d'un phénomène destructif déterminé, calculée en combinant la dangerosité du phénomène et la vulnérabilité du territoire, et exprimée en termes monétaires (Panizza, 1988 ; del Prete et al., 1992).
- Caractérisation des conséquences du phénomène potentiellement destructif exprimée par le produit de la dangerosité et du dommage potentiel $R = HWI$ (Einstein, 1988), où le dommage potentiel est exprimé en fonction des éléments à risque et de la vulnérabilité selon Varnes et IAEG (1984), alors que la dangerosité est exprimée selon la définition d'Einstein (1988).
- Perte attendue suite à un phénomène destructif exprimée en tant que fonction de la probabilité d'occurrence du phénomène et de l'exposition des éléments à risque (Braaf et al., 1995 ; Van Dissen et Mc Verry, 1994 ; Mitchell et Eriksen, 1992).
- Perte attendue (vies humaines, propriétés, activités économiques, etc.) en conséquence de la dangerosité naturelle déterminée; le risque est exprimé en fonction de la Dangerosité H (selon la définition de Chapman, 1994) et de la Vulnérabilité V (selon la définition de Braaf et al., 1995) sur le temps t : $R=f(H,V,T)$ (Greve et al., 2000).

Risque spécifique (Specific Risk, Rs) :

- Degré de perte attendu suite à un phénomène naturel particulier, il est exprimé par le produit HV (Varnes et IAEG, 1984).
- Degré de perte attendu suite à un phénomène naturel particulier d'intensité donnée, exprimé en termes de probabilité annuelle ; pour un élément à risque donné et pour une intensité donnée, le risque spécifique est le produit $Rs(I;E) = H(I) V(I;E)$ (Canuti et Casagli, 1996).
- Combinaison entre la probabilité d'occurrence d'un phénomène potentiellement nuisible et la vulnérabilité du territoire, exprimée par le produit $Rs = PV$ (Fell, 1994).

Risque total (Total Risk, RT) :

- Nombre attendu de pertes de vies humaines, nombre de blessés, de dommages aux propriétés et d'interruption des activités économiques suite à un phénomène destructif déterminé; il peut être exprimé par le produit $RT = HVE = RsE$ (Varnes et IAEG, 1984).
- Valeur attendue des pertes humaines, des blessés, des dommages aux propriétés et aux activités économiques à la suite d'un événement naturel particulier; il est exprimé en termes de coût annuel ou en quantité d'unités perdues en un an et est représenté par le produit : $RT(I;E) = Rs(I;E)W(Et)$ (Canuti et Casagli, 1996).

2.5.1 Perception de l'environnement et de l'acceptation du risque

L'action anthropique sur le territoire, pour le développement d'un degré acceptable de bien-être individuel et social, amorce souvent des mécanismes de détérioration irréversible tout en éloignant l'homme de son but.

Parmi les objectifs de la planification territoriale, il convient de souligner celui de construire un cadre de vie qui satisfasse les exigences de l'homme tout en réduisant au minimum les phénomènes de détérioration engendrés par les transformations territoriales.

Au cours des dernières décennies, la conception de conservation de l'environnement, cristallisée par des lois de tutelle, a été progressivement abandonnée pour être substituée par un concept de conservation active de toutes les interdépendances dynamiques entre les différentes composantes de la réalité qui garantissent l'ensemble des conditions de vie.

Ainsi l'utilisation des ressources liées aux activités anthropiques peut devenir compatible avec la capacité de charge du système territorial, en favorisant un développement équilibré qui empêche l'irréversibilité de la détérioration.

Cela a conduit en 1992 à l'adoption, par 182 pays, d'un programme d'action, l' « Agenda XXI », finalisé à la réalisation du développement durable.

De ce fait, la Communauté Européenne a entamé en 1996 une série de programmes pour mettre au point une démarche spécifique à la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) afin de promouvoir le développement durable de ces zones. Cette démarche a permis d'identifier les causes de la mauvaise gestion et de la détérioration persistante des zones côtières liées aux problèmes suivants:

informations pauvres ou inadéquates sur les conditions des littoraux et sur les effets (économiques ou non) des activités anthropiques ;

coordination insuffisante entre les différents niveaux et secteurs de l'administration et entre les politiques correspondantes ;

degré insuffisant de participation et de consultation des sujets intéressés.

La planification participative cherche à intégrer dans les processus de gestion et de programmation les opinions et les points de vue de tous les sujets intéressés, au moyen d'une implication collaborative qui induit un engagement et partage des responsabilités. Une participation dès les premières phases du processus peut engendrer un climat de confiance et favoriser l'engagement.

Grâce à cette planification participative et en respectant les intérêts communs, une bonne gestion des zones côtières peut réduire les conflits et favoriser l'approbation du public. Une meilleure perception commune des principaux problèmes permettra aux « sujets-clés » d'évaluer ce à quoi nous sommes disposés à renoncer pour la réalisation d'objectifs communs.

2.5.2 Approche descriptive de la classification de l'environnement côtier et de l'analyse du risque

Dans le domaine scientifique, la recherche est également focalisée sur l'élaboration de méthodologies et de moyens opérationnels de support aux décisions. Des indicateurs permettent de décrire et d'évaluer les transformations de l'environnement. Ces indicateurs favorisent une lecture synthétique et complète du territoire en considérant les aspects de disciplines très différentes entre elles.

Le problème concerne souvent l'établissement du domaine d'acceptation des valeurs limites des indicateurs au-delà desquelles les transformations produisent une perte excessive par rapport à la capacité de récupération du système environnemental. Généralement la donnée sur laquelle est basée l'indicateur est de différente du point de vue de sa nature, sa dimension, et son association et la valeur de référence ou seuil, peut être constituée par :

valeurs tabulaires selon les lois et règles en vigueur ou les standards acquis sur la base d'évaluations de l'hygiène environnementale et sociale ;

valeurs relatives aux caractéristiques particulières du secteur (géographique, productif, religieux, etc.) objet d'étude ;

valeurs moyennes et/ou statistiques concernant des secteurs analogues acquises au cours d'une session de mesure relative à un arc temporel ad hoc ;

présence/absence de l'élément dans le contexte de référence.

Les techniques de définition des données et des seuils font toujours l'objet de vastes débats scientifiques au niveau international. À tel propos, Cooper and McLaughlin (1998) mettent en évidence que l'utilisation d'indicateurs descriptifs pour la classification de la côte et pour l'évaluation du risque est devenue habituelle tout comme l'utilisation de moyens technologiques tels que le GIS. Ils mettent aussi en évidence des différences considérables dans les réponses principalement liées à l'échelle d'application (spatiale ou temporelle), aux variables utilisées, à la méthode analytique adoptée, à la typologie de représentation et à la nature du risque étudié. Sur la base de nombreux travaux concernant l'évaluation du risque au niveau international, les auteurs suggèrent que les index de majeure utilité pour la définition d'un risque sont exclusivement ceux qui définissent la nature de la perturbation potentielle et les objectifs gestionnaires : les autres indicateurs, pour lesquels de telles qualités ne sont pas reconnues, sont principalement utilisés comme database descriptif.

Dans tous les cas, il faudra tenir compte que certaines qualités (ex. esthétiques) et certains effets (ex. altération du paysage) conserveront, quelle que soit la méthode utilisée, un degré élevé de subjectivité. Il apparaît par exemple assez difficile de définir le sens et la valeur des objets qui composent un paysage et la nature des relations qui les lient à l'homme. Pour comprendre cela il faut détruire la distinction qui existe dans notre culture entre "naturel" et "anthropique", en attribuant au paysage naturel lui-même la notion de "constructif" puisque manipulé par l'homme.

La perception du paysage devient perception esthétique seulement si elle appartient à notre culture, c'est-à-dire à la capacité de reconnaître les valeurs symboliques. Par conséquent le contrôle du territoire devient un problème à caractère général, une expression définitive de notre bagage de connaissances et d'expériences, scientifiques et culturelles. Il s'agit donc, en excluant toute implication de méthode, de codifier les tendances à la transformation pour éviter que les parties impliquées ne se reconnaissent pas dans les résultats de l'Évaluation d'Impact Environnemental (V.I.A.).

Différentes méthodes sont communément utilisées pour définir ces indicateurs avec un fort pouvoir discrétionnaire subjectif comme par exemple celui de la Ressource consommée (Resources imput method), de l'Épargne des coûts (Costs saving method), de l'Analogie de marché (Analogous market method), de l'Embargo (Expediture method) et de la Recherche de marché (Dinet survey technique). Puisque chacune d'elles présente des limitations et des inconvénients, le système se renverse souvent: plutôt que d'identifier ou de mesurer abstraitement l'importance de tous les impacts possibles, il convient en premier lieu d'identifier, à travers une expression directe, les intérêts de la communauté en situation de crise et donc d'évaluer les impacts.

La procédure d'évaluation des impacts prévoit des concertations entre les acteurs décisionnaires et l'acquisition du consentement préventif des citoyens, potentiellement intéressés par les effets de la décision. Toute action de sauvegarde de l'environnement devra donc prendre en compte les exigences naturelles, culturelles et économiques de la population.

Cela implique le recours à des consultations plus approfondies pour sensibiliser les intéressés aux inconvénients futurs et les laisser interagir, pour ensuite identifier de nouvelles alternatives et prendre des décisions.

2.5.3 *Acceptation du risque et importance de l'information*

Dans les procédures en mode direct et indirect, le facteur risque, qui introduit le concept de probabilité, en termes explicites et quantitatifs, de subir un dommage par un agent dangereux, est toujours pris en considération. Cela implique une évaluation des pertes économiques, culturelles, sociales et humaines en termes soit de probabilité d'un événement incident soit de l'importance des conséquences qui en dérivent.

Quelle que soit la méthodologie utilisée et sa qualité, les risques sont ressentis non sur la base d'un facteur numérique, mais leur acceptation est fortement influencée par la connaissance, par la culture, par la tradition, par la condition socio-économique et par la volonté de la population. À tel propos pour évaluer un risque il est essentiel de définir non seulement s'il est acceptable du point de vue scientifique mais aussi s'il est accepté par la population.

Des informations correctes, contrôlées et objectives sont les prémisses pour des prises de décision correctes et pour une gestion durable. Au cours des phases initiales, il est indispensable de faire circuler les informations, d'impliquer la population, de la sensibiliser sur les problèmes existants et de lui faire comprendre que sa participation et que ses initiatives sont nécessaires. Au cours de la phase de formulation des politiques et de l'adoption des décisions, les informations permettent d'analyser les problèmes, aident les participants à poser des questions pertinentes et permettent d'identifier les conflits réels.

D'autre part, les informations sur les profils de comportement et sur les attentes des sujets socio-économiques et du public en général deviennent importantes.

Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie explicite pour le recueil, l'élaboration et la diffusion des données et informations qui sont utiles lorsqu'elles sont :

- présentées de manière à être compréhensibles par les usagers finaux, y compris les non spécialistes ;
- adéquates pour le niveau de participation prévu ;

- crédibles ;
- facilement accessibles et régulièrement mises à jour;
- intégrées.

Être informé, connaître et comprendre les processus côtiers (naturels et anthropiques) aident les responsables de la planification, les décideurs et l'opinion publique à comprendre les conséquences des actions individuelles et peuvent fournir une base pour développer des interventions politiques et gestionnaires plus durables des zones côtières. Les informations et la connaissance sont toutefois utiles seulement si elles sont présentes « quand et où elles servent ». Les « mauvaises » divulgations des projets et des connaissances provoquent la non-acceptation des interventions. Une meilleure communication entre les responsables de la gestion côtière et les citoyens pourrait contribuer à combler la différence existant entre ces deux catégories.

L'opinion publique, souvent négligée, est réticente à participer au processus décisionnel en raison :

- de la conviction que son point de vue n'est pas considéré ou que, de toute façon, il n'a pas d'effet sur les décideurs ;
- de la conviction de participer "à un fait accompli" ;
- de l'absence de traditions de participation et de mécanismes spécifiques pour la participation ;
- des difficultés logistiques (temps et coûts) dérivants d'une participation active.

Pour changer cette attitude, il est fondamental de faire comprendre qu'il existe un intérêt commun (réel ou politique) à long-terme vis-à-vis de la gestion durable de la côte.

La collaboration est surtout une question de confiance, qui nécessite une communication efficace. Ce qui impose de n'oublier personne, de fournir une possibilité de dialogue, de discussion et de solution aux problèmes et de contribuer à rappeler et à maintenir l'intérêt nécessaire pour s'assurer que tout soit fait. Même lorsque les progrès réels semblent insuffisants, un flux continu de communications favorise la volonté à résoudre les problèmes, montre aux interlocuteurs l'importance de la coopération décisionnelle et crée un langage commun compréhensible pour tous les participants.

La consultation est communément utilisée comme mécanisme de collaboration, soit entre les différents niveaux d'administration soit entre les différents secteurs, et comme composante du processus de participation. Toutefois, pour différentes raisons, la consultation devient souvent une initiative purement formelle plutôt qu'un moyen utile.

Une bonne consultation demande un temps adéquat pour la réflexion, mais souvent les bureaucrates sont surchargés de travail et les consultations se révèlent rapides et superficielles.

Souvent les consultations n'arrivent pas à la bonne personne.

Les avis exprimés au cours d'une consultation peuvent être ignorés, donnant lieu ainsi à un circuit improductif qui fait perdre toute motivation aux administrateurs et à la population pour fournir des réponses exhaustives aux demandes de consultation.

Bien que le devoir des différents secteurs et niveaux de l'administration soit justement celui d'agir pour le bien commun, l'expérience enseigne qu'ils ne sont pas en mesure de représenter de la même manière tous les aspects de ce bien commun dans leur processus décisionnel. La participation de l'opinion publique est particulièrement importante pour garantir que les initiatives considèrent également les aspects liés à la qualité de la vie, au patrimoine culturel et social et aux activités récréatives. La consultation est réellement une activité prioritaire, qui doit anticiper le processus décisionnel pour avoir une réelle chance de modifier les propositions.

2.6 Méthodologies utilisées pour le calcul du risque

La nécessité de définir le risque a progressivement occupé une importance toujours plus grande surtout dans la gestion de la côte. Ce qui a favorisé le développement de méthodes de classification basées sur des paramètres géomorphologiques, hydrodynamiques et anthropiques qui ont été appliqués à grande et petite échelle.

Les méthodologies et les paramètres utilisés varient en fonction du but de l'étude, des données disponibles, de la zone étudiée, de l'agent de dangerosité considéré (érosion, tempêtes, élévation du niveau de la mer, etc.) et de son intensité.

Il est donc important d'identifier les typologies et l'ampleur des problèmes que les zones côtières doivent affronter, tout comme il est essentiel d'identifier les solutions possibles. Les impacts de la montée du niveau marin ont été évalués, au cours de la dernière décennie et au-delà, surtout pour les pays développés particulièrement menacés, comme par exemple la Hollande (Louisse and Van der Meulen, 1991). Pour évaluer les impacts potentiels de l'élévation du niveau marin sur les côtes, quelques méthodologies ont été développées. Actuellement différentes méthodes pour quantifier la vulnérabilité côtière par rapport au SLR existent. Les plus répandues sont :

IPCC Common Methodology (IPCC CZMS, 1992). La Méthodologie Commune (Common Methodology), proposée en 1991, comprend 7 passages analytiques qui permettent d'identifier les populations ou les ressources à risque et les coûts des actions de mitigation possibles. D'autres méthodes ont été développées conjointement comme par exemple celle utilisée par Nicholls and Leatherman (1995). Les impacts sont déterminés avec ou sans stratégie de réponse et sont évalués à partir d'un profil de vulnérabilité.

Les Technical Guidelines (Lignes Guides Techniques) (Carter et al., 1994) offrent une structure générique qui comprend 7 passages analytiques principaux, définis de façon à pouvoir assurer son application à différents systèmes naturels ou socio-économiques, potentiellement concernés par les changements climatiques. Ces sept passages sont différents de ceux proposés par la Common Methodology, puisque cette dernière a été spécialement développée pour les milieux côtiers, alors que les Lignes Guides ont été élaborées pour être appliquées à différents contextes.

L'UNEP Handbook Methodology (Manuel Méthodologique de l'UNEP) (Klein and Nicholls, 1998) est basé sur les Lignes Guides Techniques proposées par l'IPCC (Carter et al., 1994) et prévoit l'élaboration des mêmes techniques pour neuf systèmes physiographiques et socio-économiques principaux, y compris les zones côtières. Le Manuel prévoit d'évaluer les conséquences potentielles dues aux changements climatiques et d'identifier les options de réponse à de tels effets. L'efficacité d'utiliser des méthodes multicritères pour l'évaluation des options d'adaptation en zones côtières a été démontrée par El Raey et al. (1999).

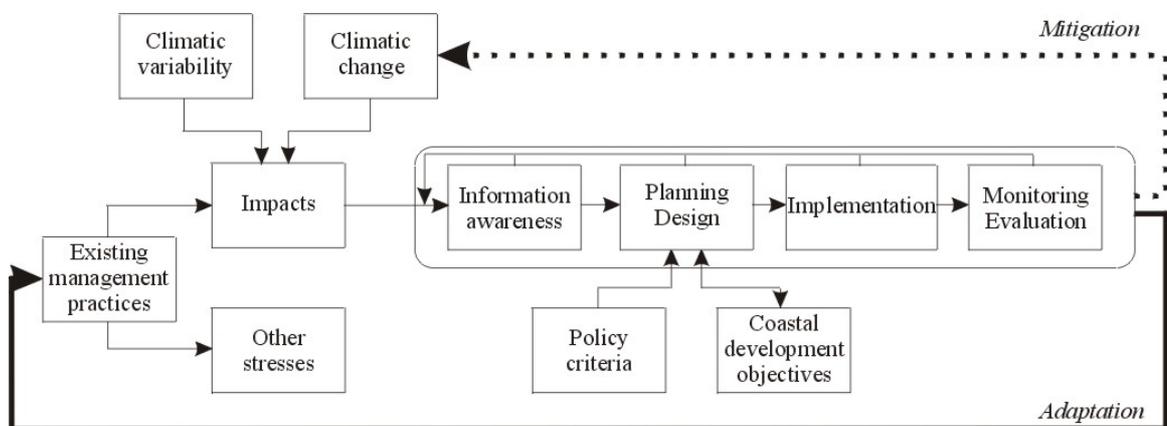


Figure 6. Structure conceptuelle des passages analytiques interactifs pour la définition d'une planification d'adaptation de la zone côtière aux changements et aux variabilités climatiques (Klein et al., 1999).

De plus, certaines méthodes ont été développées pour être appliquées à des milieux insulaires, par exemple la "South Pacific Islands Methodology" et le "Caribbean disaster Mitigation Project". Le Rapport Technique de Nicholls (1998) présente une révision des diverses méthodologies utilisables pour ce type de milieu.

Toutes ces approches fournissent un ensemble de pratiques à utiliser dans les études concernant la vulnérabilité et l'adaptation environnementale par rapport aux changements climatiques. Les différentes méthodes présentent toutefois certains inconvénients (Nicholls, 1998), par exemple la Common Methodology apparaît rigide et les options d'adaptation sont insuffisamment développées, alors que d'autres résultent plus crédibles car elles ont été largement testées (Manuel UNEP).

Il apparaît donc nécessaire de procéder au développement de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité soit en développant et en améliorant celles déjà existantes soit en développant des lignes guides spécifiques à certains milieux, comme les zones deltaïques et les côtes en subsidence, qui sont les plus menacées par l'élévation du niveau marin.

Souvent, pour simplifier la compréhension et l'applicabilité de l'étude on recourt à l'utilisation d'index pour fournir une description synthétique de la réponse de la côte à un événement particulier. De plus, l'attribution d'un index aux différents traits côtiers permet de regrouper ceux qui présentent des caractéristiques communes et qui donneront vraisemblablement des réponses semblables au danger considéré.

De brèves considérations sur quelques applications méthodologiques, considérées comme plus représentatives et significatives pour les organisations méthodologiques ou pour leur impact scientifique au niveau international, sont reportées ci-dessous.

OECD (1993). *OECD Core set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A synthesis report by the Group on the state of the Environment*. Paris

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Détermination des impacts sur l'environnement	Utilisation d'indicateurs (méthode PSR)

La complexité de l'environnement requiert une approche multidisciplinaire, souvent d'application difficile. Pour cette raison le problème réside dans la détermination d'instruments en mesure de synthétiser les informations à l'aide d'indicateurs.

En réunissant de manière opportune les indicateurs correspondants aux dimensions individuelles du phénomène observé on peut obtenir des index, qui fournissent également une information synthétique et unitaire de l'entité originale. Selon OCDE (« Organisation pour la Coopération et le Développement Economique ») l'indicateur est un paramètre ou une valeur dérivée de paramètres qui fournissent des informations sur l'état d'un phénomène, d'un domaine ou d'une zone avec un sens qui dépasse ce qui est directement associé à la valeur du paramètre : il doit représenter synthétiquement un problème, en conservant toutefois le contenu informatif.

Selon l'OCDE un indicateur comporte deux buts principaux :

1. réduire le nombre de relevés et de paramètres qui sont normalement requis pour fournir un cadre exact de la situation étudiée ;
2. simplifier le processus de communication à travers lequel les résultats des enquêtes sont fournis à l'utilisateur et divulgués ;

et des critères spécifiques de sélection

- importance et utilité pour les utilisateurs (les indicateurs devraient être en mesure de fournir une image réaliste et représentative de l'état de l'environnement, être faciles à interpréter à chaque niveau de divulgation, dessiner l'évolution d'un phénomène dans le temps) ;
- flexibilité analytique (les indicateurs devraient avoir une crédibilité théorique et scientifique, suivre les standards internationaux de façon à être universellement reconnus, comparables et valables pour les réalités économiques et pour la planification de chaque Pays) ;
- mesurabilité (les données requises pour le développement d'un indicateur devraient être facilement disponibles, adéquatement illustrables et adaptables aux différents contextes).

Les indicateurs peuvent être développés selon différents modèles conceptuels. Les plus utilisés ont été mis au point par l'OCDE et l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA, European Environmental Agency). Selon ces modèles, les indicateurs peuvent être classés selon un schéma PSR (Pressure - state - Response) fondé sur le concept cause/effet.

Selon ce schéma (Fig. 7) les activités anthropiques constituent des sources de Pression (Pressure) sur l'environnement qui en altère la qualité (State). Pour améliorer l'état de l'environnement la société intervient au moyen de politiques environnementales, d'économie générale et de secteur (Response) ré-associable aux pressions à travers les activités anthropiques.

ACTIVITES HUMAINES	PRESSIONS	IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT
Urbanisation Transports	Variations de l'utilisation du territoire, ports, aéroports, routes, chemins de fer, engorgement des structures de transport, dragages et effluents portuaires, pertes d'hydrocarbures, déchets, prélèvements hydriques, écoulements et dégazage en mer.	Pertes d'habitat et biodiversité, dégâts causés au paysage, diminution des nappes hydriques, intrusions d'eau salée, pollution de la mer, eutrophisation, introduction d'espèces étrangères au milieu, érosion et bétonnage des côtes, risques pour la santé de l'homme.
Agriculture	Restitution du territoire à des pratiques agricoles, utilisation de pesticides et des fertilisants, prélèvements hydriques, prélèvements des stocks de ressources vivantes, canalisation des cours d'eau, barrages, appauvrissement des sédiments et du patrimoine forestier.	Pertes d'habitat et biodiversité, pollution de la mer, eutrophisation, capture des sédiments, appauvrissement des apports d'eau au littoral, érosion côtière
Tourisme Activités récréatives	Construction de ports et d'infrastructures pour le tourisme marin, modification de l'utilisation du territoire, urbanisation, engorgement des transports, prélèvements hydriques, production de déchets et d'eaux usées.	Pertes d'habitat et biodiversité, perturbation des écosystèmes, dégâts causés au paysage, diminution des nappes hydriques, intrusions d'eau salée dans les aquifères, pollution de la mer, eutrophisation, risques pour la santé de l'homme.
Pêche Aquaculture	Construction de ports et de quais, d'infrastructures pour le traitement de la pêche entraînant effluents et déchets, utilisation d'équipements pour la pêche industrielle.	Surpêche, atteintes aux espèces non commerciales, déchets et huiles lourdes sur les plages, pollution de la mer, eutrophisation, introduction d'espèces étrangères, dommages causés aux écosystèmes et aux communautés aquatiques.
Industrie Énergie	Modifications de d'utilisation du territoire, centrales électriques, extraction de ressources naturelles, eaux de refroidissement, ouvrages fluviaux, barrages en mer.	Pertes d'habitat et de la biodiversité, dégâts causés au paysage, pollution de la mer, eutrophisation, risques pour la santé de l'homme, capture de sédiments, diminution de l'apport d'eau au littoral, érosion côtière.

Tableau 3. Activités (Driving Forces), pressions et impacts sur les systèmes côtiers

Les zones côtières subissent des pressions environnementales d'origine anthropique supérieures à la normale par effet du modèle de développement et de consommation actuel car elles représentent les lieux où les gens préfèrent vivre et travailler et où se déroule une grande partie des activités récréatives et touristiques qui s'ajoutent à l'activité de commerce et d'échange.

Les facteurs de pression sont représentés par une urbanisation exacerbée, par une tendance à violer les lois et recourir aux constructions abusives, par un développement des structures de transport sur les zones côtières (routes, chemins de fer), voire sur le trait de côte, par les ports, par le tourisme, par l'agriculture, par la pêche, par l'industrie qui est attirée par un traitement plus aisé des eaux usées et des déchets, par les installations énergétiques qui trouvent de l'eau facilement disponible. Un recueil schématisé des pressions et des impacts causés par les différents secteurs d'intérêt économique est reporté dans le tableau 3.

Ce schéma permet d'obtenir les relations fondamentales qui existent entre le système environnemental et anthropique, et d'illustrer une façon de lire et de comprendre les rapports entre la société et un écosystème.

Toutefois, ce modèle, bien que largement utilisé, n'est pas exempt de critiques, essentiellement liées à sa cohérence. En effet, il est peu flexible et, surtout, il n'est pas en mesure de décrire des phénomènes environnementaux complexes, dans lesquels des liens non linéaires existent.

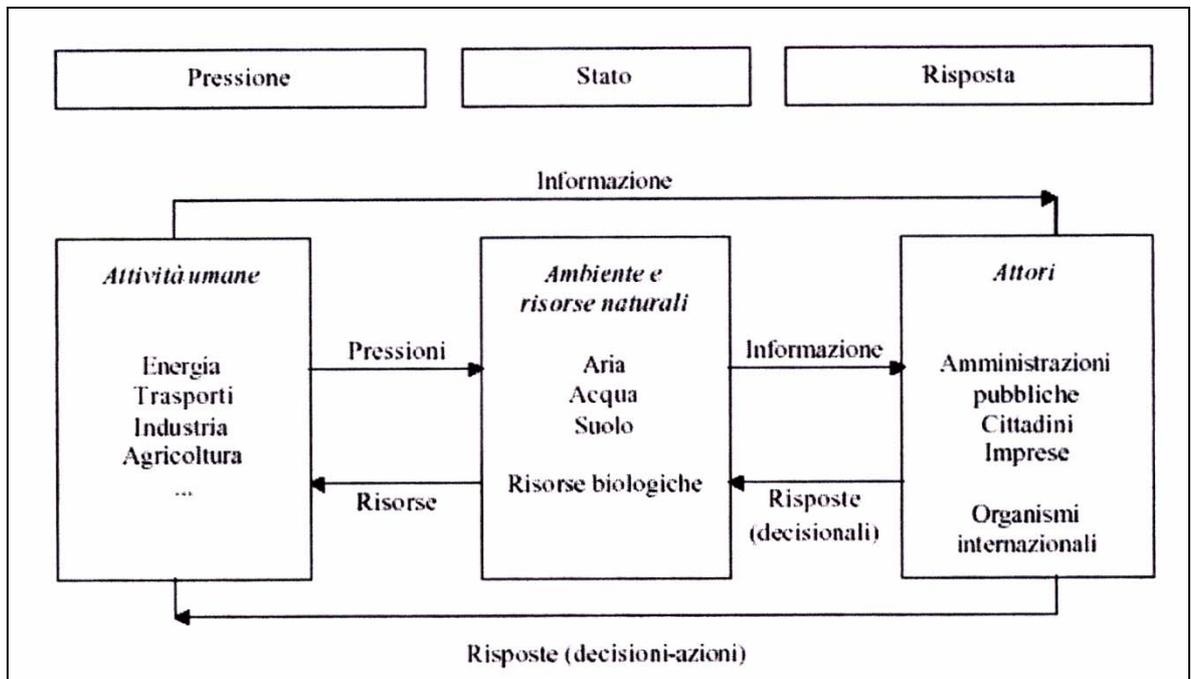


Figure 7. Schéma PSR (Pressure - State - Response)

DAL CIN R. and SIMEONI U. (1994) - A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). Journal Coastal Research, 10, 1: 18-29.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Détermination de la vulnérabilité et risque d'érosion	Analyse multivariée

Une méthode d'indexation côtière pour l'évaluation de la vulnérabilité et du risque est

proposée par Dal Cin et Simeoni (1994). La classification est basée sur l'élaboration, au moyen d'analyses multivariées, d'une série de variables inhérentes à l'évolution de la zone côtière. Les auteurs ont réalisé des analyses de la côte, divisée en traits, sur la base de caractéristiques communes. À tel propos, 15 variables regroupées en 5 catégories ont été calculées (hydrodynamique et énergie du mouvement de la houle, évolution du trait de côte, caractéristiques morpho-texturales de la plage émergée et des fonds, interventions anthropiques). Chacune de ces variables a été évaluée pour chaque trait de côte.

Les valeurs attribuées à chaque variable ont été normalisées et élaborées statistiquement (analyse factorielle et « cluster » analyses). L'analyse factorielle a permis d'obtenir les agrégations des traits côtiers en trois groupes distincts (Facteurs), c'est-à-dire que chaque trait "est re-codifié" au moyen de nouveaux attributs numériques (poids factoriels) répartis en pourcentage selon les facteurs identifiés les plus représentatifs. En conséquence chaque trait de côte présente des affinités avec un groupe déterminé, en fonction de la plus grande valeur du poids factoriel qui le caractérise : si par exemple un trait présente 90% du poids factoriel pertinent au premier groupe et les 10% restant sont subdivisés entre les autres facteurs, le trait appartient au premier groupe.

Pour chaque groupe il est donc possible de définir les caractéristiques moyennes des variables, en fonction desquelles différents degrés de "dangerosité, de vulnérabilité ou risque" par rapport à un phénomène déterminé peuvent être établis.

Le mérite de la méthode est d'introduire une approche quantitative d'évaluation de l'état des littoraux avec des répercussions importantes sur le plan gestionnaire. Cependant, avec cette méthodologie, les variables se réfèrent au trait étudié et, doivent donc être chaque fois sélectionnées.

La méthodologie proposée par Dal Cin et Simeoni (1994) a été successivement reprise par Brewster (2002) dans un contexte géographique différent (îles Barbados, afin de la rendre applicable aux petites îles des pays en voie de développement).

Gornitz V.M., Daniels R.C., White T.W. and Birdwell K.R. (1994) - *The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast*. In: (C.W. Finkl Ed.) *Coastal hazards: perception, susceptibility and mitigation*. Journal of Coastal Research, 12, Florida, 327-338.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Détermination du risque d'érosion et d'inondation	Régression multiple

Une autre méthodologie utilisée pour la quantification du risque côtier est celle de Civita (1994), Civita et De Maio (1997) et Gornitz et al. (1994). La méthodologie se base sur l'utilisation d'une régression multiple du type :

$$V = v_1k_1 + v_2k_2 + v_3k_3 + \dots + v_nk_n$$

où V représente l'index de vulnérabilité (pour un événement déterminé), v est la valeur de la variable liée à la définition de l'événement et k est le poids attribué à la variable.

Une fois les variables et leur poids exact établis, le nombre des cas considérés (traits côtiers) est complètement indépendant de l'ensemble des données existantes. En outre les tests effectués par les auteurs ont mis en évidence que l'algorithme basé sur la somme des variables est moins sensible aux erreurs et aux omissions des valeurs par rapport aux algorithmes basés sur le produit des variables mêmes.

En utilisant cette méthodologie, Gornitz et al. (1994) développèrent des banques de données, à utiliser conjointement à un système informatique territorial (GIS) pour la définition du risque côtier (Coastal Risk Assessment Database), ou bien pour identifier les zones côtières soumises au risque d'érosion, d'inondation permanente et temporaire, ou épisodique. La côte qui s'étend de la Virginie du Nord à la Caroline à celle située entre le Texas et le Mexique a

été considérée comme site pilote car elle représente une des régions des Etats Unis les plus à risque face à l'élévation du niveau de la mer.

La banque de données contient 13 variables, relatives au domaine terrestre, marin et climatique :

- 1- Cote moyenne (EL, en mètres) - Indicateur de première importance pour la définition du risque d'inondation.
- 2- Caractéristiques géologiques (GL) - indiquent la résistance d'un litho-type déterminé ou d'un sédiment meuble (non consolidé) par rapport à l'érosion. Les caractéristiques géologiques ont été subdivisées en cinq classes de risque croissant sur la base de la résistance relative à l'érosion d'un litho-type donné (Gornitz and White, 1992). Par exemple on passe d'un risque très bas pour des litho-types volcaniques ou métamorphiques à un degré de risque élevé ou très élevé pour des sédiments non consolidés à granulométrie fine ou pour des cendres volcaniques.
- 3- Caractéristiques géomorphologiques de la côte (LF) - représentent un indicateur du risque d'érosion. Les caractéristiques géomorphologiques (LF) ont été subdivisées en cinq classes de risque croissant sur la base de la résistance relative de la morphologie à l'érosion. Par exemple le risque d'érosion passe de très bas à très haut des côtes rocheuses (falaises) aux côtes basses, ou bien des barrières coralliennes aux deltas, ou des îles barrières aux plaines marécageuses (celles-ci ne sont que quelques exemples de morphologie).
- 4- Remontée relative du niveau de la mer (SLV mm/an) - indique la variation relative du niveau de la mer par rapport à la remontée eustatique globale (estimée à 1.5 mm/an) et aux éventuels mouvements verticaux du sol d'une zone donnée.
- 5- Taux d'érosion ou d'accroissement du trait de côte (ER m/an) - indique les variations du trait de côte et offre quelques bases pour les prévisions futures de l'état d'un littoral en fonction de l'élévation de la mer.
- 6- Marnage moyen de la marée (TR en mètres) - Cet index est lié au risque d'inondation épisodique ou permanente. Des excursions de marée élevées tendent à dissiper l'énergie de la houle, limitant l'érosion active durant les marées hautes ; d'autre part ce type de régime est associé à de forts courants tidaux qui peuvent transporter des sédiments non consolidés. Dans les zones à côte basse présentant une altimétrie proche du zéro, une vaste excursion de marée induit le développement de vastes zones intertidales, qui peuvent facilement être soumises à une pénétration d'eaux salées vers l'hinterland suite à l'élévation du niveau de la mer, ayant de forts impacts sur l'écologie des zones humides. En outre, cette zone résulte particulièrement vulnérable aux tempêtes de mer, spécialement quand elles coïncident avec la marée haute. Il apparaît donc évident que les côtes macrotidales (>4m) sont plus à risque que les autres.
- 7- Hauteur maximum des vagues (WH mètres) - indique la hauteur maximale significative de la houle et représente par conséquent son énergie, ou bien la capacité érosive du mouvement de la houle.
- 8- Probabilité annuelle de l'occurrence d'une tempête tropicale (TS en pourcentage)
- 9- Probabilité annuelle de l'occurrence d'une tornade (TY, en pourcentage)
- 10- Indice de fréquence-intensité d'une tornade (HFI)
- 11- Vitesses moyennes de propagation d'une tornade (TCV, mètres par seconde)
- 12- Nombre moyen annuel de cyclones extra-tropicaux (CN)
- 13- Elévations moyennes du niveau de la mer en relation à l'occurrence de la tornade (SS mètres).

Les variables climatiques (de 8 à 13) sont déduites puis calculées au moyen d'algorithmes appropriés.

Toutes les variables ont été regroupées par une analyse statistique factorielle, qui a permis l'extraction de trois facteurs. Les groupes, par ordre d'importance décroissante, représentent :

- a - l'inondation permanente représentée par les variables 1 (EL) et 4 (SLV) ;
- b - l'inondation épisodique par les variables 6 (TR), 8 (TS), 9 (TY), 10 (HFI), 11 (TCV), 12 (CN) et 13 (SS) ;
- c – le potentiel érosif par 2 (GL), 3 (LF), 5 (ER) et 7 (WH).

Chaque catégorie a été "pesée" opportunément en fonction de l'importance pour la détermination du risque d'érosion ou d'inondation d'une zone donnée. En considérant que la vulnérabilité d'inondation est un élément de risque majeur de l'érosion, un poids supérieur à 50% a été attribué à la somme des facteurs relatifs à l'inondation (permanente + épisodique, PI + EI). De la même manière, l'inondation permanente est plus importante que l'inondation épisodique. Les facteurs ainsi pesés ont été utilisés pour calculer l'indice du risque (CVI, Coastal Vulnerability Index) défini synthétiquement par :

$$CVI = 3.5 PI + 0.833 EI + 2.667 EP$$

De l'élaboration de cet indice, les auteurs ont déduit que 30% des côtes du Golfe des Etats Unis et 15% des côtes orientales doivent être retenues à haut risque d'inondation ou d'érosion en fonction de l'élévation de la mer. Ces zones côtières possèdent au moins une de ces caractéristiques : cote basse, présence d'un substrat meuble (sable ou autres sédiments non consolidés), subsidence, retrait du trait de côte même par le passé, régime tidal et climat de houle particulièrement intense, fortes possibilités d'occurrence des tempêtes tropicales, de tornades ou de cyclones extra- tropicaux.

Berger A.R. and Iams W.J. (1996) - *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: A.A. Balkema.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Planification environnementale	Utilisation de géoindicateurs

Une méthodologie d'application pour l'évaluation de la vulnérabilité et du risque côtier est obtenue par l'utilisation de géoindicateurs. Selon la définition de IUGS (International Union of Geological Sciences) les géoindicateurs sont définis comme "des mesures du processus ou des phénomènes géologiques qui se produisent sur ou près de la superficie terrestre, qui varient de manière significative sur des périodes de temps inférieures à 100 ans et fournissent des informations significatives pour l'évaluation de l'environnement".

À ce propos, l'IUGS dans le cadre de la Commission pour la Planification Environnementale (Commission on Geological Sciences for Environmental Planning - COGEOENVIRONMENT) a constitué un groupe de travail sur les géoindicateurs (Geoindicators Working Group). En 1995, le groupe de travail a rédigé une check-list qui a été publiée en 1996 (Berger A.R. & Iams W.J., 1996).

La check-list comprend 27 géoindicateurs (Tab. 4), étudiés comme moyen de support pour l'évaluation intégrée des milieux naturels, des écosystèmes et des relations sur l'état de l'environnement. Parmi ceux-ci, les géoindicateurs adaptés à l'environnement sous surveillance peuvent être sélectionnés.

1	Chimie et pattern de croissance des coraux
2	Structures de dessèchement et dépôts évaporitiques des milieux désertiques
3	Formation et réactivation de dunes côtières
4	Intensité, durée et fréquence des tempêtes de sable
5	Caractéristiques du permafrost
6	Fluctuation des glaces
7	Qualité des eaux souterraines

8	Chimie des eaux souterraines dans la zone insaturée
9	Niveau des eaux souterraines
10	Activité karstique
11	Niveau et salinité des lacs
12	Niveau relatif des mers
13	Composition et séquence des sédiments
14	Sismicité
15	Position du trait de côte
16	Éboulements
17	Érosion du sol et des sédiments
18	Qualité du sol
19	Morphologie fluviale
20	Régime fluvial
21	Transport et dépôt solide fluvial
22	Régime des températures
23	Mouvements de la superficie terrestre
24	Qualité des eaux superficielles
25	Activité volcanique
26	Étendue, structure et hydrologie des zones humides
27	Érosion éolienne

Tableau 4. Liste des géoindicateurs (Berger & Jams, 1996) ; en gras sont mis en évidence les géoindicateurs plus utiles à l'analyse de l'environnement côtier ou liés aux problématiques qui le concerne.

Pour chaque géoindicateurs, une fiche détaillée qui reporte les informations nécessaires à sa correcte détermination, à son emplacement et aux principales problématiques liées à son utilisation, est fournie par l'IUGS (Tab. 5).

1	Nom du géoindicateur	8	Méthode de mesure quantitative ou qualitative
2	Brève description	9	Fréquence de mesure
3	Signification	10	Limitation aux données et au monitoring
4	Causes anthropiques ou naturelles	11	Application au passé et au futur
5	Domaine d'application	12	Limite possible
6	Types de sites à surveiller.	13	Bibliographie essentielle
7	Échelle spatiale		

Tableau 5. Fiche générale d'un géoindicateur structurée par l'IUGS

Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E.V., Dickman, N., Hanson, S., and Hopper, M., 1996. *National Seismic Hazard Maps, June 1996, Documentation*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-532, 100 p.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Risque de vagues de tempête	Géoindicateurs

Le Service Géologique des Etats-Unis (USGS - US Geological Survey) à travers le Coastal & Marine Geology Program a développé une série d'études à caractère régional et local sur les risques auxquels l'environnement marin côtier peut être soumis. Parmi ces études à échelle régionale certaines résultent d'importance fondamentale comme le « Coastal Classification Mapping Project ». Ce projet se base sur le fait que la description des caractéristiques géomorphologiques locales est la première étape pour déterminer la vulnérabilité d'une zone par rapport à un risque potentiel (Fig. 8), et en particulier lié aux vagues de tempête. Selon ce projet une évaluation attentive du risque lié à la tempête de mer se base sur les points principaux suivants:

- classification des conditions de base de la zone d'étude ;
- transposition des informations en un indice de vulnérabilité en mesure de définir le risque. L'USGS, pour pouvoir prévoir un schéma de classification côtière, s'est servi d'une série de photographies aériennes géoréférencées.

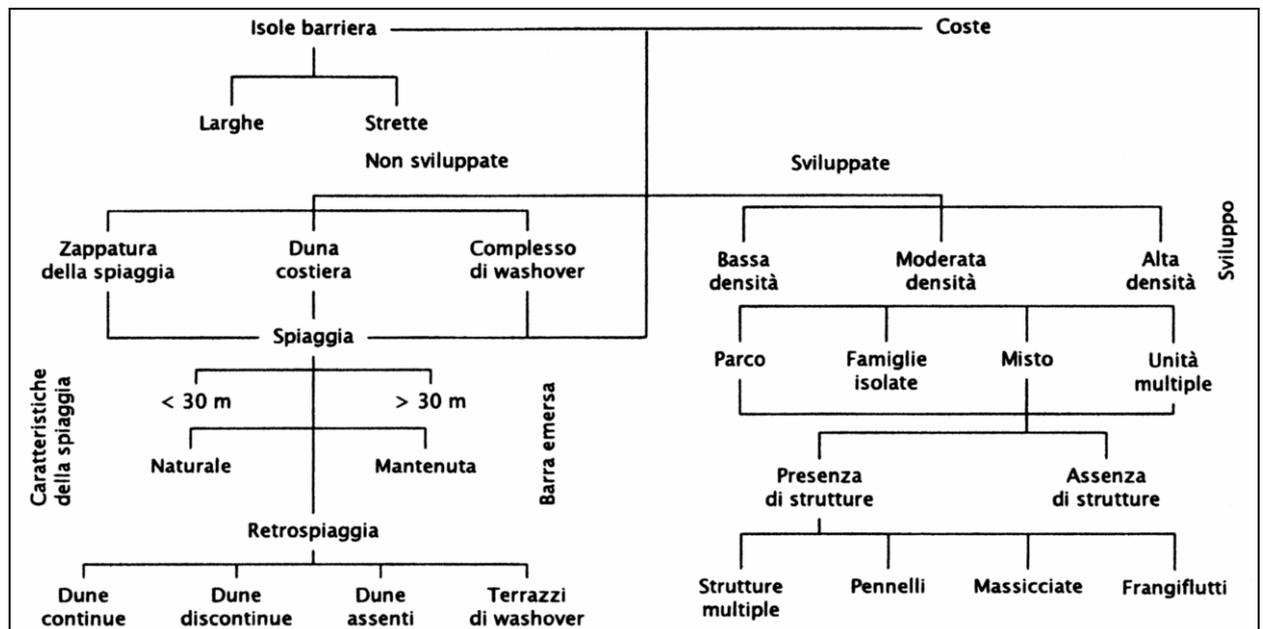


Figure 8 : Schéma de classification de la zone côtière pour l'évaluation du risque (modifié d'après USGS)

European Environment Agency (EEA), (1999). A checklist for State of Environment reporting. Technical Report n. 15. Copenhagen.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Élaboration des relations sur l'état de l'environnement	Utilisation d'indicateurs (méthode DPSIR)

Le modèle PSR a été réélaboré en 1995 par l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA) en ajoutant deux autres phases : une relative aux causes primaires (driving force) et l'autre aux impacts (Impact) ce qui explique pourquoi le modèle est baptisé DPSIR (Driving force - Pressure - State - Impact - Response) (Fig. 9) (www.eea.int.eu).

Cette réélaboration a été nécessaire en raison de l'incapacité du modèle PSR à identifier et à considérer pleinement les facteurs, peu contrôlables et difficilement quantifiables, liés aux activités humaines, essentiellement entendues en termes socio-productifs, qui ont une incidence considérable mais, souvent, indirecte sur l'environnement.

En outre, dans ce modèle, les impacts ont été distingués des pressions puisque les premiers représentent les effets réels produits sur l'environnement par les interactions complexes des secondes. Les indicateurs d'impact rendent donc explicites les relations cause - effet entre pression, cause et impact.

Actuellement ce modèle, même si encore peu appliqué aux problématiques côtières, est le plus utilisé au niveau européen. Il est employé pour l'élaboration des relations sur l'état de l'environnement des pays appartenant à l'EEA (European Environmental Agency), parmi lesquels l'Italie (Marotta et Vicinanza, 2001 ; Casazza et al., 2002).

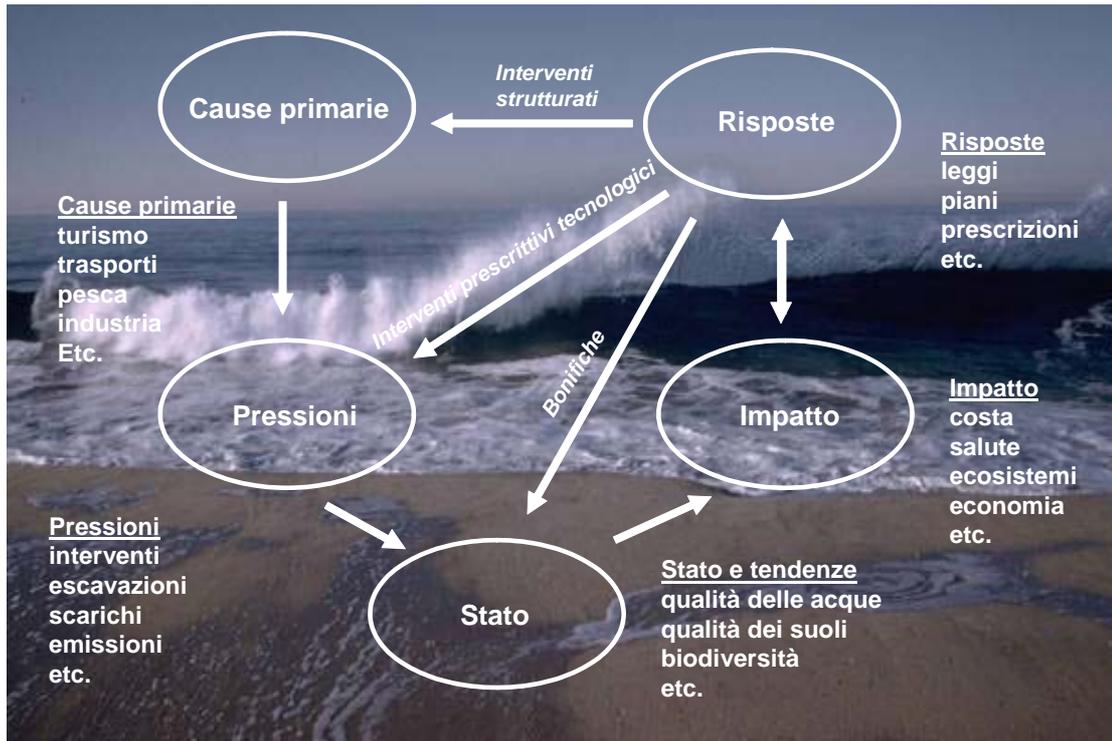


Figure 9. Schéma DPSIR (Driving force - Pressure - State - Impact - Response).

Bush D.M., Neal W.J., Young R.S. and Pilkey O.H. (1999) – *Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation*. *Ocean & Coastal Management*, 42, 647-670.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Evaluation des conditions des systèmes insulaires, soumis à l'érosion et à l'impact des tempêtes	Utilisation des géoindicateurs

Les géoindicateurs présentent une grande variété d'applications dans le domaine de la gestion de l'espace côtier, de l'évaluation du risque et de l'évaluation des dégâts (Bush et al., 1999).

Ce type d'approche permet d'identifier un nombre minimum de paramètres en mesure de décrire des dynamiques environnementales à court terme comme celles côtières et de fournir de bonnes interprétations des paramètres dont ces processus dépendent.

Un exemple d'application de cette méthode est reporté par Bush et al. (1999). La check-list de géoindicateurs pour l'évaluation des conditions des systèmes d'îles barrières et côtes rocheuses composées de matériel consolidé, soumis à érosion et impact de la part de tempêtes et ouragans est reporté ci-dessous (Tab. 6).

L'utilisation des géoindicateurs représente une méthode, valable pour des applications gestionnaires, alternative à des techniques plus sophistiquées et scientifiquement plus rigoureuses, mais, qui nécessitent des temps plus longs et des coûts plus élevés.

Un exemple peut être donné par le monitoring du trait de côte qui peut être réalisé soit à l'aide du GPS soit par des méthodes topographiques traditionnelles. Ces méthodes, associées à l'analyse de cartes et des photographies aériennes anciennes, fournissent des informations claires et précises.

Geoindicatore	Rischio elevato	Rischio moderato	Rischio basso
<i>Parametri generali</i>			
Elevazione	<3 m	3-6 m	> 6m
Vegetazione	Assente, rada, abbattuta, specie non autoctone	Vegetazione erbacea ed arbustiva, ben stabilizzata senza elementi abbattuti	Bosco; vegetazione matura; nessuna evidenza di erosione nella vegetazione
<i>Parametri della linea di riva</i>			
Assetto offshore	Ampio fetch; ampia piattaforma di acqua bassa; piattaforma di alta energia molto piccola	Fetch moderato; piattaforma di ampiezza moderata; presenza di barre offshore	Fetch limitato; protezione naturale (scogliere, barre)
Tasso di erosione	Erosione da elevata a moderata	Stabilità	Accrescimento
Ampiezza, ripidità e spessore della spiaggia	Breve e ripida; sottile con esposizione di fango, torba o ceppi; poca disponibilità di sabbia	Ampiezza della spiaggia emersa da moderata a piccola	Larga e piatta, con berma ben sviluppata; buona disponibilità di sabbia
Configurazione delle scarpate (se presenti)	Superficie nuda, rampa di detrito di falda recente o no	Superficie vegetata e rampa ben sviluppata	Pendio a basso angolo; copertura di vegetazione matura
Configurazione delle dune	Dune assenti	Dune basse o discontinue; dune sbancate	Cordoni di dune, lati ampi e continui senza interruzioni
Overwash (rotte di esondazione)	Frequenti; overwash apron e ventagli di rotta numerosi; varchi nelle dune in corrispondenza di strade.	Occasionali; ventagli di rotta di estensione limitata	Assenti
Strutture ingegneristiche	Numerosi pennelli; massicciate	Poche strutture di fronte alla spiaggia	Assenza di strutture
<i>Parametri delle bocche</i>			
Posizione dei siti in relazione alle bocche o foci fluviali	Molto vicino	Limitrofo	Molto distante
Potenziale delle bocche	Spit o barriere sottili; basso potenziale con acque aperte sul lato terra; bocche storiche, canali digitati	Ampiezza ed elevazione moderate, con acque aperte sul lato terra; piccoli canali digitati	Spit o isole ampi; piccoli acquitrini verso terra, o ampie barene: nessun canale digitato
<i>Parametri interni</i>			
Configurazione delle dune	Dune assenti o artificialmente rimosse, sbancamenti per costruzione di strade, aree costruite, sentieri; deforestazione o rimozione della vegetazione	Discontinue; moderatamente vegetate; sbancamenti moderati (varchi in corrispondenza di strade, spianamenti per costruzioni)	Elevate, dune a vegetazione arborea; strade al di fuori dei campi di dune, percorsi che mantengono il passaggio antropico lontano dalle dune
Drenaggio	Scarso	Moderato	Buono
Suolo	Compattabile, impermeabile	Portanza piuttosto buona; permeabilità variabile	Portanza buona; permeabile
Altre caratteristiche	Acque aperte (lagune estuari) sul lato posteriore della barriera, barene o paludi arboree (mangrovie)	Pianura alluvionale o terrazzi con bassa elevazione	Rilievi

Tableau 6. Liste des géoindicateurs (modifié d'après Bush et al., 1999) ; les géoindicateurs sont divisés en groupes et évalués en trois catégories de risque côtier.

L'utilisation des géoindicateurs fournit une donnée moins précise, mais obtenue plus rapidement par observation directe ou par comparaison qualitative d'images et de cartes qui permettent, par exemple, d'identifier des zones soumises à une forte érosion à travers l'évaluation d'éléments simples comme la présence d'escarpement érosifs sur les dunes, la destruction de la végétation, la largeur extrêmement réduite de la plage (Tab. 7).

Les mêmes auteurs présentent quatre groupes d'indicateurs qui contiennent les variables prises en considération : paramètres généraux, paramètres relatifs au trait de côte, paramètres des embouchures et, finalement, paramètres internes.

Dans la plupart des cas, le trait de côte représente la composante la moins stable du système côtier et plus sujette aux pratiques gestionnaires. Sa position est potentiellement soumise aux changements rapides, elle s'adapte parfaitement à une évaluation avec des géoindicateurs.

Érosion sévère	Érosion	Avancement ou stabilité
Absence de dunes et abondance de washover	Dunes avec escarpements érosifs ou interrompues par des passages	Dunes ou beach ridges robustes avec végétation sans passages
Action active des vagues sur les dunes restantes ou sur les escarpements	Côtes rocheuses abruptes sans détritiques de la nappe	Côtes rocheuses avec rampe au pied stabilisée par la végétation
Végétation absente	Végétation éphémère, abattue le long de la ligne d'escarpement	Végétation bien développée
Structures anthropiques de défense	Ruptures ou éventails de washover, passages anthropiques	Rupture et washover absents
« Ecorchement » évident de la plage	Plage étroite ou absence de plage émergée	Plage large avec berme bien développée
Chenaux tidaux exposés dans la zone des brisants	Tourbe, argile ou restes d'arbre exposés sur la plage	

Tableau 7. Liste des géoindicateurs supplémentaires relatifs à la stabilité du trait de côte (modifié d'après Bush et al., 1999).

Simeoni U., Calderoni G., Tessari U., Mazzini E. (1999). *A new application of system theory to foredunes intervention strategies*. Journal of Coastal Research, 15, 2, 457-470.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Stabilité des dunes côtières	Théorie des Systèmes (indice de stabilité)

Les cordons dunaires contribuent à l'équilibre de la plage, en termes d'échange du bilan au cours des alternances saisonnières, et représentent une défense naturelle contre les tempêtes de mer plus violentes, l'érosion éolienne et les surélévations anormales du niveau marin. Au cours des dernières décennies, au niveau européen, on a assisté à une sensibilisation croissante pour la sauvegarde des systèmes dunaires des littoraux, même si selon Carter et al. (1990, p.2) "... la recherche sur les dunes côtières est encore à un stade primitif...".

Dans l'étude des dunes côtières, beaucoup de problèmes sont liés au choix des échelles de temps et d'espace pour l'étude des processus du système. Le système des dunes côtières est communément décrit par trois sous-systèmes paramétriques : vent, sédiment et végétation. La complexité de ces systèmes et de leurs interactions (identifier les clés paramétriques, effectuer les mesures et synthétiser les données) a favorisé le développement de modèles qui, en décrivant le passé et le présent, tendent à fournir des indications sur le développement futur des dunes côtières (Tab. 8).

Paramètres	
Flux d'énergie	Transport éolien minimum potentiel
Etat morphodynamique de la plage	Diamètre moyen des sédiments de dune
Diamètre moyen des sédiments de plage	Largeur de la dune
Largeur de la plage	Hauteur de la dune
Pente moyenne de la plage	Pente du flanc marin de la dune
Déplacement du trait de côte	Densité de la végétation de la dune
Exposition de la plage aux vents	Anthropisation des dunes

Tableau 8 Liste des paramètres utilisés (d'après Simeoni et al., 1999)

La compréhension et la description des rapports entre les facteurs et les processus d'évolution d'un système sont exprimées à travers la construction d'une matrice (Fig. 10). Dans les cellules de la diagonale les paramètres considérés sont reportés; la dernière cellule correspond au but de l'étude. Les cellules de la matrice sont remplies, en suivant un schéma d'interaction en sens horaire, et en décrivant le type d'influence qu'un paramètre a sur l'autre. Successivement, les descriptions contenues dans la matrice sont substituées, en fonction de l'expérience des opérateurs, par des codes numériques qui quantifient leur degré d'interaction.

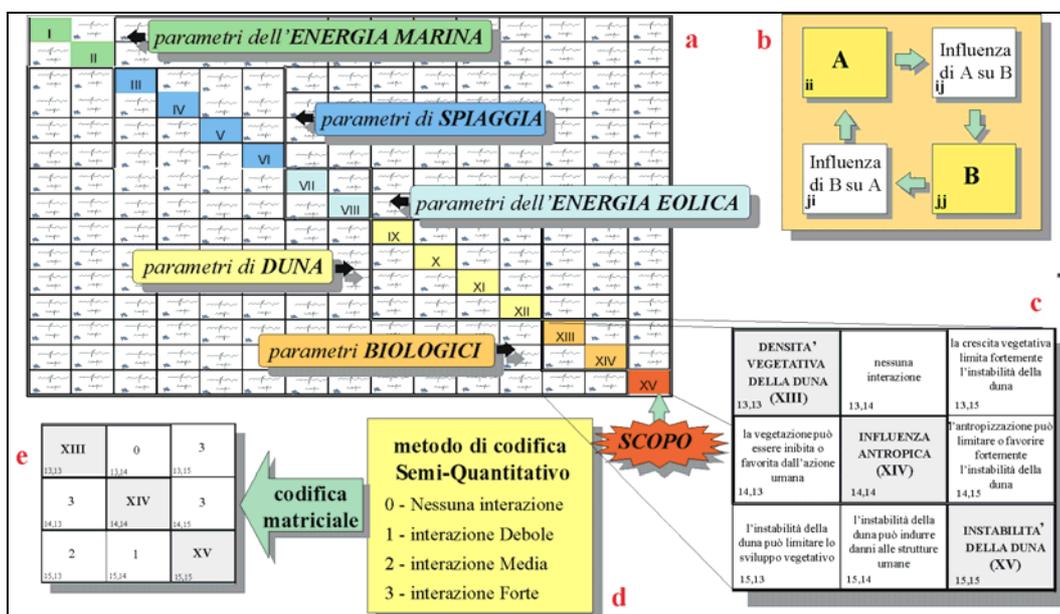


Figure 10. Schéma de la matrice d'interaction binaire (BIM) du système plage-dune (modifié d'après Simeoni et al., 1999)

Le résultat final de l'influence, de chaque paramètre sur le système et du système sur chaque paramètre, est fourni par la somme des valeurs d'une ligne (cause : C) ou d'une colonne (effet : E). Cela implique que l'interaction de chaque paramètre est fournie par la somme de n-1 interactions binaires (où n est le nombre de paramètres), en compensant ainsi les éventuelles erreurs d'évaluation.

L'interactivité (C+E) évalue le degré d'interaction du paramètre avec le système : des valeurs élevées indiquent une liaison étroite du paramètre avec les autres, c'est-à-dire que sa variation engendre une modification rapide des autres paramètres du système.

La dominance (C-E) évalue la subordination d'un paramètre par rapport au système : des valeurs peu élevées indiquent sa forte dépendance par rapport aux autres paramètres, alors que des valeurs élevées mettent en évidence un contrôle du paramètre extérieur au système considéré.

La matrice d'interaction binaire (BIM) caractérise la structure du problème, mais développe seulement une partie des interactions du système étudié. En effet, la codification binaire

représente une structure qui simplifie les processus naturels, puisqu'elle a comme condition que tous les autres paramètres demeurent inchangés quand le paramètre A influence B.

En réalité, dans un système, lorsque la valeur d'un paramètre se modifie, alors la matrice entière "s'active", c'est-à-dire que tous les parcours directs, indirects et rétroactifs, qui peuvent unir les paramètres, s'activent. La matrice qui en dérive a été appelée matrice d'interaction globale (GIM).

Alors que la BIM représente la structure du système, la GIM met en évidence son activité, entendue comme la série de toutes les interactions possibles entre les paramètres. On peut exprimer numériquement la différence entre BIM et GIM par le calcul de l'indice d'accouplement (CI), exprimé par la formule suivante :

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_{ij} - n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij}}$$

où : G_{ij} = termes de la GIM ; I_{ij} = termes de la BIM ; n = nombre de paramètres.

Plus la valeur de la CI sera grande, plus la matrice globale (GIM) sera active par rapport à la matrice binaire (BIM) : c'est-à-dire que dans le système subsistent de nombreux parcours indirects qui unissent les variables. En transformant l'interactivité de chaque trait côtier en intensité d'interaction exprimé en pourcentage (a) et en attribuant des poids pondéraux (P) aux valeurs de chaque paramètre on obtient un Indice Comparatif d'Instabilité des Dunes (C.I.F.I. : Comparative Index of Foredune Instability) pour chaque trait, en appliquant l'équation suivante:

$$C.I.F.I. = \sum_j a_i P_{ij}$$

où i se réfère aux paramètres et j aux traits côtiers considérés.

Cet indice permet d'identifier les traits de côtes où les dunes sont plus endommagées, de déterminer le degré de surveillance auquel elles doivent être soumises, de rationaliser les ressources en identifiant des priorités d'investissement des zones plus critiques (C.I.F.I. plus élevées), et d'identifier les paramètres environnementaux soumis à une majeure criticité en définissant ainsi des stratégies d'intervention ponctuelles.

Thieler E.R. and Hammar-Klose E.S. (1999) - *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic Coast*. USGS Open File Report99, 593 pp.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Vulnérabilité à la remontée du niveau marin	Définition d'un indice de vulnérabilité

Une étude importante est celle proposée par l'USGS, à travers le National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise qui concerne l'évaluation de la vulnérabilité côtière de tout le territoire côtier américain en ce qui concerne la montée de la mer.

Dans le cadre de cette étude, une méthode relativement simple et objective a été utilisée afin de prédire l'évolution des côtes, en développant et en complétant un database de variables géologiques et environnementales, inspiré par celui proposé par Gornitz et White (1992) comprenant les variables physiques suivantes :

- a- géomorphologie
- b- pente de la côte (%)
- c- taux d'élévation relative du niveau de la mer (mm/an)
- d- taux d'érosion et d'avancement du trait de côte (m/an)

e- marnage moyen de la marée (m)

f- hauteur moyenne de la houle (m).

Une valeur de risque a été attribuée à chaque variable qui est basée sur son potentiel effectif sur les variations physiques des côtes en fonction de l'augmentation du niveau de la mer (Tab. 9).

Afin de relier quantitativement les six variables, un indice de vulnérabilité de la côte (CVI - Coastal Vulnerability Index), semblable à celui proposé par Gornitz et al. (1994), a été développé. De cette manière, une valeur de risque, en fonction de chaque variable spécifique, est attribuée à chaque section de la côte et l'indice de vulnérabilité est calculé selon l'équation suivante :

$$CVI = \sqrt{[(a * b * c * d * e * f) / 6]}$$

où les lettres correspondent aux variables reportées dans le tableau précédent.

Selon cet article, les variables qui discriminent davantage le secteur côtier sont principalement le taux de variation du trait de côte et la pente de la côte et, de moindre façon, la hauteur de la houle et les variations du niveau marin. L'excursion de marée et la géomorphologie sont classifiées à haut risque pour tout le trait analysé.

Dans le choix des variables, la présence de structures anthropiques aptes à contraster l'érosion n'est pas prise en considération, à moins que les structures ne correspondent pas au mot "stable" de la variable "érosion avancement". De plus, les effets d'amortissement de la houle dus à la présence de ces mêmes structures ne sont pas mentionnés.

Un autre point fondamental, qui concerne la géomorphologie, est l'exclusion des variables de présence de protections naturelles : les cordons dunaires qui bordent un littoral réduisent le risque d'inondation et contrastent l'érosion. En outre, l'étude n'explique pas, de manière exhaustive, comment doivent être considérées les lacunes dues au manque de données.

Classificazione dell'indice di vulnerabilità della costa					
	Molto basso	Basso	Moderato	Alto	Molto alto
VARIABILE	1	2	3	4	5
Geomorfologia	Coste rocciose, scogliere, fiordi	Scogliere medie, coste frastagliate	Scogliere basse, piane alluvionali	Spiagge ciottolose, estuari, lagune	Isole barriera, spiagge, barene, piane fangose, delta, paludi a mangrovie, barriere coralline
Pendenza della costa (%)	> 1.9	1.3 - 1.9	0.9 - 1.3	0.6 - 0.9	< 0.6
Cambiamento relativo del livello del mare (mm/anno)	< -1.21	-1.21 - 0.1	0.1 - 1.24	1.24 - 1.36	> 1.36
Tasso di erosione/ accrescimento della linea di riva (m/anno)	> 2.0	1.0 - 2.0	-1.0 - +1.0	-1.1 - -2.0	< -2.0
	Accrescimento		Stabile	Erosione	
Ampiezza media di marea (m)	> 6.0	4.1 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.9	< 1.0
Altezza media dell'onda (m)	< 1.1	1.1 - 2.0	2.0 - 2.25	2.25 - 2.60	> 2.60

Tableau 9. Variables utilisées pour la détermination de la vulnérabilité côtière (modifié d'après l'USGS ; Thieler and Hammar- Klose, 1999)

Si le calcul du C.V.I. était appliqué à échelle régionale, en prenant par exemple comme référence le littoral de l'Emilie-Romagne qui présente une côte basse sableuse à faible pente, au moins 3 variables résulteraient dominantes : la pente de la côte, la géomorphologie et l'excursion de marée (toutes ces variables présentent une valeur de risque maximale). Il existe

de bonnes probabilités qu'à celles-ci puisse être ajoutée l'élévation relative du niveau marin (qui deviendrait également une valeur de risque maximale) si les taux élevés de subsidence qui conditionnent l'altimétrie du territoire sont considérés. Dans ce cas, les uniques variables qui fourniraient une sectorisation du littoral seraient la variation du trait de côte et la hauteur moyenne de la houle, cette dernière considère toujours l'amortissement dû à des éventuelles structures de défense.

BREWSTER L.F.S. (2002) - *The development of a comprehensive littoral vulnerability assessment approach for a small island developing state: a case study for Barbados*. In: Littoral 2002, The Changing Coast. EUROCOAST/EUCC, Porto, Portugal, 189-198

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Détermination de la vulnérabilité côtière	Analyse multivariée

Selon l'auteur, l'évaluation globale de la vulnérabilité côtière comprend trois domaines distincts de recherche.

- A- Considérations environnementales : fournissent une représentation de la sensibilité environnementale des traits côtiers, définie par l'exposition à la houle, la géomorphologie et la bathymétrie. La sensibilité fournit un indice pour les zones prioritaires à sauvegarder et peut être intégrée par une évaluation de la valeur esthétique et attractive de la plage.
- B - Considérations socio-économiques : tiennent compte des infrastructures présentes sur une bande de 200 m de plage, conjointement au niveau d'occupation de l'arrière-pays (population) ; elles représentent les éléments à risque d'une zone donnée.
- C - Choix des variables pour la classification côtière : l'ensemble des variables utilisées par Mazzini et Simeoni (1997) pour la caractérisation de la côte est modifié (Tab. 10).

Morphologie et sédimentologie du trait de côte	1- Présence de petits escarpements de hauteur maximale de 2 m
	2- Position de l'escarpement par rapport au trait de côte
	3- Hauteurs de l'escarpement (m)
	4- Pente de l'escarpement
	5- altitude de la plage émergée (m)
	6- Largeur de la plage émergée (m)
	7- Longueur de la plage émergée (m)
	8- Pente de la plage
	9- Volume de la plage (m)
	10- Lithologie de la falaise
	11- Diamètre moyen du sédiment de plage (mm)
Présence de morphologies associées à la plage	12- Présence de dunes
	13- Présence de plaines tidales
	14- Présence de beach rock
Interventions anthropiques	15- Étendue de l'urbanisation
	16- Structures de défenses
Morphologie et sédimentologie des fonds marins	17- Pentes du fond marin entre 0 et -3 m (%)
	18- Diamètre moyen (mm) du fond marin entre 0 et -3 m
	19- Distance entre le trait de côte et l'isobathe -3 m
	20- Présence de couverture à phanérogame
Paramètres physiques des processus côtiers	21- Vitesse du vent (m/s)
	22- Direction du vent (°N)

	23- Hauteur de la houle (m)
	24- Direction de la houle (°N)
	25- Vitesse des courants le long de la rive (m/s)
	26- Orientation du trait de côte (°N)
Trend évolutif du trait de côte	27- Avancée moyenne du trait de côte (m)
	28- Recul moyen du trait de côte (m)

Le choix des variables apparaît conditionné par la carence de données (nécessité de l'utilisation des variables descriptives) et par la nécessité d'inclure différents contextes géomorphologiques comme par exemple les côtes rocheuses.

Simeoni U., Tessari U., Gabbianelli G., Schiavi C. (2003) - *Sea storm risk assessment in the Ravenna littoral (Adriatic Sea, Northern Italy)*. In: Ozhan E. (Ed), Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 7-11 October 2003, Ravenna, Italy, 1-3, 2223-2234.

But de l'étude	Méthodologie utilisée
Détermination du risque de submersion par tempête	Régression multiple

Dans l'étude réalisée par Simeoni et al. (2003) l'évaluation du risque pour la côte de Ravenne a été affrontée en tenant compte de l'hypothèse que, face à la certitude de la remontée du niveau marin, des épisodes de tempête en mer capables de produire des phénomènes de submersion de la bande littorale seront toujours plus fréquents et intenses.

La méthode adoptée par les auteurs suit méthodologiquement le parcours analytique qui mène à la définition de dangerosité (H), de Vulnérabilité (V) et de valeur territoriale (E), selon les définitions de l'UNESCO et de l'UNDRO, par la création d'une base de données territoriales et de quelques procédures simples de calcul.

Le database territorial a été créé en considérant différentes variables environnementales et anthropiques, que l'on peut regrouper en 7 secteurs distincts:

1. *Conditions météo-marines* : de l'analyse du climat météo-marin, un phénomène de tempête en mer capable de produire des vagues avec $H_s=3.5$ mètres au niveau de l'isobathe -5 m, associées à une excursion de marée supérieure à 130 cm (Tr 10 ans) est considéré comme potentiellement nuisible.
2. *Conditions géologiques-morphologiques* : les variables suivantes ont été considérées :
 - a. largeur des fonds calculée à partir de la laisse à l'isobathe -5 mètres ;
 - b. largeur de la plage émergée : calculée à partir de la laisse jusqu'au pied des dunes (si présentes) ou jusqu'à d'éventuelles infrastructures anthropiques ;
 - c. hauteur de la plage émergée ;
 - d. diamètre moyen des sédiments de la plage et des fonds marins ;
3. *Pression d'utilisation de la plage* : nombre de présences touristiques par mètre linéaire. Cela a de lourdes répercussions sur la morphologie de la plage : déplacements considérables et continus de sable pour permettre une exploitation touristique complète. La valeur de pression d'utilisation a été calculée en fonction d'un indice d'exploitation touristique, variant entre 0 (pas d'exploitation touristique) et 1 (exploitation avec présence d'infrastructures immobilières).
4. *Tendances évolutives de la plage* : trois périodes ont été considérées, identifiées comme évolution historique (1917-1954), évolution récente (1954-1978) et évolution actuelle (1978-2000), la variation du volume unitaire de la plage (pour la période 1993-2000) est considérée comme représentative du comportement dynamique du littoral ;

5. *Subsidence du territoire côtier* : le taux de subsidence a été estimé pour la période 1992-1998 selon les relevés effectués par la Commune de Ravenne.
6. *Typologie des structures défensives* : les ouvrages de défense ont été distingués en :
- Techniques « douces » : comprennent toutes les interventions anthropiques de rechargement (remblaiement) ou de construction de « levées » en terre et la présence de dunes naturelles. Compte tenu de leur importance pour la défense du littoral contre les ingressions marines, les dunes naturelles ont été traitées séparément. La présence de protections douces a été exprimée en fonction de leur présence linéaire
 - Défense lourde : comprend les autres structures défensives, classées ultérieurement en fonction de leur position par rapport au niveau de la mer (émergées et submergées) et de leur typologie (ouvrages longitudinaux de haute plage, ouvrages longitudinaux de bas de plage et de petits fonds marins, épis et armures d'embouchures, quais portuaires). Successivement, pour chacune d'entre elles, le matériel de construction et l'incidence de leur développement linéaire ont été identifiés.
7. *Utilisation du sol et typologie d'occupation de l'hinterland* : selon les indications fournies par le Programme de Prévision et de Prévention en matière de Protection Civile de la Province de Venise pour la définition du risque hydraulique, 4 typologies d'utilisation du sol, représentatives de la valeur économique du territoire ont été adoptées, avec les modifications opportunes:
- zones naturelles : dépourvues de constructions et incultes, zones naturelles sauvegardées et/ou protégées ;
 - maisons éparses et zones agricoles : habitations disséminées sur le territoire à une distance telle qu'entre elles un noyau habité ne peut être construit ;
 - noyau habité et camping : groupes de maisons contiguës ou voisines avec au moins 5 familles et avec des solutions interposées de continuité limitées, aires occupées par des campings équipés ;
 - centre urbain : groupes de maisons contiguës ou voisines séparées par des routes, des places et autres et équipées d'infrastructures de service permanentes.

Un passage délicat pour la définition du risque, sur la base de la méthodologie adoptée, consiste en la subdivision de la bande côtière en traits suffisamment homogènes. La subdivision est effectuée par la présence d'évidences topo-morphologiques et anthropiques. Successivement, pour chaque trait la Dangerosité (H) a été considérée constante, et est représentée par les variables météo-marines (1° secteur), alors que l'indice du Risque (R) a été déterminé en appliquant l'algorithme suivant :

$$V_p \Rightarrow V_r \Rightarrow R$$

où V_p représente la vulnérabilité du littoral, dans l'hypothèse qui n'existe pas de défense (naturelle et/ou anthropique) contre les ingressions marines. À chacune de ces variables un poids en fonction de l'importance pour la mitigation du risque a ensuite été attribué; par contre V_r représente la vulnérabilité du littoral, atténuée par des défenses naturelles et artificielles ;

R représente le risque.

Dans le calcul de la Vulnérabilité potentielle (V_p) une régression multiple (Civita, 1994 ; Civita et De Maio, 1997) du type suivant a été utilisée:

$$V = v_1 k_1 + v_2 k_2 + v_3 k_3 + \dots + v_n k_n$$

où

V représente l'indice de vulnérabilité, v la valeur codifiée de la variable et k le poids attribué à la variable.

L'action de mitigation des défenses a été évaluée au moyen de la détermination d'un Indice d'Efficacité des Structures anthropiques et des Dunes naturelles.

Pour les premières les variables descriptives ont été considérées et l'incidence linéaire a été exprimée en pourcentage par rapport à la longueur totale de chaque trait. Les méthodes

douces ont été décrites en pourcentage seulement en fonction de leur présence. L'efficacité de chaque défense D_i est représentée par :

$$D_i = d * \frac{V_{p_{\max}}}{e_{\max}}$$

où d représente la valeur originale de la classe de la défense, $V_{p_{\max}}$ est la vulnérabilité potentielle théorique maximale, e_{\max} est la plus grande classe d'efficacité relative à l'ouvrage considéré. Le rapport $V_{p_{\max}}/e_{\max}$ représente le coefficient de normalisation des valeurs des défenses pour des valeurs de vulnérabilité potentielle maximales.

Les dunes naturelles ont été traitées séparément, en déterminant un Indice d'Efficacité et de Stabilité (IES) sur la base de la hauteur de la crête (cote absolue en m par rapport au niveau de la mer), l'indice de cambrure calculé comme rapport entre la hauteur de la dune (différence entre la cote de la crête et celle du pied de la dune) et la largeur du flanc marin, la continuité linéaire, l'état de conservation et la couverture végétale.

La V_r peut donc être calculée par :

$$V_r = V_p - \text{Efficacité totale de la structure}$$

Le Risque (R) a été successivement calculé en multipliant la vulnérabilité réelle (V_r) par la valeur de la bande littorale (E), définie selon les 5 classes d'utilisation du sol et des typologies d'occupation de l'hinterland. Les plus grandes valeurs sont attribuées aux centres urbains (4), en sous-entendant le risque associé premièrement aux vies humaines et deuxièmement à la valeur économique des habitations et de l'activité productive.

Dans tous les cas, il est nécessaire de réaffirmer que le risque associé à chaque trait doit être exclusivement considéré de manière comparative. Pour chaque trait, le risque doit donc être interprété en considérant les situations limitrophes. Cela implique, dans l'hypothèse d'une utilisation au niveau de la programmation ou de la gestion, la nécessité d'une évaluation intégrée non seulement au niveau des variables internes au trait, mais surtout en considérant les effets induits par les interventions possibles sur les traits limitrophes et, éventuellement sur tout le littoral. De telles recommandations ne naissent pas seulement de l'évaluation de l'application de la méthode décrite, mais sont à la base des indications communautaires à propos de la gestion intégrée de la zone côtière.

2.7 Expériences à macro échelle

En Europe, malgré l'érosion diffuse des côtes, tous les Pays n'ont pas adopté des politiques de défense côtière au niveau national, préférant déléguer le problème aux autorités locales, et une réglementation spécifique de défense de la côte n'existe pas. Depuis 1978, des Rapports et des Programmes, proposant des initiatives à échelle européenne, ont été publiés et, parallèlement, de nombreux projets de recherche ont été lancés.

Le programme Corine et le projet Lacoast traitent essentiellement de l'utilisation du sol et de ses transformations. Lacoast s'occupe des changements de l'utilisation du sol des zones côtières européennes sur la base de la disponibilité des données du programme *Corine Land Cover*. Cette étude a été réalisée à l'échelle 1:100.000 sur une zone large de 10 km à partir du trait de côte, à partir de la comparaison des données du database Corine relatif à la couverture du sol (CLC 1992-93), des images satellitaires Landsat MMS (1973-75) opportunément corrigées pour être comparables aux images satellitaires utilisées pour le CLC (Landsat TM ou SPT XS/P) et des données complémentaires telles que photos aériennes, cartes thématiques, statistiques etc.

Le projet Euroerosion analyse les problématiques liées à l'érosion côtière et se propose de formuler des indications concernant les politiques et les actions à adopter. À l'intérieur du projet quelques activités fondamentales pour développer un database GIS (*Geographical European Coastal Erosion Database*) au niveau européen sont prévues. Ce database recueille les données plus significatives pour l'évaluation de l'état de l'érosion côtière, pour la quantification de la vulnérabilité et du risque selon différentes thématiques (Tab. 11).

1- trait de côte	8- infrastructures	15- modifications de la couverture du sol
2- images satellitaires	9-géomorphologie	16- lois et décrets
3- frontières administratives	10- tendances érosives	17- zones protégées nationales
4- élévations du sol	11- apports fluviaux	18- profils socio-économiques
5- bathymétrie	12- niveau de la mer	19- zones vulnérables
6- hydrologie	13- hydrodynamique	20- exemples d'interventions de défense
7- limites des bassins fluviaux	14- couverture du sol	

Tableau 11. Thématiques développées dans le cadre du projet Eurosion

Au niveau national le projet Cenas (*Coastline Evolution of the Upper Adriatic Sea due to Sea Level Rise and Natural and Anthropogenic Land Subsidence*), financé par la Communauté Européenne dans le cadre du Programme Environnemental (Environmental Programme) 1990-94, a pour principal objectif la définition de l'évolution du trait de côte de l'Adriatique septentrionale par rapport à l'eustatisme, à la subsidence naturelle et anthropique, aux phénomènes de marée et de tempête de mer et au transport sédimentaire limité.

Tous ces facteurs ont été simulés par un modèle dont le but est de prévoir la morphodynamique côtière pour le siècle prochain (Cenas, 1997). Dans ce projet, des zones de l'Adriatique septentrionale, caractérisées par une côte basse et présentant parfois une condition précaire, ont été prises en considération. Par exemple, l'eustatisme, la fréquence et l'étendue des inondations liées à l'élévation du niveau de la mer, l'altimétrie de la zone et l'utilisation du sol ont été utilisés pour la définition du risque de tempête de mer.

Le Consorzio Venezia Nuova (Cecconi, 1997), en examinant la zone de la lagune de Venise, évalue les effets de la montée possible du niveau de la mer et donc de l'augmentation de l'érosion et de la submersion de nombreuses zones sèches de la lagune; si les facteurs anthropiques et naturels actuels responsables des processus érosifs persistaient, celles-ci pourraient disparaître d'ici 30 à 50 ans. L'étude a même conduit à l'identification qualitative des impacts majeurs du SLR (Sea Level Rise) sur l'écosystème lagunaire. Ceux-ci sont définis par :

- l'augmentation du niveau et du volume d'eau à l'intérieur de la lagune, avec pour conséquence une réduction de l'oxygénation du fond ;
- l'augmentation de la hauteur moyenne des vagues engendrées par le vent à cause de la profondeur majeure des eaux, cet effet augmenterait fortement l'érosion des morphologies lagunaires typiques;
- l'augmentation de la salinité moyenne et de la variation des températures moyennes de la lagune en raison de l'échange plus important avec la mer ;
- l'inondation des portions plus basses de la lagune et du bassin de drainage induisant une perte d'habitats naturels importants et de zones d'activités anthropiques ;
- l'intensification des phénomènes d'érosion côtière.

Sur la base des études menées par le Consorzio Venezia Nuova, le Co.Ri.La., (Centro per il Coordinamento delle Ricerche sul Sistema Lagunare Veneziano) (1999), a élaboré deux scénarios de RSLR (Relatifs Sea Level Rise) pour la période 1990-2100. Le premier scénario prévoit RSLR de +16.4 cm liée à l'eustatisme (+ 1.13 mm/an) et à la subsidence naturelle (-0.4 mm/an), taux similaire à ceux mesurés au cours du vingtième siècle. Ce scénario suppose que l'effet du possible changement climatique, pour engendrer une influence significative sur la RSLR, n'aura pas lieu avant 2100. Un scénario plus prudent prend en considération un taux d'eustatisme plus élevé enregistré au cours du XX siècle (+ 1.5 mm/an à Venise et + 1.7 mm/an à Trieste). Ce taux, additionné à la subsidence naturelle, engendre un scénario de + 21-23 cm de RSLR. Un troisième scénario prévoit l'utilisation des prévisions de l'IPCC (1996) en considérant la projection IS92a. Selon ces prédictions le niveau de la mer remontera de 3.4 cm d'ici 2100, à cause de l'effet de réchauffement global et de la subsidence naturelle.

La montée du niveau de la mer prévue par les trois scénarios engendrera une augmentation de la fréquence annuelle des phénomènes de marée qui dépassent les 100 cm, passant de 7

(valeur actuelle) à 37 phénomènes dans le cas du premier scénario, à 58 phénomènes dans le cas du second scénario et à 128 phénomènes en considérant le troisième.

La réalisation de l'"Atlas des plages italiennes", débutée en 1985 dans le cadre du Projet Finalisé "Conservation du Sol" du C.N.R. et complétée en 1992, se compose de 108 planches (échelle 1:100.000) dans lesquelles sont reportées des informations inhérentes à la présence d'ouvrages anthropiques, aux types naturels, à la dynamique hydrologique et sédimentaire. Bien que la vulnérabilité et le risque côtier ne soient pas évalués, l'atlas a une grande importance car il représente le premier exemple de représentation synoptique à échelle nationale des dynamismes et de l'organisation côtière, avec des répercussions évidentes et importantes dans le cas d'éventuelles initiatives législatives et planificatrices.

Dans le cadre des recherches conduites par le groupe National pour la Défense des Catastrophes Hydrogéologiques (G.N.D.C.I.) une carte du risque d'érosion des littoraux italiens a été élaborée à échelle nationale (d'Alessandro et La Monica, 1999). Cette carte permet de distinguer quatre niveaux de risque (très élevé, élevé, bas et nul) dans l'hypothèse que le dommage puisse avoir lieu dans le court terme (0-10 des ans) ou à long terme (10-30 ans) et en fonction d'éléments de diverses importances (centres habités, voies de communication, aires urbanisées, biens paysagers, archéologiques, environnementaux, industriels, hospitaliers, etc.) (Fig. 11).

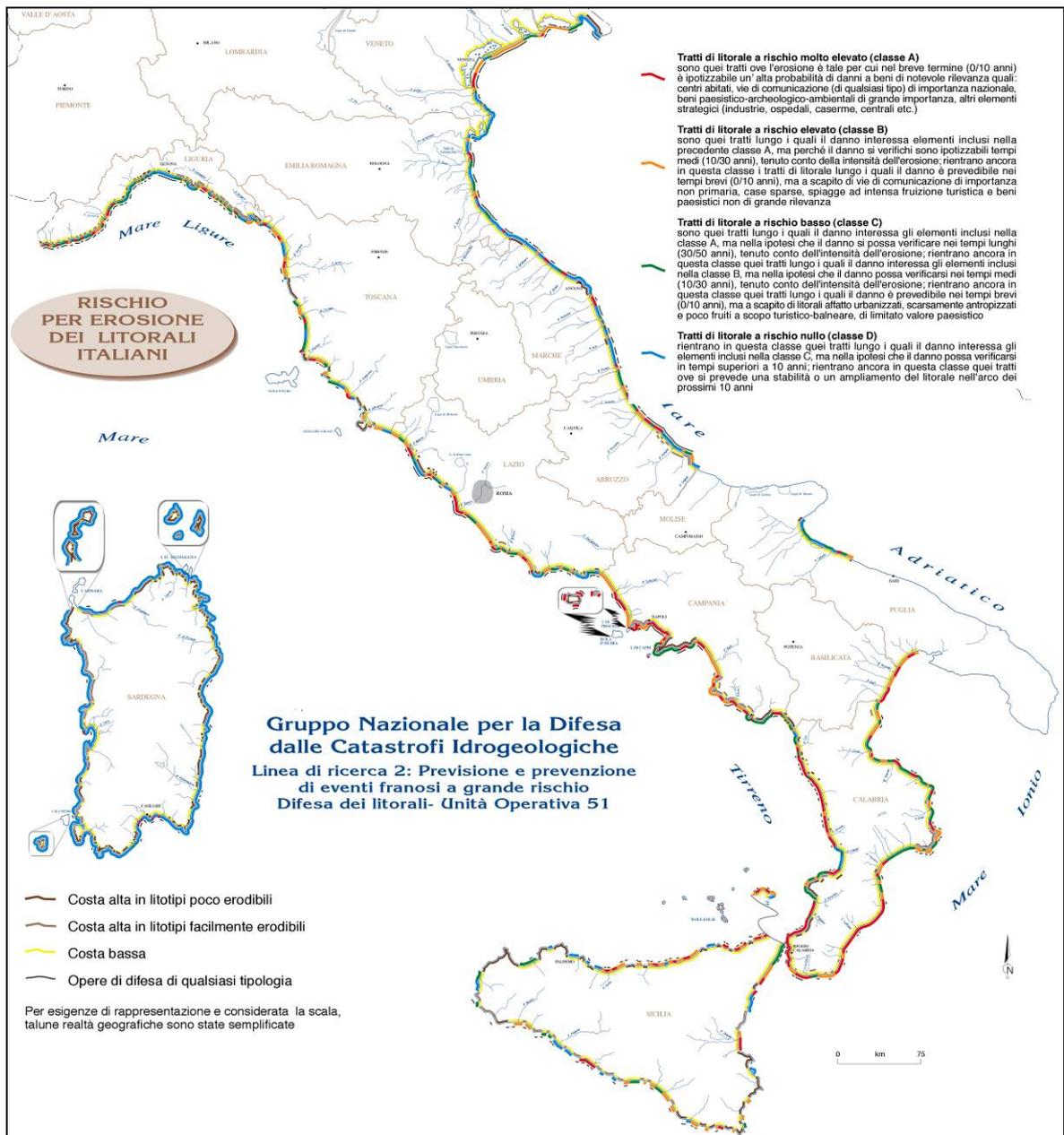


Figure 11. Carte du risque d'érosion des littoraux italiens selon le G.N.D.C.I.

2.8 La côte de l'Emilie-Romagne

L'évolution du littoral de l'Emilie-Romagne est caractérisée par la succession et la superposition d'événements environnementaux complexes auxquels s'ajoutent, surtout au cours des derniers siècles, l'action modificatrice due à l'homme.

Bien qu'endommagées et privées d'apports importants, les plages de l'Emilie-Romagne présentaient un trend évolutif essentiellement positif jusqu'à la fin des années 40. A la fin des années 50 des phénomènes érosifs rapides et généraux, particulièrement intenses pendant les années 60 et 70, s'instaurent dans la zone. Ce trend, qui s'observe également dans les modifications des fonds marins, est caractérisé par un démantèlement progressif des appareils d'embouchure des fleuves et par une action rectificante de la mer

La situation actuelle du littoral de l'Emilie-Romagne peut être synthétisée par les données suivantes: 39 km de littoral sont en avancement, 59 km stables et 32 km en recul. Les littoraux stables et en avancement sont surtout liés à la présence de structures portuaires et de

défense, alors que ceux en recul sont situés entre le Lido di Spina et l'embouchure du Reno, au sud de Ravenne et au nord de Cesenatico et de Riccione.

Ces analyses des tendances linéaires, simples en apparence, sont assez complexes. Les enregistrements de la variation du trait de côte sont des signaux qui mettent en évidence différents processus et tendances. Il faut considérer les tendances évolutives comme des signaux de variation sur plus vaste échelle et les associer à l'évolution des paramètres climatiques, météo-marins, biologiques, sédimentologiques, anthropiques, etc.

Les phénomènes à échelle mondiale ont probablement influencé cette tendance évolutive mais seulement en moindre mesure. Par exemple, il est difficile de quantifier les modifications du niveau marin liées au thermo-eustatisme, mais l'installation d'une période chaude contribue certainement à accentuer le phénomène transgressif. Donovan et Jones (1979) suggèrent qu'une variation de 1 °C de la température moyenne de la mer engendre une variation de 1 m du l.m.m.. Les prévisions d'augmentation de la température, basées sur les méthodes de circulation générale, indiquent pour les 40-50 prochaines années un réchauffement moyen global compris entre 1.2 et 2°C pouvant atteindre 3.5-5.2°C (Raper et al., 1996). En supposant une augmentation de la température globale, beaucoup de chercheurs estiment que l'augmentation du taux de montée du niveau marin devrait se poursuivre après la stabilisation de l'effet de serre à cause des retards dans les réponses des systèmes atmosphériques et océaniques.

En ce qui concerne l'Italie, Mosetti et Purga (1991) prévoient une élévation du l.m.m. comprise entre 1.08 mm/an et 1.64 mm/an en fonction de la méthode utilisée, Mazzarella et Palumbo (1989) estimaient 14.5±0.6 cm pour la période 1890-1985. Adamoli (1979), en se basant sur les mesures marégraphiques de l'Adriatique nord, indique une élévation du l.m.m. d'environ 20 cm au cours des 100 dernières années. Cette valeur, en considérant une pente moyenne de la plage de 4°-2°, correspondrait à un recul d'environ 3-6 m en 100 ans, ou bien de 3-6 cm/an.

De même l'augmentation de la concentration du CO₂ atmosphérique a eu des répercussions sur la variation du niveau marin, comme il est possible que des variations du climat météo-marin (tempêtes de mer plus fréquentes avec un potentiel majeur d'érosion) se soient produites, comme le mentionnent certains auteurs dans différentes parties du globe.

Cependant, en analysant les données relatives aux précipitations on ne remarque pas de variations qui indiquent, au cours des 50 dernières années, des changements climatiques, pouvant provoquer une diminution des apports des fleuves. Pourtant il est évident qu'après les années 40 on est passé d'une phase de croissance ou de stabilité à une phase de recul rapide et hétérogène du trait de côte. Seul l'homme, avec ses nombreuses activités, a pu rapidement altérer le bilan et la dynamique hydrosédimentaire des plages. On peut donc affirmer que les littoraux de l'Emilie-Romagne, au moins en ce qui concerne les 50 dernières années, représentent un exemple typique d'érosion "accélérée", c'est-à-dire d'érosion amorcée ou accentuée par l'influence de l'homme sur l'environnement et sur ses processus physiques. La caractéristique de cette érosion est souvent d'instaurer des phénomènes irréversibles ou difficilement remédiables. Le problème en Emilie-Romagne, comme généralement le long de la côte Adriatique, est assez préoccupant et accentué par le développement intense causé par l'urbanisation de la façade littorale.

Ces reculs sont certainement liés aux réductions considérables des apports solides, observées au cours des 50 dernières années, des cours d'eau qui débouchent dans le territoire régional. Des études (Idroser, 1996) suggèrent que l'apport en suspension du Po est passé de 12.8 Millions t/an pour la période 1918-43 à 4.7 Mt/an pour la période 1986-91 et qu'entre 1945 et 1972, les autres fleuves de l'Emilie-Romagne ont subi une réduction de leur portée selon un facteur compris entre deux et quatre. En définitive, on peut estimer qu'en 1972 les fleuves de l'Emilie-Romagne avaient un apport solide global de matériaux utiles au rechargement des plages d'environ 0.68 millions de m³/an et qu'il y a eu une réduction entre 1945 et 1972 d'un facteur proche de 2, c'est-à-dire une baisse annuelle de 2%.

Les causes de ces réductions doivent être recherchées dans les multiples activités que l'homme a entreprises sur le territoire. Le changement réalisé au cours de ce siècle concernant l'utilisation du sol a certainement eu des conséquences sur le transport solide des fleuves. En Emilie-Romagne (Idroser, 1983) de telles modifications ont déterminé une réduction des superficies facilement érodables (terrains à cultiver) et une augmentation limitée des superficies de cultures qui offrent une majeure protection au sol (prés, pâturages et bois).

Entre 1929 et 1970, les plus fortes réductions des superficies de terrain à cultiver sont enregistrées dans les bassins de Rubicone et Uso (-33,5 %).

Un autre facteur anthropique déterminant pour la limitation du transport solide, surtout de fond, doit être recherché dans l'activité extractive des fleuves, débutée dans les années 50 présentant des pointes maximales dans les années 60. A tel propos, on peut estimer qu'une quantité double à celle arrivée moyennement en mer au cours de la décennie 1964-73 a été prélevée en 1979 dans le seul lit du Po (Idroser, 1983). Il suffit de rappeler qu'entre 1955-92, des extractions d'inertes des lits des fleuves de l'Emilie-Romagne, en excluant donc le Po, pour un total d'environ 21 Mm³, ont été officiellement concédés. Cette situation a été favorisée par l'absence de contrôle des concessions d'inertes. En effet pour obtenir des estimations proches de la vérité sur la quantité effectivement extraite, il faut utiliser un facteur multiplicatif compris entre 2.5 et 4.

Au cours des dernières décennies, l'évolution de la côte a été également fortement conditionnée par des augmentations accélérées de la subsidence, qui est déjà naturellement élevée dans ce territoire (2-3 mm/an), dues, entre autre, à l'extraction d'eaux méthanifères et à l'exploitation intense des nappes souterraines pour l'alimentation d'activités qui nécessitent de l'eau. Ce phénomène, conjointement au manque de compensation naturelle, est la principale cause de l'organisation altimétrique actuelle de la façade côtière. Concernant les plages à pente faible, comme celles de l'Emilie-Romagne, la subsidence induit non seulement des retraits du trait de côte (de plusieurs mètres en comparaison aux quelques centimètres) mais aussi une augmentation de la pente des fonds marins, et par conséquent une réduction du corps sableux côtier. Par exemple, quelques traits côtiers de la plaine du Pô, caractérisés par des taux d'abaissement de l'ordre de 1.5 à 3 mm/an, ont subi une perte de 0.6 Mm³/y de matériel sableux au cours des années 70. Des nivellements de précision, effectués le long des 130 km du littoral régional, ont mis en évidence des abaissments compris entre 5 et 50 mm/an pour la période 1984- 87, qui se sont réduits à 2-36 mm/an pour la période 1987-93 : cela équivaut à une "perte" de 19-20 Mm³ de sédiments littoraux sur une décennie (Idroser, 1996).

La comparaison entre le trait de côte des années 40 avec ceux des années 70 et 80 indique un net recul et confirme que ces facteurs ont eu une grosse influence sur le transport solide des fleuves.

La nécessité de contraster les phénomènes érosifs a rendu nécessaire la construction de nombreux ouvrages de défense, qui visaient également à sauvegarder les recettes provenant du tourisme balnéaire (environ 16.500 milliards de lires/an). Ces ouvrages ont cependant rigidifié le système littoral et fortement dénaturé sa dynamique évolutive. Quelques simples données permettent de mettre en évidence l'importance et l'impact des interventions sur le système côtier : 48.9 km de brise-lames, 8.7 km d'ouvrages longitudinaux (enrochements), 1.6 km d'épis, 27 km de digues, de murets et de dunes artificielles ont été construits, 4.2 km de tubes Longard ont été installés et des millions de m² de sables pour 13.8 km de remblayage ont été versés. Bien que les interventions aient en partie contrôlé et/ou ralenti le phénomène érosif, elles n'ont pas résolu le problème ni contribué de manière significative à renverser la tendance négative qui, encore aujourd'hui, domine presque toute la côte. Selon certaines études, sur 1000 lires de chiffre d'affaires seulement 1 lire a été dépensée pour la sauvegarde de la plage, bien peu de chose si on considère que de nombreux territoires près de la mer ont des cotes de quelques mètres en dessous du niveau marin.

Des scénarios certes peu optimistes peuvent être tracés pour le futur suite à l'accélération prévue de la montée globale du niveau marin. En additionnant cette élévation aux abaissments dus à la subsidence, on peut facilement envisager une aggravation des situations de déséquilibre côtier à court-moyen terme. Des simulations réalisées avec les modèles prévisionnels plus courants mettent en évidence des reculs du trait de côte de l'ordre de 20-40 m d'ici 2025. Des indications significatives sur ce phénomène peuvent être obtenues de l'étude réalisée sur le territoire de Ravenna (Commune de Ravenna, 1996) basée sur l'extrapolation et la projection des cotes de deux nivellements effectuées en 1986 et 1992. Le territoire, qui présentait déjà en 1992 des cotes inférieures au niveau moyen de la mer, continuera progressivement à s'abaisser. En 2050, selon l'hypothèse la plus pessimiste, plus de 62% du territoire atteindra une cote proche du zéro. Un autre scénario met en évidence que déjà en 2025 les conditions altimétriques pourraient être sûrement préoccupantes.

L'élévation de la mer aurait des conséquences particulièrement néfastes sur la zone côtière puisque les zones dunaires, qui présentent des cotes comprises entre 1 et 2 m, réduiraient

considérablement leur étendue : 25% en 1992, 14% en 2025 et seulement 8% en 2050. Rappelons que les dunes représentent un réservoir naturel de sédiments pour le rééquilibrage du bilan de la plage et qu'elles constituent une défense naturelle contre l'inondation marine des zones situées à l'arrière de la plage.

Heureusement, ces inondations provoquent surtout des dommages matériels puisque les conditions météo-marines le long des côtes de l'Emilie-Romagne ne sont pas d'intensité considérable. Cependant, ce qui préoccupe la population et les administrations locales est qu'une augmentation générale de la fréquence des augmentations du niveau marin a été observée au cours des dernières décennies.

En ce qui concerne la côte régionale la littérature existante permet d'identifier les principales difficultés: altérations profondes de la côte ; fort abaissement pluriséculaire du sol qui s'est accentué au cours des cinquante dernières années (voire de 90-100 cm) ; 77 kilomètres sur 130 de littoral sont protégés de différentes manières ; 32 kilomètres de plages sont en retrait ; 13% de la côte présente un risque d'érosion très élevé (Fig. 12).

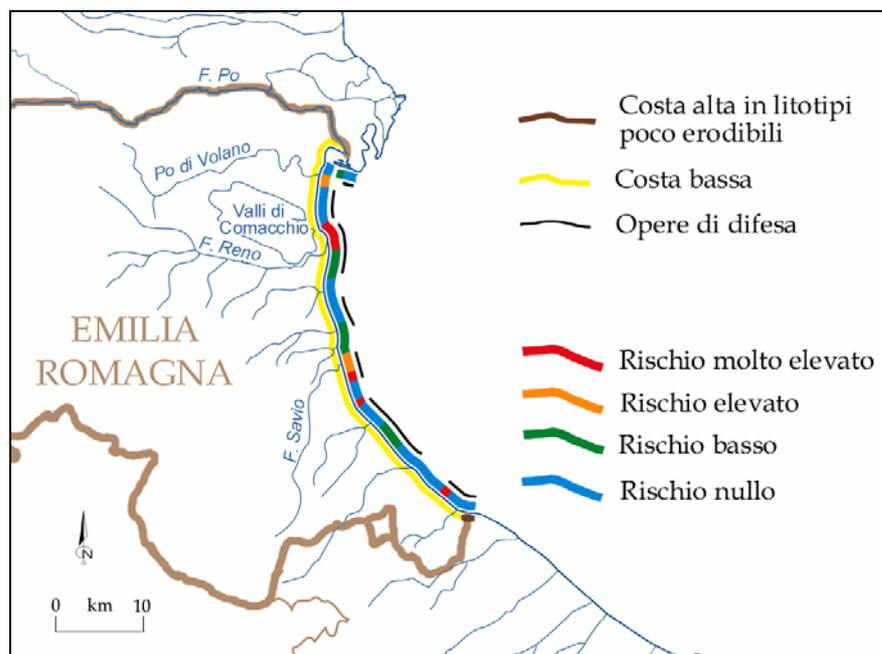


Figure 12. Carte du risque d'érosion des littoraux de l'Emilie-Romagne (G.N.D.C.I., 1999).

2.8.1 Choix des sites pilotes

Dans le cadre du projet deux sites appartenant au littoral de l'Emilie-Romagne, choisis pour leurs caractéristiques particulières, seront étudiés.

Le premier situé entre l'embouchure du torrent Bevano et du centre urbain du Lido Adriano (Fig. 13), s'étend sur une longueur globale d'environ 6.5 Km et est caractérisé par :

- un trait de côte protégé par des brise-lames situés en face d'une agglomération de dimensions moyennes (Lido Adriano) ;
- un trait protégé par une défense longitudinale (au nord de l'embouchure du Fiumi Uniti)
- un trait de côte protégé par une barrière submergée et situé face à une agglomération de petites dimensions (Lido di Dante) ;
- un trait de côte "libre" avec des dunes qui se développent sur une pinède (entre Lido di Dante et l'embouchure du Bevano).



Figure 13. Site pilote entre l'embouchure du Torrent Bevano et Lido Adriano

Le second site, qui s'étend sur environ 26 Km, est situé dans la Province de Ferrare et est délimité au sud par l'embouchure du fleuve Reno et au nord par le Lido de Volano (Figure 14). Ce littoral est caractérisé par des plages sableuses fortement anthropisées à des fins touristiques et protégées par de nombreux ouvrages de défense. Ces derniers, ainsi que les jetées du Port de Garibaldi, interfèrent lourdement sur la dynamique hydro-sédimentaire de la côte. L'exploitation touristique importante de la plage a causé une destruction importante des systèmes dunaires, un remodelage incessant de la superficie de plage, un « durcissement » de l'environnement côtier dû à la présence des nombreuses structures défensives.

Les zones lagunaires et paralagunaires du littoral, dont l'existence est aujourd'hui menacée en raison de la tendance évolutive de la côte, fortement conditionnée par un abaissement intense du territoire et par une réduction drastique des apports solides des fleuves, présentent un intérêt particulier.



Figura 14. Site pilote entre l'embouchure du fleuve Reno et Lido di Volano

2.9 La côte du Latium

La côte du Latium s'étend de l'embouchure du Fosso Chiarone au Nord à celle du fleuve Garigliano au Sud ; elle est caractérisée par une suite de plages sableuses interrompues par quelques côtes rocheuses. L'élément qui caractérise tout ce trait côtier est l'unité physiographique du fleuve Tibre, qui détermine trois secteurs homogènes à l'intérieur du littoral du Latium :

- l'unité septentrionale, qui s'étend au Sud jusqu'à Palo (limite septentrionale de l'unité physiographique Tiberina), est constituée d'un arc sableux le long duquel se développent les embouchures des fleuves Fiora, Marta et Mignone. L'unité présente également un trait de côte rocheux à proximité de la ville de Civitavecchia ;
- l'unité centrale est constituée par l'unité physiographique du delta de Tibre comprenant la flèche deltaïque et les formes latérales en croissant, dont la limite méridionale est située à la hauteur de la côte rocheuse de Capo d'Anzio ;
- l'unité méridionale se distingue des précédentes par le manque presque total d'apports solides fluviaux, et par le développement de plaines côtières limitées par des cordons dunaires et des lacs côtiers (Lacs de Fogliano, Caprolace, Paola, Fondi) ; elle présente également des éléments de côte rocheuse : promontoire du Circeo, de Terracina et de Gaeta.

		TYPOLOGIE D'UTILISATION DE LA ZONE COTIERE				
		Urbanisation	Urbanisation éparse	Zones industrielles	Etablissements balnéaires	Serre
SECTEUR	Septentrional	53	34	4	1	8
	Central	24	33	1	2	0
	Méridional	22	46	0	4	28

Tableau 13. Pourcentages des typologies de l'utilisation de la façade côtière dans les trois secteurs du littoral du Latium (AA.VV. "Lo stato dei litorali italiani", 2006).

La vulnérabilité côtière influencée par des facteurs liés à l'activité anthropique et par des facteurs "géologiques" sera accrue par les variations futures du niveau de la mer.

En effet, la prévision (qualitative et quantitative) de la variation morphologie côtière et, donc, de la variation de la modalité et de la qualité de jouissance des ressources côtières en fonction des variations du niveau marin et des effets associés, résulte fondamentale pour l'évaluation à long terme (échelle prévisionnelle d'une centaine d'années) de la vulnérabilité côtière.

Donc, à cette échelle prévisionnelle une évaluation correcte des phénomènes locaux et globaux, qui déterminent les variations relatives du niveau de la mer, résulte fondamentale, sinon il sera nécessaire d'utiliser des courbes de variation du niveau marin spécifiques à un secteur déterminé. En effet, comme le décrit depuis 1978 Mörner, reporté par Tooley (1993), de Bosi et al. (1996), Antonioli et Silenzi (1998 et 2000), la définition d'une courbe eustatique valable globalement (sauf pour la description du passé) résulte impossible puisque, pour chaque unité géologique, physiographique, etc., les influences locales de variation relative du niveau marin doivent être évaluées. Pour déterminer avec une approximation réaliste les scénarios possibles de montée du niveau marin à long terme pour une localité déterminée, les composantes qui doivent être évaluées sont :

- Eustatisme
- Néotectonique
- Isostasie hydro-glaciaire
- Expansion thermique des océans
- Subsidence (Géologique et anthropique)
- Distribution des masses d'eau
- Paramètres météo-marins et accroissement des événements climatiques extrêmes

Pour l'approximation des prévisions futures des variations relatives du niveau de la mer, les taux de dislocation tectonique et de réponse isostatique hydro-glaciaire pourront être considérés constants, puisque ces agents sont caractérisés par de telles vitesses qu'ils ne subissent pas de modifications sensibles sur une période de 100 ans.

Au contraire, des modèles consacrés aux phénomènes de l'expansion thermique, de la subsidence anthropique et des événements météo-climatiques seront nécessaires, puisque leurs tendances évolutives sont caractérisées par une variabilité qui ne peut pas être projetée linéairement dans le futur.

2.9.1 **Choix du site pilote**

Le site pilote pour l'évaluation du Risque a été déterminé compte tenu de la morphologie de la zone côtière du Latium comme résultat de l'interaction entre la remontée eustatique Holocène et l'activité tectonique et volcanique-tectonique. La nécessité d'appuyer l'étude de vulnérabilité sur des données précises concernant la remontée relative du niveau marin au cours de

l'Holocène a permis d'identifier dans le secteur compris entre le Promontoire du Circeo et Terracina (Latine) le site idéal pour de telles évaluations (Fig. 16).



Figure 16. Le cadre met en évidence la position du site pilote à l'intérieur de la Plaine Pontina (Latium méridional).

La zone d'étude se trouve dans le secteur méridional de la Plaine Pontina, située dans le Latium Méridional au sud de Latina, et représente un des secteurs morphologiquement les plus déprimés de toute la région. Cette plaine s'étend sur environ 20 km parallèlement à la côte de la Mer Tyrrhénienne et jusqu'à 50 km environ à l'intérieur des terres, couvrant ainsi une superficie d'environ 100 km². Le littoral étudié appartient à l'unité physiographique S. Felice Circeo - Terracina et est constitué d'une plage sableuse, orientée WSW-ENE. Le promontoire du Circeo constitue l'unique élément de rupture dans ce paysage plat, et présente une crête découpée par 10 sommets, le plus élevé (Pic de Circe) atteint 541 m d'altitude.

Le tableau 14 reporte les taux de prévision de la montée du niveau marin qui pourront être utilisés pour déterminer les zones soumises à un risque majeur de submersion de la plaine côtière objet d'étude.

REMONTÉE DU NIVEAU MARIN MOYEN (SRL) pour 2100			
Composants	Echelle de validité	Montée prévue d'ici 2100 (cm)	Référence
Eustatisme, isostasie, expansion thermique	Globale	+47±39	IPCC, 2001; Church et al., 2001.
Causes géologiques et eustatisme	Globale	+5 ±15	INQUA (Mörner, 2004).
Expansion thermique	Globale	+21.5±8.5	Meehl et al., 2005.
Isostasie hydro-glaciaire	Locale	+5.95	Lambeck et al, 2004 a et b (déduit).
Tectonique	Locale	~0	Nisi et al., 2003; Ferranti et al., 2005.

Tableau 14. Valeurs d'élévation de la mer prévue d'ici 2100 pour le trait côtier situé entre Circeo et Terracina (Latine, Latium Méridional).

2.10 Bibliographie

- Adiamoli L. (1979) – Le cause dell'erosione del litorale abruzzese dal Tronto al Pescara e criteri d'intervento per la sua difesa. *Notizie dell'Economia Teramana*, 11-12.
- AA.VV. (2006) – Lo Stato dei litorali italiani. Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero. *Studi Costieri*, 10, 175 pp.
- Antonoli F. e Silenzi S. (1998) – *Rassegna dello stato dell'arte sulle ricerche delle variazioni del livello del mare relativo all'ultimo semiciclo climatico e sul concetto di stabilità tettonica*. *Il Quaternario*, 11: 5-18.
- Antonoli F. e Silenzi S. (2000) – *La risalita del mare nel corso dell'Olocene*. In: "Mare e Cambiamenti Globali. Aspetti scientifici e gestione del territorio." Ed. S. Silenzi, ICRAM. pp. 29-42.
- Berger A.R. and Lams W.J. (1996) - *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bethoux J.P. e Gentili B. (1996) - The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *J. mar. Syst.*, 5, 383-394.
- Bethoux J.P., Gentili B. e Tailliez D. (1998) – Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect. *Geophys. Res. Lett.*, 25: 1023-1026.
- Bethoux JP, Gentili B., Raunet J. e Tailliez D. (1990) -Warming Trend In the Western Mediterranean Deep-Water. *Nature* 347, 6294: 660-662.
- Bosi C., Carobene L., Sposato A. (1996) - Il ruolo dell'eustatismo nella evoluzione geologica nell'area mediterranea. *Mem. Soc. Geol. It.*, 51: 363-382.
- Braaf R., Henderson-Sellers A., Holland G. e Howe W. (1995) – Climate change prediction, impact evaluation and integrated assessment. *Proceedings of the users climate change predictions experts workshop*, Sydney. pp.56.
- Brabb E. (1984) – Innovative approaches to landslide Hazard and Risk mapping. *Proceedings 4th I.S.L.*, Toronto, Canada. pp. 307-324.
- Brandt P., Rubino A., Sein D.V., Bascheck B., Izquierdo A, Backhaus J.O. (2004) - Sea level variations in the Western Mediterranean studied by a numerical tidal model of the Strait of Gibraltar. *J. Phys. Oceanogr.*, 34 (2) 433-443.
- Brewster L. F. S. (2002) - *The development of a comprehensive littoral vulnerability assessment approach for a small island developing state: a case study for Barbados*. In: *Littoral 2002, The Changing Coast*. EUROCOAST/EUCC, Porto, Portugal, 189-198.
- Bush D.M., Neal W.J., Young R.S. and Pilkey O.H. (1999) - *Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation*. *Ocean & Coastal Management*, 42, 647-670.
- Cabanave A., Cazenave A., Le Provost C. (2001) - Sea Level Rise During Past 40 Years Determined from Satellite and in Situ Observations. *Science*, 294: 840-842.
- Canuti P. e Casagli N. (1996) – Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana. *Pubb. n°846-GNDCL*. pp. 57.
- Capobianco M., Devriend H.J., Nicholls R., Stive M.J.F. (1999) - *Coastal area impact and vulnerability assessment: the point of view of a morphodynamic modeller*. *Journal Coastal Research*, 15(3), 701-716.
- Carrara A., Cardinali m., Guzzetti F. e Reichenbach P. (1995) – GIS Techniques in Mapping Landslide Hazard. In "Geographical Information System in Assessing Natural Hazard", Carrara e Guzzetti eds., Kluwer Academic Publishers, Netherlands. Pp. 135-175.
- Carter, R.W.G., Hesp, P.A., Nordstrom, K.F. (1990) - Erosional landforms in coastal dunes. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, R.W.G. (Eds.), *Coastal Dunes: Form and Process*. Wiley, Chichester, pp. 219– 249.
- Carter, T.R.; Parry , M.C.; Niahioka, S. and Harasawa, H. (eds) (1994) – Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. University College London and Centre for Global Environmental Research, London and Tsukuba.
- Casazza G., Silvestri C., Spada E. and Melley A. (2002) - *Coastal environment in Italy. preliminary approach using the " DPSIR Scheme" of indicators*. In: *Littoral 2002, The Changing Coast*, Ed. by EUROCOAST., Porto, Portugal, 541-549.

- Cazenave A., Bonnefond P., Mercier F., Dominh K., Toumazou V. (2002) - Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Global and Planetary Change*, 34: 59–86.
- Cecconi G. (1997) - Venezia e il problema delle acque alte. Il rischio di danno al patrimonio urbano a causa della crescita relativa del livello del mare, in «Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova», 2, 23-44
- CENAS (1997) - *Study on the coastline evolution of the eastern Po Plain due to sea-level change caused by climate variation and to natural and anthropic subsidence*. Rapporto Definitivo Contract EV5V-CT94-0498 (DG 12 DTEE)- U.E. Environment Programme, Padova. pp. 345.
- CENAT (2004) - Monte Verità Workshop 2004, Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century, 28 November 2004 - 03 December 2004, GLOSSARY, <http://www.cenat.ch/index.php?navID=824&userhash=41529&l=e>
- Chapman D.M. (1994) – *Natural Hazards*. Melbourne, Australia, Oxford University Press. pp.192.
- Church J., Gregory J., Huybrechts P., Kuhn M., Lambeck K., Nhuan M., Qin D., Woodworth P. - (2001). Changes in sea level. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. Houghton et al., chap. 11, pp. 639- 694, Cambridge Univ. Press, New York.
- Civita M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Ed. Pitagora, Bologna, 7, 325 pp.
- Civita M. e DE Maio M. (1997) - *SINTACS*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Ed. Pitagora, Bologna, 60, 191 pp.
- Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE), *Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia (2002) – Deliberazione 2 agosto 2002 n. 57. Gazzetta Ufficiale Italiana n. 255 del 30-10-2002- Suppl. Ordinario n.205*
- Comune di Ravenna (1996) –*Valutazione e conseguenze della variazione del livello marino medio sulla costa ravennate dovute a subsidenza e ad effetti climatici, Rapporto tecnico, Ravenna, 270pp.*
- Cooper J.A.G. and McLaughlin S. (1998). *Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis*. *Journal of Coastal Research*, vol. 14, n. 2, 512-524.
- Cooper N.J. and Jay H. (2002) – *Predictions of large-scale coastal tendency: development and application of a qualitative behaviour-based methodology*. *Journal Coastal Research*, s.i. 36, 173-181.
- Cowell P.J. and Thom B.G (1994) – *Morphodynamics of coastal evolution*. In Carter R.W.G. & Woodroffe C.D. (eds), *Coastal Evolution – Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge, University Press, 33-86.
- Cowell P.J., Roy P.S. & Jones R.A. (1995) – *Simulation of large-scale coastal change using a morphological behaviour model*. *Marine Geology*, 126, 45-61.
- Curry J.R. (1964) - *Transgressions and regressions*. In Miller R.L. (ed), *Papers in Marine Geology: New York, Macmillan, 175–203*.
- D'Alessandro L. e La Monica G.B. (1999) - *Rischio per erosione dei litorali italiani*. In "Il rischio idrogeologico e la difesa del suolo", *Atti dei Convegni Lincei*,134, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Dal Cin R. and Simeoni U. (1994) - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. *Journal Coastal Research*, 10, 1: 18-29.
- Del Prete M., Giaccari E. e Trisorio Liuzzi G. (1992) – *Rischio da frane intermittenti a cinematica lenta nelle aree montuose e collinari urbanizzate della Basilicata*. *Pubb. n°841-GNDCl. pp.84.*
- Donovan D.T. and Jones E.J.W. (1979) – *Causes of world-wide changes in sea-level*. *Journal of the Geological Society of London*, 136, 187-192.
- Douglas B.C. (1992) – *Global sea level acceleration*. *J. Geophys. Res.*, 97: 12699-12706.
- Douglas B.C.; Kearney, M.S. and Leatherman, S.P. (2001) – *Sea level rise, history and consequences*. *International Geophysics series*, 69, Academic Press, San Diego.
- DRM-Délégation aux Risques Majeurs (1990) – *Les études préliminaires a la cartographie réglementaire des risques naturels majeurs*. Secrétariat d' Etat auprès du Premier ministre

- chargé de l'Environnement et de la Prévention des Risques technologiques et naturels majeurs. La Documentation Française. pp. 143.
- Einstein H.H. (1988) – Special Lecture: Landslide risk assessment procedure. Proc. 5th Int. Symp. On Landslide, 2: 1075-1090.
- Elliot T. (1986) – Deltas. In Reading H.G. (ed), *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd edition, Blackwell Sci. Publ., London, 113-154.
- El-Raey, M.; K. Dewidar, and M. El-Hattab (1999) – Adaptation to the impacts of sea level rise in Egypt. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3-4), 343-361.
- Elsner J.B. (2006) – *Evidence in support of the climate change – Atlantic hurricane hypothesis*. *Geophysical Research Letters*, 33, L16705.
- Emanuel K.A. (2005) – increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
- European Environment Agency (EEA), (1999). A checklist for State of Environment reporting. Technical Report n. 15. Copenhagen.
- Fell R. (1994) – Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, 31 (2): 261-272.
- Fenoglio-Marc L. (2002) - Long-term sea level change in the Mediterranean Sea from multisatellite altimetry and tide gauges. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27, 1419-1431.
- Ferranti, L., Antonioli, F., Mauz, B., Amorosi, A., Dai Pra, G., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Orrù, P., Pappalardo, M., Radtke, U., Renda, P., Romano, P., Sansò, P. e Verrubbi, V. (2006) - Last interglacial sea level high stand markers along the coast of the Italian Peninsula: tectonic implications. *Journal of Quaternary International*, 145-146, 30-54.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Perkins, D., Leyendecker, E.V., Dickman, N., Hanson, S., and Hopper, M. (1996). *National Seismic Hazard Maps, June 1996, Documentation*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-532, 100 p.
- Goldenberg S.B., Landsea C.W., Mestas-Nunez A.M. and Gray W.M. (2001) – *The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications*. *Science*, 293, 474-479.
- Gornitz V.M. and White T.W. (1992) - *A coastal hazards data base for the U.S. East coast*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Gornitz V.M., Daniels R.C., White T.W. and Birdwell K.R. (1994) - *The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast*. In: (C.W. Finkl Ed.) *Coastal hazards: perception, susceptibility and mitigation*. *Journal of Coastal Research*, 12, Florida, 327-338.
- Gornitz, V. (1990). *Vulnerability of the East coast, U.S.A. to future sea level rise*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 9, p. 201-237.
- Greve C.A., Cowell P.J. and Bruce T.G. (2000) – Application Of A Geographical Information System For Risk Assesment On Open Ocean Beaches: Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia-An Example. *Environmental Geosciences*, 7: 149-161.
- Hoblitt, R. P., Walder, J. S., Driedger, C. L., Scott, K. M., Pringle, P. T., and Vallance, J.W. (1998). *Volcano Hazards rom Mount Rainier, Washington, Revised 1998*. U.S. Geological Survey Open-File Report 98-428, 17 p.
- Idroser (1983) - Il trasporto solido fluviale nei bacini tributari dell'Adriatico. Regione Emilia-Romagne, Piano progettuale per la difesa della costa Emiliano-Romagnola. Regione Emilia-Romagne, volume IV, Bologna. pp. 429.
- Idroser (1996) - Progetto di Piano per la Difesa dal Mare e la Riqualficazione Ambientale del Litorale della Regione Emilia-Romagne; Relazione Generale. Regione Emilia-Romagne, Bologna. pp. 365.
- IPCC CZMS (1992) – A common methodology for assessing vulnerability to sea level rise. 2nd revision. In *Global Climate change and rising challenge to the sea*. IPCC CZMS. Ministry of transport, public works and water managements, the Hague, the Netherlands, appendix C.
- IPCC (1997) – IPCC Special Reports on Climate Change, Methodological and Technological issues in Technology Transfer. <http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/362.htm>
- IPCC (2001) – WGI Third Assessment Report. Summary for Policymakers, Climate Change 2001: The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginevra, 13-16 Febbraio 2001.
- IPCC SRES (2001) – Special Report on Emissions Scenarios. <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>
- IPCC TAR (2001) – Climate Cange 2001, Third Assessment Report. Impacts, Adaptation and Vulnerability. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/

- Klein, R.J.T and Nicholls R.J. (1998) – Coastal Zones in Handbook on methods for climate change impact Assessment and Adaptation Strategies, version 2, UNEP/IV Handbook, October 1998, chap.7 35p.
- Klein R.J.T. and Nicholls R.J. (1999) - *Assessment of coastal vulnerability to sea-level rise*. *Ambio*, 28: 182-187.
- Klein, R.J.T.; Nicholls, R.J. and Mimura, N. (1999) – Coastal adaptation to climate change: Can the IPCC Technical Guidelines be applied? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4(3-4), 239-252.
- Knutson T.R. and Tuleya R.E. (2004) – *impact of CO₂ – induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parametrization*. *J. Clim.*, 17, 3477-3495.
- Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S.(2004a) - Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. *Quaternary Science Reviews* 23, 1567–1598.
- Lambeck, K., Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., Esposito, A. (2004b) - Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change. *Earth and Planetary Science Letters*, 224, 463–575.
- Larson M., Capobianco M., Jansen H., Rozynski G., Southgate H.N., Stive M., Wijnberg K.M. and Hulscher S. (2003) – Analysis and modelling of field data on coastal morphological evolution over yearly and decadal time scales. Part 1: background and linear techniques. *Journal Coastal Research*, 19, 4, 760-775.
- Louisse, C.J. and Van der Meulen, F. (1991) – ‘Future coastal defence in The Netherlands: strategies for protection and sustainable development’, *Journal of Coastal Research* 7(4), 1027-1041.
- Lowe J.A., Gregory J.M. and Flather R.A. (2001) – *Changes in the occurrence of storm surges around the United Kingdom under a future climate scenario using a dynamic storm surge model driven by the Hadley Centre climate models*. *Climate Dynamics*, 18, 179-188.
- Marotta L. e Vicinanza D. (2001) - *Indici di qualità ambientale nella gestione integrata della fascia costiera*. *Studi Costieri*, Firenze, 4, 83-98.
- Mazzarella A., Palumbo A. (1989) - Recent changes of mean sea level in the Mediterranean Area, *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 7, 285-293.
- Mazzini E. and Simeoni U. (1997) - *Instability in coastal areas: littorals, foredunes and beaches*. In: *Engineering Geology and the Environment*, P.G. Marinou, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (Eds); A.A. Balkema, Rotterdam, 261-266.
- Meehl, G.A., Washington, W.M., Collins, W.D., Arblaster, J.M., Hu, A., Buja, L.E., Strand, W.G., Teng, H. (2005) - How Much More Global Warming and Sea Level Rise? *Science*, 307, 1769-1772.
- Miller, C. D. (1989). *Potential Hazards from Future Volcanic Eruptions in California*. U.S. Geological Survey, Bulletin 1847, 17 p.
- Mitchell J.K. and Eriksen N.J. (1992) – Effects of climate change on weather-related disasters. In: “Confronting climate change: Risk, implications, and responses”, I.M. Mintzer eds. Pp. 141-151.
- Mörner N.A. (1978) – Eustasy and geoid changes. *J. Geol.*, 84: 123-151.
- Mörner N.A. (2004) - Estimating future sea level changes from past records. *Global and Planetary Change*, 40, 49-54.
- Mosetti F. e Purga N. (1991) – Mean sea level evolution in the Mediterranean Sea. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 9, 305-323.
- Nicholls, R. (1998) - “Coastal Vulnerability Assessment for Sea-Level Rise: Evaluation and Selection of Methodologies for Implementation”. Technical Report - TR 98002, 44p.
- Niedoroda A.W., Reed C.W., Swift D.J.P., Arato H. and Hoyanagi K. (1995) – *Modelling shore-normal large-scale coastal evolution*. *Marine Geology*, 126, 181-199.
- Nisi M.F., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G. e Silenzi S., (2003) – Coastal Deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) derived from elevation of Last Interglacial Transgression data. *J. Quaternary Science*, 18, 7: 1-15.
- OECD (1993). *OECD Core set of Indicators for Environmental Performance Reviews*. A synthesis report by the Group on the state of the Environment. Paris.
- Panizza M. (1988) – *Geomorfologia Applicata*. La Nuova Italia Scientifica. pp. 341.
- Perrot A. (1988) – *Cartographie des risques de glissements en Lorraine*. Proc. 5th Int. Symp. On Landslide, 2 : 1217-1222.
- Pilkey O.H., Young R.S., Bush D.M. and Thieler E.R. (1994) – *Predicting the behavior of beaches: alternatives to models*. Littoral, Lisbon, Portugal 1994

- Pirazzoli P.A. (1996) - Sea-level changes: the last 20000 years. Ed. J. Wiley and Son, Chichester, England, pp. 212.
- Pirazzoli P.A. (2000) - Cambiamenti globali e variazione del livello del mare: meccanismi e tendenze evolutive. In: "Mare e Cambiamenti Globali. Aspetti scientifici e gestione del territorio." Ed. ICRAM. pp. 15-28.
- Raper, S.C.B, T.M.L. Wigley and R.A. Warrick (1996) - Global sea-level rise: past and future, In: Sea-Level rise and Coastal Subsidence, J.D. Milliman and B.U. Haq (eds), Kluwer Academic Publishers, 11-46.
- Ross. T., Garrett C., Le Traon P.-Y. (2000) - Western Mediterranean sea-level rise: changing exchange flow through the Strait of Gibraltar. *Geophys. Res. Let.*, 27, 2949-2952.
- Sanchez-Arcilla, A. and Jimenez, J.A. (1997) – Physical impacts of climate change on deltaic coastal systems (I) : an approach. *Climatic Change*, 35, 71-93.
- Send U., Font J., Krahnemann G., Millot C., Rhein M. e Tintore J. (1999) – Recent advances in observing the physical oceanography of the western Mediterranean Sea. *Progress in Oceanogr.*, 44: 37-64.
- Shaw, J., Taylor, R. B., Forbes, D. L., Ruz, M. -H., and Solomon, S. (1998). *Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise*. Geological Survey of Canada Bulletin 505, 114 p.
- Simeoni U., Calderoni G., Tessari U., Mazzini E. (1999). *A new application of system theory to foredunes intervention strategies*. *Journal of Coastal Research*, 15, 2, 457-470.
- Simeoni U., Tessari U., Gabbianelli G., Schiavi C. (2003) - *Sea storm risk assessment in the Ravenna littoral (Adriatic Sea, Northern Italy)*. In: Ozhan E. (Ed), *Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 7-11 October 2003, Ravenna, Italy, 1-3, 2223-2234.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., van Dijke J.J., Geel C.R. and Kroonenberg S.B. (2002) – *Process-response modelling of a wave-dominated coastal systems: simulating evolution and stratigraphy on geological timescales*. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 2, 226-239.
- Stott P.A., Tett S.F.B., Jones G.S., Allen M.R., Mitchell J.F.B., Jenkins G.J. (2000) - External Control of 20th Century Temperature by Natural and Anthropogenic Forcings. *Science*, 290: 2133-2137.
- Thieler E.R. and Hammar-Klose E.S. (1999) - *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic Coast*. USGS Open File Report99, 593 pp.
- Thieler, E. R., and Hammar-Klose, E. S. (2000). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast*. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-178, 1 sheet.
- Tooley M.J. (1993) – Long term changes in eustatic sea level. In Warrick et al., *Climate and sea level change: observation, projections and implications*. Cambridge University Press. pp. 81-107.
- Trenbert K. (2005) – uncertainty in hurricanes and global warming. *Science*, 308, 1753-1754.
- Tsimplis M.N. & Rixen M. (2002) - Sea level in the Mediterranean Sea: The contribution of temperature and salinity changes. *Geophys. Res. Let.*, 29(23), doi: 2002GL015870.
- Tsimplis M.N. e Baker T.F. (2000) – Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature changes? *Geophysical research Letters*, 27 (12): 1731-1734.
- Tsimplis M.N. e Josey S.A. (2001) – Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic. *Geophysical research Letters*, 28 (5): 803-806.
- Van Dissen R. and Mc Verry G. (1994) – Earthquake hazard and risk in New Zealand. In: "Natural hazard management workshop", A.G. Hull and R. Coory eds. pp. 67-71.
- Varnes D.J. e IAEG Commission on Landslide (1984) – *Landslide Hazard Zonation-a review of principles and practice*. UNESCO. pp. 63.
- Vignudelli S., Gasparini G.P., Astraldi M. e Schiano M.E. (1999) - A possibile influence of the North Atlantic Oscillation on the circulation of the Western Mediterranean Sea. *Geophys. Research Let.*, 26: 623-626.
- Vigo I., García D., Chao B. F. (2005) - Change of Sea Level Trend in Mediterranean and Black Seas. *Journal of Marine Research*, in press.
- Webster P.J., Holland G.J., Curry J.A. and Chang H.R. (2005) – changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309, 1844-1846.
- Woodworth P.L. (1990) – A search for accelerations in records of European mean sea level. *Int. J. Climate*, 10: 129-143.

- Woolf D., Shaw A., Tsimplis M.N. (2003) - The influence of the North Atlantic Oscillation on sea level variability in the North Atlantic Region. *The Global Atmosphere and Ocean System*, 9(4), 145-167.
- Wöppelmann G. (1997) – Rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence mondial par techniques de géodésie spatiale. Thèse de Doctorat ès Sciences, Observatoire de Paris, 23 juin 1997. pp. 1-263.
- Wright L.D. & Short A.D. (1984) – Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis. *Marine Geology*, 56, 92-118.
- Zerbini S. Plag H.-P., Baker T., Becker M., Billiris H., Bürki B., Kahle H., Marson I., Pezzoli L., Richter B., Romagnoli C., Sztobryn M., Tomasi P., Tsimplis N.M., Veis G., Verrone G. (1996) – Sea Level in Mediterranean: a first step towards separating movements and absolute sea-level variations. *Global and Planetary Change*, 14: 1-48.

2.11 Sites internet

- ARPA Emilie-Romagne : www.arpa.emr.it/ingamb/difesa_costa.htm
- BEACHMED Project: www.beachmed.it
- CENAS Project: <http://cenas.dmsa.unipd.it>
- CPACC (Caribbean Planning for Adaptation to Global Climate Change Project): www.ima-cpacc.gov.tt
- Co.Ri.La.: www.corila.it
- DINAS-COAST Project: www.dinas-coast.net
- EPA (United States Environmental Protection Agency) National Coastal Assessment – Coastal 2000: www.epa.gov/emap/nca/index.html
- European Coastal Association For Science And Technology: www.eurocoast.org/index.html
- European Environmental Agency: www.eea.europa.eu
- EUROSION Project: www.euroSION.org
- GEOIN (IUGS, International Union of Geological Sciences): www.lgt.it/geoin/
- Island Vulnerability: www.islandvulnerability.org/index.html
- LaCoast Project: www.geo.ucl.ac.be/LUCC/research/endorsed/28-lacoast/lacoast.htm
- Regione Marche: www.autoritambientale.regione.marche.it
- Regione Lazio: www.regione.lazio.it/web2/contents/ambiente.php
www.litoralespa.it
- Regione Sardegna: www.regione.sardegna.it/tematiche/ambiente_territorio/
- Regione Sicilia: www.euroinfosicilia.it
- US Climate Institute: www.climate.org
- USGS: <http://marine.usgs.gov>
<http://coastal.er.usgs.gov/coastal-classification/index.html>
<http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/index.html>
<http://landslides.usgs.gov/learnineducation/glossary.php#s;>
<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/cvi>
- Survas Project: www.survas.mdx.ac.uk

3 Partenaire 4, Université de Montpellier 1, CEP/LASER

3.1 Introduction. Évaluation de la politique de gestion du littoral relative à l'érosion et aux inondations côtières en Languedoc-Roussillon

3.1.1 Problématique de l'étude

Le projet BEACHMED-e concerne la gestion stratégique de la défense des littoraux pour le Développement Durable (DD) des zones côtières de la Méditerranée. Il est structuré en 4 composantes, la troisième ayant pour objet d'étudier les interactions entre le développement des territoires littoraux et la protection des zones côtières au travers de 4 mesures (3.1 – 3.4). Le programme de l'Université Montpellier 1 concerne les mesures 3.1 et 3.2 dont les attendus sont respectivement :

- L'évaluation du risque d'inondation des zones côtières et l'élaboration de critères pour identifier les zones à risque (cartographie et indicateurs des zones à risques, inventaires des formes de gestion) ;
- L'évaluation des besoins de coordination des opérations de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) et des coûts et des bénéfices liés à la défense des côtes, de façon à définir un mode de mise en œuvre de l'entretien et de la reconstruction des plages.

Il s'agit donc d'évaluer les politiques publiques relatives à la gestion des inondations et de l'érosion de la zone côtière en vue de fournir des outils d'aide à la mise en œuvre de ces politiques. Ces outils doivent permettre de dépasser la seule dimension de protection des milieux au profit d'une politique relevant des principes de la GIZC².

La proposition initiale de l'Université Montpellier 1 s'articulait autour de 3 axes, à savoir :

- (1) L'évaluation des politiques publiques réalisées dans la Région Languedoc-Roussillon (LR) en matière de lutte contre l'érosion côtière, en mettant l'accent sur la place et la forme des processus et dispositifs de concertation entre les acteurs porteurs d'intérêts ;
- (2) L'élaboration d'une grille d'analyse méthodologique généralisable et opérationnelle, dans une perspective de GIZC ;
- (3) La conception d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs d'évaluation et de suivi des politiques en matière d'érosion et d'inondation des zones côtières.

À l'issue des premières réunions de lancement de l'étude avec le Conseil Général de l'Hérault (CG34) et le bureau d'étude BRLi, un nouveau point (4) a été identifié et ajouté, de façon à s'inscrire dans le prolongement des travaux récents déjà effectués³ et à favoriser les synergies entre les 2 partenaires scientifiques de la mesure 3.2, i.e., BRLi et l'Université Montpellier 1.

² Les termes de référence locaux pour l'étude de l'Université Montpellier 1 étaient les suivants :

- Mise en place d'une méthodologie d'évaluation de la politique mise en œuvre, notamment le volet « *évaluation de la concertation* ». L'exercice passe par un travail de construction d'indicateurs de GIZC, adaptés. Les travaux menés par ailleurs par des équipes des pays partenaires doivent être valorisés ;
- Évaluation des politiques mises en place au regard des indicateurs définis au préalable.

³ Il s'agit essentiellement des études suivantes :

- L'étude « *Les plages du Languedoc-Roussillon un capital à préserver, à quels coûts ?* » (ACT Ouest – SCE Montpellier, 2006) réalisée pour la Mission Interministérielle d'Aménagement de la Région Languedoc-Roussillon (MIAL-LR) ;
- Le mémoire de troisième cycle d'Adeline Fourrier intitulé « *Bilan de l'évaluation des méthodologies et des conditions d'une gouvernance efficace en matière de récupération de la bande côtière* » (Fourrier, 2005) qui effectue une analyse des politiques menées par rapport à la grille d'évaluation du DD dite RST.01³ proposée par le réseau scientifique et technique du ministère de l'équipement ;
- Le mémoire de troisième cycle d'Alexandre Richard sur l'analyse des conditions d'élaboration « *d'outils informatiques pour la gestion du littoral en vue de l'élaboration d'un observatoire* » (Richard, 2005) ;

Cet axe de collaboration a été identifié en continuité du plan « *Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon* » (MIAL-LR, 2003) qui constitue un document de référence des types d'érosion et des enjeux. La réalisation de ce schéma stratégique a donné lieu à l'organisation de nombreux groupes de travail associant un éventail élargi d'acteurs parties prenantes ce qui lui confère une importante légitimité. Les résultats ont ainsi été entérinés par les institutions locales gestionnaires, notamment le CG34. Cette stratégie permet un recensement des besoins et des types de politiques menées ou en cours qui faisait l'objet du deuxième « *Work Package* » (WP2) (Cf. Annexe 1) de notre proposition sur l'état des lieux régional des besoins (i.e., des risques et de la vulnérabilité) et des aménagements. L'évaluation des enjeux a été réalisée à partir d'une cartographie des modes d'occupation du cordon littoral issue de photos satellites. Des ratios monétaires ont ensuite été proposés pour chaque type d'occupation, permettant ainsi une estimation et une hiérarchisation des flux économiques engendrés par les différents types de territoires et de sites.

Néanmoins, dans cette étude, les plages constituent le seul mode d'occupation qui n'ait pas donné lieu à une évaluation monétaire, du fait de l'absence de données de référence. Cette question constitue donc un point important à prendre en compte, et c'est dans cet esprit qu'a été commanditée l'étude ACT Ouest – SCE Montpellier (ACT Ouest – SCE Montpellier, 2006) préalablement citée. Par ailleurs, s'agissant d'identifier en quoi les politiques de gestion de l'érosion s'inscrivent dans les principes des politiques de GIZC, la question du recouvrement ou non des périmètres physiques de gestion, i.e., des cellules sédimentaires, avec à la fois les territoires décisionnels des gestionnaires et les « *zones de concernement* » des populations, constitue un point important à aborder. Cette question offre un prolongement possible des études et des diagnostics et constitue une piste concrète pour organiser les synergies de travail entre l'Université Montpellier 1 et BRLi.

3.1.2 Objectifs de la Phase A

La Phase A du projet correspond aux analyses bibliographiques préalables visant à affiner le positionnement de l'étude, à identifier les outils théoriques pouvant être mobilisés et à préciser la démarche méthodologique en vue d'établir une méthodologie commune aux différents pays (Phase B). Cette première étape recouvre 3 axes de travail : la caractérisation des processus physiques d'érosion ; l'état des lieux régional des besoins et des aménagements ; et, la synthèse des travaux bibliographiques dans le domaine de l'évaluation économique appliquée à l'érosion et concernant la mise en œuvre de la GIZC. Dans un premier temps, une note de lancement a été produite (Juillet 2006), qui a permis de mieux cibler la démarche et d'identifier des références intéressantes en termes de retours d'expériences ou de méthodologies utiles au programme. 3 thématiques ont été identifiées :

- Les mécanismes d'érosion et les politiques de protection et de restauration des plages ;
- Les méthodologies d'évaluation et les indicateurs de DD pour les politiques publiques et les collectivités territoriales ;
- L'évaluation économique des plages.

Une sélection de documents essentiels a ainsi pu être effectuée. L'essentiel des apports concerne la méthodologie. Les recherches ont été plus axées sur la mesure 3.2. La mesure 3.1 élargit le champ de l'approche aux politiques de gestion des inondations mais sera abordée avec les mêmes outils d'évaluation que ceux élaborés dans le cadre de la mesure 3.2.

▪ Le plan « *Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon* » (MIAL-LR, 2003).

3.2 Le processus d'érosion côtière

3.2.1 Les facteurs de l'érosion côtière

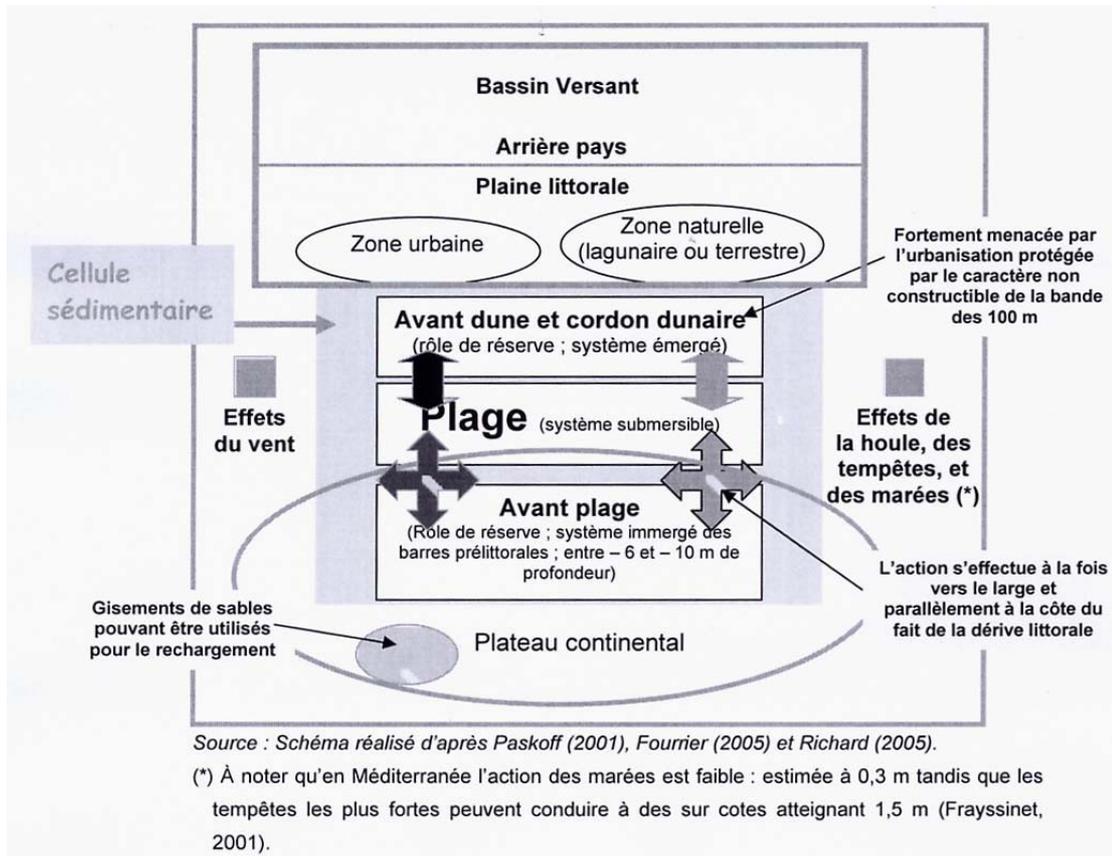
Le processus d'érosion côtière concerne des phénomènes de non stabilisation des plages ou d'effritement, d'écroulement et de recul des falaises et des côtes rocheuses. L'étude que nous menons sur le littoral de la Région LR se limite à l'érosion des plages sableuses. En effet, la partie occidentale du littoral français méditerranéen s'étend sur environ 230 km de côtes sableuses qui forment le Golfe du Lion ; la délimitation se fait à l'Ouest par les cordons sableux construits par les fleuves et à l'Est par le delta du Rhône (Corlay (Coord.), 2001).

Ce processus d'érosion est naturel résultant d'évolutions géologiques à très long terme et de l'action des vents et des marées. Les dunes ont un caractère dynamique comme le rappelle Paskoff (2001) alors que les politiques d'endigement de ces mouvements se multiplient dès le début des années quatre-vingt. Cependant, cette érosion « naturelle » tend à s'accroître et à s'accélérer sous l'influence de divers processus de pression anthropique qui tiennent principalement : (i) aux rétentions de sédiments entraînées par la multiplication des aménagements ; et, plus généralement, (ii) au développement de l'urbanisation, largement plus marqué sur le littoral, et qui empiète souvent sur les cordons dunaires. Ainsi, pour la Région LR, nous avons respectivement : les barrages sur le Rhône qui ont réduit de 90% les apports sédimentaires dans le Golfe du Lion (Frayssinet, 2001) ; et, des stations balnéaires construites à partir des années soixante et soixante-dix ainsi que des activités industrielles au niveau du delta du Rhône.

D'après l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) (AEE, 2006), la progression des surfaces artificialisées serait 30% plus forte sur le littoral qu'à l'intérieur des terres. La bande côtière est par ailleurs à plus long terme fortement exposée à des menaces de « disparition » par submersion du fait des risques de montée du niveau de la mer qui sont envisagés et redoutés pour les prochaines décennies. L'étude intitulée « Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon » (MIAL-LR, 2003) identifie 4 causes au phénomène d'érosion : (i) le changement climatique qui accentue les tempêtes ; (ii) la réduction des apports sédimentaires liée aux barrages ou aux extractions de sables et gravier ; (iii) l'urbanisation ou la sur-fréquentation des cordons dunaires ; et, (iv) l'interruption du transit sédimentaire par les ouvrages portuaires ou les épis.

L'érosion des plages résulte concrètement de l'action conjointe des vents, de la houle, des marées et des tempêtes, mécanismes qui doivent être appréhendés à une échelle plus large que la plage pour intégrer les zones de stockage et déstockage du sable situées en amont (avant dune) ou en aval (partie immergée) de la plage. Nous ne détaillerons pas ici les multiples travaux physiques qui permettent d'appréhender ces phénomènes et leur champ d'action. À titre de synthèse, nous proposons dans la Figure 1 une représentation schématique des interactions entre facteurs intervenants dans le phénomène de l'érosion côtière.

Figure 1 : Représentation simplifiée des interactions entre facteurs intervenant dans l'érosion des plages et découpages spatiaux



La prise en compte de ces multiples interactions conduit à dénoncer les interventions réalisées dans un cadre purement administratif (Paskoff (2001), citant Costa (1997)) et à définir un périmètre de gestion physique dénommé « cellule sédimentaire ». La prise en compte des cellules sédimentaires permet de tenir compte du sens des courants de la dérive littorale liés aux vents dominants et à la configuration du cordon (présence de caps rocheux ou d'ouvrages portuaires créant des zones d'accrétion) et de découper le littoral en compartiments relativement autonomes du point de vue de l'érosion. Une cellule sédimentaire peut donc être définie comme « une cellule homogène du point de vue de la nature des phénomènes naturels de fonctionnement des milieux » (Richard, 2005).

En Région LR, 15 cellules ont été définies sur la base d'études scientifiques des dynamiques sédimentaires. Chaque cellule regroupe plusieurs secteurs ainsi que l'illustre l'exemple du département de l'Hérault (Cf. Tableau 1). Une telle nomenclature emboîtée facilite la spatialisation des approches et l'intégration des données dans un Système d'Information Géographique (SIG).

Tableau 1 : Découpage du littoral héraultais en cellules sédimentaires et secteurs

Région Languedoc-Roussillon (15 cellules sédimentaires)						
Département de l'Hérault (7 cellules sédimentaires)						
Aigues-Mortes	Villeneuve-lès-Maguelone – Frontignan la Peyrade	Coupure de Sète	Lido de Sète – Marseillan	Coupure d'Agde	Hérault Orb	Orb Aude
4 secteurs	5 secteurs		4 secteurs		5 secteurs	3 secteurs

3.2.1.1 Importance du phénomène de l'érosion côtière et enjeux associés

Le phénomène de l'érosion côtière concerne tous les pays littoraux et doit être mis en relation avec la concentration des populations sur les espaces côtiers. À l'échelle européenne, il a donné lieu à un programme spécifique baptisé EUROSION et à des programmes interrégionaux dont relève le projet BEACHMED-e (INTERREG-III-C). D'après les conclusions de l'étude EUROSION (2004), 20 000 km² sont concernés soit 20% des côtes européennes, ce qui correspond à une perte annuelle de 15 km² et à un déficit sédimentaire estimé à 100 millions de tonnes par an.

La bande côtière doit être appréhendée à la fois comme un actif naturel mais aussi comme une ressource au sens où elle est à la base du développement des activités balnéaires et du tourisme qui leur est associé. Par ailleurs, le littoral fait l'objet d'importantes migrations de population. On observe en moyenne une densité de population 2,5 fois plus élevée que la densité moyenne métropolitaine ainsi qu'une importante concentration des capacités d'accueil touristique. Globalement, les enjeux économiques de ces territoires pour l'ensemble des quinze pays européens sont évalués en fonction du capital investi qui est estimé entre 500 et 1000 milliards d'Euros (€) pour la bande des 500 m. D'importants programmes de préservation ou de reconstitution sont mis en œuvre. Toujours à l'échelle européenne et pour l'année 2001, le budget moyen annuel des interventions est estimé à 3,2 milliards d'€. Il s'agit essentiellement des coûts de protection des biens et des personnes qui ne tiennent pas compte des dépenses liées aux coûts de protection des espaces naturels. L'intégration de ceux-ci à l'avenir porte le montant des budgets plutôt autour de 5,4 milliards d'€ en moyenne annuelle sur la période 1990/2020 (EUROSION, 2004).

À l'échelle de la Méditerranée (Benoit et Comeau, 2005), le linéaire côtier représente 46000 km, dont 45% de type sableux, pour une population littorale de 70 millions de personnes dont on estime qu'elle pourrait atteindre 90 millions en 2025. La disparité des données statistiques sur l'ensemble de la zone empêche d'évaluer précisément les niveaux globaux d'artificialisation des côtes. Une estimation a cependant été réalisée en nocturne à partir d'images satellites sur l'étendue des zones éclairées, qui évalue à 40% la part du littoral artificiel pour l'ensemble de la Méditerranée. Les différentiels sont très forts selon les pays allant de 10% pour l'Albanie à quasiment 100% pour Malte ou le Liban, et avec une tendance supérieure pour les zones côtières du pourtour Nord où les taux oscillent entre 60% et 70%. En fonction des prévisions d'accroissement démographique, les scénarios d'évolution estiment à 200 km les surfaces de côtes artificialisées supplémentaires par an (soit 4000 km de plus en 2025).

L'inventaire européen Corine Erosion Côtière permettait d'évaluer en 1987 à 22% la part du linéaire côtier en érosion en Région LR, soit une valeur proche de la moyenne française qui s'établit à 24% (contre, par exemple, 74% pour la Région Nord-Pas de Calais, 55% pour la Région Haute Normandie, 14 % pour la Région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA), et 6% pour la Corse). Néanmoins, ceci recouvre des situations très différenciées entre les départements côtiers, où l'érosion est plus marquée pour les départements du Gard et de l'Hérault (Frayssinet, 2001). Nous rapportons ces données à l'importance du littoral pour les départements côtiers de la Région LR dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Importance du littoral pour les départements régionaux

	Aude	Gard	Hérault	Pyrénées Orientales	Languedoc -Roussillon
km de littoral	51	20	90	69	231
% par rapport à la superficie totale	8,6%	3,5%	11,4%	8,9%	6,6%
Nombre de communes littorales	11	3	26	14	54
Population permanente (RGP, 1999) (hab)	67525	14 625	194 726	70 537	347 413
% par rapport au total de la population permanente	21,8%	2,3%	21,7%	18%	15,1%
Densité de population (hab/km ²)	123	71	272	191	189

Source : Frayssinet (2002).

Les données récentes issues de l'Observatoire du Littoral (IFEN, 2006) permettent de préciser l'ampleur de l'érosion côtière du littoral français qui fait ainsi l'objet d'un suivi : le quart des côtes françaises est concerné soit 1720 km pour les deux tiers constitués de zones sableuses (1150 km). Le Tableau 3 synthétise les kilomètres de côtes touchées par l'érosion côtière selon les caractéristiques régionales pour l'année 2003.

Tableau 3 : Caractéristiques du littoral régional par rapport à l'érosion côtière (Données 2003)

En km	Littoral naturel		Littoral artificiel	
		Stabilité	Erosion	accrétion
Gard	9,3	4,5	23,6	2,9
Hérault	35,4	53,3	31,6	2
Aude	25,2	28,7	8,4	10,2
Pyrénées Orientales	17,7	58,2	12,2	1,9
Région Languedoc-Roussillon	87,6	144,6	75,7	17,1

Source : EUROSION Data Base, Observatoire du Littoral (2006).

En complément et à plus long terme, notons que la comparaison de l'état des plages entre 1945 et 1996 fait apparaître une érosion nette de 260 hectares pour la Région LR (ACT Ouest – SCE Montpellier, 2006).

Une cartographie mettant en relations les types d'érosion et les niveaux d'enjeux par cellule sédimentaire a été établie dans le cadre de l'étude stratégique de l'érosion (MIAL-LR, 2003). Ce travail a permis d'identifier 11 secteurs prioritaires en Région LR (Cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Inventaire des secteurs qualifiés de prioritaire par l'étude stratégique

Gard	Hérault	Pyrénées Orientales
Priorité 1 (7 secteurs)		
Sainte Marie Plage	Valras ; Vias ; Le Grau d'Agde ; Le lido de Sète ; Le lido de Maguelone	Saint Cyprien plage
Priorité 2 (4 secteurs)		
	Lido de l'étang de Pierre Blanche Petit et grand travers/Grau du Roi	Argelès le Racou Port Barcarès / Leucate plage

3.2.2 Les approches scientifiques

La problématique de l'érosion côtière est principalement traitée par les géographes qui s'intéressent au littoral, pour lesquels elle constitue une question scientifique spécifique. Ceci a donné lieu à de nombreux travaux pour appréhender les causes et les conséquences de l'érosion côtière par rapport aux sociétés littorales (Paskoff, 2001).

2 grandes catégories de recherches, respectivement en amont et en aval, peuvent être distinguées selon qu'elles portent sur :

- Les causes du point de vue de la géomorphologie et les « remèdes » au sens des aménagements physiques et des politiques de protection qu'elles suscitent ;
- L'évaluation de la vulnérabilité des territoires à l'érosion côtière et ses conséquences en fonction des types d'occupation du cordon littoral.

Cette distinction recouvre pour partie la partition traditionnelle de la discipline entre géographie physique et humaine.

En sciences économiques, c'est moins le phénomène en lui-même qui est abordé que l'étude des politiques mises en œuvre pour le gérer. La question de l'érosion côtière⁴ ne constitue pas une question spécifique pour cette discipline ; elle est replacée dans la logique du courant « *Économie Écologique* » (« *Ecological Economics* ») comme une des entrées possibles de l'étude des interactions entre les actifs naturels et les sociétés. Elle offre une illustration des externalités entre usages ou activités en montrant les interactions qui existent entre les constructions de barrages en amont des fleuves (permettant de l'agriculture irriguée et/ou de la production d'énergie...) et les processus de d'érosion côtière entraînés par les déficits de sédiments résultant de l'effet des barrages. Ces approches conduisent à considérer les littoraux sableux comme des actifs naturels qu'il convient de protéger, à la fois comme ressources pour le tourisme balnéaire, et comme ressources pour les services environnementaux qu'ils produisent. En effet, les plages et les écosystèmes dunaires sont producteurs d'un grand nombre de services. Certains services relèvent de fonctions naturelles, physiques et biologiques, et sont qualifiés de services écosystémiques au sens où ils participent au fonctionnement et à la conservation des écosystèmes côtiers auxquels ils appartiennent.

3.3 La mesure de la valeur économique des plages

La plupart des diagnostics environnementaux s'accordent à reconnaître la valeur des plages et/ou des cordons dunaires auxquelles elles sont reliées. Ainsi, au-delà de leur caractère paysager, le diagnostic environnemental du Languedoc-Roussillon évoque l'utilité fonctionnelle des formations dunaires pour le maintien du trait de côte puisqu'elles permettent un stockage du sable apporté par les coups de mer, un effet tampon de l'action érosive de la mer, et une protection des plages contre l'érosion éolienne des vents de terre (MIAL-LR et DIREN LR /INEA, 2002). De même, les dunes offrent des habitats à des espèces patrimoniales ou rares, tandis que les plages sont le support de nombreuses activités et usages.

3.3.1 Principes relatifs à la mesure de la valeur des plages

D'un point de vue économique, les plages et les dunes constituent des actifs naturels dont la valeur est complexe à mesurer car les fonctions qu'ils assurent ne donnent pas toutes lieu à des transactions marchandes qui permettent l'expression de prix des biens et services échangés. Or, l'évaluation de leur valeur suppose de prendre en compte l'ensemble des fonctions et des services rendus par ces actifs naturels. Point (2002) identifie plusieurs catégories de services généralement générés par les espaces littoraux liées à leurs fonctions d'épuration, récréatives (valeur de loisir (baignade, promenade, activités nautiques, chasse, pêche, plongée, etc.)), et de fourniture de biens qui interviennent comme facteurs de production (matériaux, énergie, ressources forestières, végétales, animales, etc.)). De nombreuses typologies existent quant à la nature de ces services qui peuvent être marchands ou non marchands. L'ensemble des composantes de la valeur économique permet de définir la valeur économique dite totale d'un actif naturel (Cf. Tableau 5).

⁴ Notons qu'en miroir des problèmes d'érosion côtière, on trouve les problèmes de sédimentation ou de comblement qui résultent aussi de l'action dynamique des substrats sableux.

Tableau 5 : Composantes de la valeur économique totale

Valeur économique totale		
Valeur d'usage (1)		Valeur de non-usage (2)
Valeurs d'usage :	Valeur d'option : usage futur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valeur de legs ▪ Valeur d'existence
<ul style="list-style-type: none"> ▪ direct ▪ indirect 		

(1) La valeur d'usage

Elle rend compte des bénéfices économiques qui peuvent être générés par un écosystème.

L'usage peut être :

❖ **direct** lorsqu'il y a une utilisation économique de l'actif naturel, avec ou sans prélèvement (tels que l'extraction de sable qui induit un prélèvement) ;

❖ **indirect** lorsqu'il s'agit des bénéfices fonctionnels ou de la contribution d'un actif naturel au bon fonctionnement des écosystèmes (e.g., le rôle joué par une zone de nurseries ou l'importance des cordons dunaires pour la nidification dans le cycle de vie de certaines espèces).

Ces usages peuvent aussi être distingués selon qu'ils donnent lieu ou non à une demande marchande et qu'ils relèvent d'un usage immédiat ou futur (valeur d'option).

(2) La valeur de non-usage

Elle rend compte de l'importance accordée à l'existence d'un actif naturel indépendamment de son usage. Elle recouvre à la fois la valeur de préservation de l'actif naturel pour lui-même, et la valeur de préservation pour les générations futures (valeurs de legs).

L'évaluation de ces valeurs, lorsqu'elles sont non marchandes, nécessite des méthodes spécifiques (voir Turner (2000) pour un tableau récapitulatif) qui impliquent le plus souvent d'importantes enquêtes de terrains. Des efforts de constitution de bases de données rassemblant ces valeurs sont actuellement en cours et permettent alors de réaliser des méta-analyses. Celles-ci consistent à transférer les valeurs obtenues à l'issue de ces évaluations : soit dans le temps pour un même écosystème ; soit d'un écosystème à l'autre en fonction de la similarité des caractéristiques et des fonctionnalités des écosystèmes auxquels elles se rapportent (Enjolras *et al.*, 2005). Des évaluations globales ont été produites et servent souvent de référence, telles par exemple celles établies par Costanza *et al.* (1997) pour la valeur des écosystèmes côtiers en fonction de la nature des biotopes. Cette évaluation distingue 16 catégories de biotopes⁵ et 17 services fonctionnels générés par les écosystèmes, mais ne prend pas en compte le biotope correspondant aux plages sableuses. Elle offre une évaluation de l'ensemble des services rendus par les écosystèmes qui est mesurée en Dollars (\$) annuels par hectare. La valeur des zones côtières pour l'Union Européenne (UE) est ainsi évaluée à environ 240 milliards d'€.

La prise en compte de ces éléments permet d'attribuer une valeur aux écosystèmes et par suite aux dégradations qu'ils subissent. Cette valeur est fonction des types d'exploitations (valeur d'usage), de la perception des risques et du caractère patrimonial de l'actif par les acteurs (valeur d'existence), et des services environnementaux retenus en fonction des contextes et des états technologiques des sociétés. Ces évaluations interviennent dans les approches Coût – Bénéfice pour estimer les pertes subies et moduler les investissements et les budgets publics octroyés pour la préservation et/ou la restauration de ces écosystèmes. Bien qu'il soit difficile d'envisager un suivi de ce type de données relevant du calcul économique, ceci peut intervenir de façon périodique dans les indicateurs d'état pour rendre

⁵ Les biotopes côtiers considérés sont les suivants : océan ouvert ; estuaires ; plantes marines algues ; récifs de corail ; plateau continental ; étang de marée ; marécages, plaines inondables ; lacs et fleuves ; forêt tropicale ; forêt tempérée ; prés et prairies ; déserts ; toundra ; glace, roche ; terres cultivables ; zones urbaines.

compte de l'évolution des valeurs économiques attribuées aux écosystèmes.

En sciences économiques, les plages étant considérées comme des actifs naturels, de très nombreux travaux portent sur les relations entre les formes de propriété et l'efficacité des politiques et des outils de gestion qui sont mis en œuvre. Par rapport aux conflits potentiels qui peuvent intervenir en fonction de l'appropriation des ressources, Brennan (1998) nous offre ainsi une typologie de synthèse des perceptions de l'ensemble des parties prenantes. Comme le rappellent Bower et Turner (1998), l'analyse des dégradations des zones côtières s'inscrit dans la logique de l'économie de l'environnement et peut être interprétée comme la conséquence d'un échec du marché ou de l'intervention publique. Le programme de démonstration de l'UE (1999) montre que la plupart des problèmes et conflits rencontrés sur la zone côtière sont imputables à des carences des procédures, de la planification et des institutions. Ces carences sont par exemple des actions sectorielles non coordonnées, des décisions inadéquates et isolées, des systèmes bureaucratiques rigides, un manque de ressources pour les initiatives locales, un manque de connaissance des processus littoraux, ainsi qu'une absence de lien entre la recherche et les utilisateurs finaux. Concernant les défaillances institutionnelles, les travaux en économie de l'environnement tendent à montrer que l'attribution de droits de propriété privés permet la responsabilisation des utilisateurs des ressources et conduit à une gestion plus efficace. La généralisation de ces constats au cas des plages n'est pas strictement évidente. En effet, la propriété privée intervient généralement à une échelle inférieure à la cellule sédimentaire, et incite le plus souvent les propriétaires à effectuer des constructions plus ou moins définitives, avec par exemple les situations de « *cabanisation* » ou de « *paillotes* », dont les exemples Corse ou du Golfe de Beauduc témoignent de leur importance sociologique pour les communautés locales. La prise en compte de ces externalités s'effectue donc soit par :

- L'achat des terrains par le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL) qui a été créé à cet effet ;
- L'intégration des contraintes des politiques de gestion de l'érosion menées à l'échelle des cellules sédimentaires, dans les documents locaux d'urbanisme (Plan Local d'Urbanisme (PLU) et Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT)) ou ceux à plus large échelle de gestion intégrée des territoires, tels que les Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM). Ces outils de gestion s'intègrent dans les schémas régionaux tels que les Schémas Régionaux d'Aménagement et du Développement Durable du Territoire.

Notons à ce propos que certains auteurs préconisent des formes spécifiques d'organisation entre acteurs pour prendre en compte les intérêts collectifs (Falque, 2005) et qu'il conviendrait alors de s'intéresser plutôt aux formes de gestion des biens dits « *biens clubs* », généralement préconisées pour des sites et parcs naturels à accès payant. À ce niveau, l'analyse critique des outils français de gestion des littoraux réalisée par Falque (2005) montre la faiblesse de l'éventail des outils utilisés tandis que dans les autres pays on note au contraire de très multiples formes de solutions et d'outils ; un grand nombre de ces outils relève de formes originales de propriété commune, avec par exemple plus de 1200 conservatoires privés ou associatifs (« *lands trusts* ») aux États-Unis. L'auteur souligne la nécessité de mettre en regard d'une situation « *complexe une diversité et multiplicité des solutions et des outils* », et évoque diverses options qui pourraient être mises en œuvre telles des systèmes de fiscalité adaptée ou des logiques contractuelles de servitudes conventionnelles, financièrement intéressantes et largement utilisées dans les pays anglo-saxons (15% du foncier régit par le « *National Trust* » britannique (Falque, 2005)).

La revue de la littérature a permis d'identifier un certain nombre de travaux permettant d'aller plus loin au niveau des méthodologies d'analyse de la valeur des littoraux et ou des plages (Whitmarsh *et al.*, 1993 ; Daniel et Abkowitz, 2003 ; Fabiano *et al.*, 2004 ; Micallef et Williams ((1) et (2), 2004). Dès 1995, en France le CELRL pose la question des pertes et profits et des comptes du littoral protégé dans le cadre d'un Atelier du Conservatoire (CELRL, 1995) à partir de l'étude de Yellès (1995). Celle-ci n'aborde pas les questions de mesure, mais identifie les enjeux et les problématiques économiques de la protection du littoral, les types de retombées économiques, et propose une analyse des conflits et des acteurs en termes de « gagnants – perdants ». Il apparaît que les questions d'érosion côtière sont, en termes relatifs, assez peu abordées. Cependant, elles peuvent bénéficier de transferts méthodologiques des nombreux travaux portant sur les zones humides, très souvent évoqués notamment les nombreux articles de Turner (Turner, 2000 ; Turner *et al.*, 2003 ; Turner *et al.*, 2004). Ces travaux sont

les plus cités comme cadre méthodologique pour l'identification des composantes de la valeur économique des actifs et les analyses Coût – Bénéfice appliquées à la protection des plages. Plusieurs typologies des effets sont proposées, reprenant la classification de Bower et Turner (1998), qui distinguent :

- Les effets mixtes liés à la défense de la côte lesquels recouvrent : la destruction des constructions et la réduction des pertes foncières concernant l'agriculture et le patrimoine local ; la réduction des effets d'intrusion saline ; la réduction des phénomènes de sédimentation ; la lutte contre les inondations ; et, la restauration des habitats et des possibilités d'activités récréatives ;
- Les effets dit d'accentuation des tendances existantes qui peuvent concerner des activités économiques et/ou des usages en termes d'impact sur leur croissance ou sur les conflits entre acteurs, mais aussi des améliorations de la qualité des eaux ou d'autres éléments d'impacts sur l'environnement ;
- Les effets de préservation des actifs naturels qui ont un impact sur les valeurs résultant des activités récréatives et des valeurs de non usages des actifs naturels, mais aussi sur les activités dépendantes des ressources naturelles telles les impacts sur les habitats qui ont un effet sur la pêche. Shivlani *et al.* (2003) insistent sur les effets de la protection des plages sur la biodiversité en montrant leur rôle pour les mangroves ou récifs qui les jouxtent ainsi que sur l'habitat et la nidification de certaines espèces, dont des reptiles ou des oiseaux menacés ;
- Les effets économiques indirects, les aménagements de protection permettant le développement des zones ainsi protégées.

L'analyse de la demande économique et sociale de protection des plages par la recherche des consentements à payer des usagers effectuée par Polomé *et al.* (2005) fait apparaître de très importants différentiels de fréquentation touristique. Ces différentiels se traduisent par des écarts significatifs de la valeur récréative des plages italiennes selon : les caractéristiques des sites ; les saisons ; les types de dépenses touristiques effectuées ; les contextes par rapport aux politiques de protection (statut quo, érosion ou protection) ; le statut de résidents ou non résidents des acteurs... Au total, la valeur des plages varie entre 5 et 28 € par visiteur, montants qui sont comparables aux résultats observés pour les plages américaines et britanniques (autour de 20 €). Ces auteurs proposent 2 analyses détaillées de la valeur de non usage : (1) dans le cas de la région de Venise dont la lagune, classée au patrimoine mondial de l'UNESCO, reçoit environ 10 millions de visiteurs par an de toutes nationalités ; et, (2) dans le cas d'une aire marine naturelle protégée par une digue et constituant un habitat important pour les oiseaux de mer aux Pays-Bas (site de Normerven). Dans ces cas, des évaluations contingentes ont été menées pour évaluer la valeur des actifs considérés (1000 enquêtes pour la lagune de Venise (dont 75% d'étrangers) et 600 enquêtes pour le site de Normerven). Pour la lagune de Venise, la valeur est comprise entre 4 et 5 € par an et par visiteur (ce qui conduit du fait de la forte fréquentation à un total annuel de 40 millions d'€). Par contre, les résultats de l'analyse de Normerven montrent que la valeur accordée aux actions de protection décroît rapidement en fonction du nombre de sites protégés : la multiplication des infrastructures de défense n'induit donc pas nécessairement une augmentation de la valeur accordée aux bénéficiaires de cette protection. Au total, cette revue des évaluations fait apparaître la faiblesse des évaluations globales de l'ensemble des effets résultants des actions de protection, avec une polarisation autour de la mesure des activités récréatives liées aux plages et une surabondance des travaux anglo-saxons dans ce domaine (États-Unis et Royaume-Uni), ce qui limite l'utilisation de méta-analyses en dehors de ces pays.

De même, l'approche intégrée portant sur le Lido de Dante (Adriatique) en Italie (Lamberti et Zanuttigh, 2005) relève d'une démarche d'analyse Coût – Bénéfice similaire aux travaux que l'on vient d'évoquer concernant la valeur des plages. Les valeurs sont estimées à partir d'évaluations contingentes (600 enquêtes) et les auteurs explorent les possibilités offertes par des méthodologies de transfert de valeur (méta-analyses). Les valeurs obtenues, sensiblement équivalentes aux études déjà citées, permettent de mesurer l'impact des politiques d'aménagement avec une valeur qui passe de 13 € par jour et par personne en situation d'érosion côtière à 27 € dans l'hypothèse d'un statu quo, et à 28 € dans le cas d'une politique de nourrissage. Le rapprochement des coûts de maintenance de ces valeurs montre l'intérêt des politiques de protection dont les coûts représentent seulement un dixième des valeurs économiques des plages.

Toujours concernant l'évaluation des consentements à payer des usagers des plages pour leur nourrissage, l'étude réalisée dans le cas de 3 plages du sud de la Floride (Shivlani *et al.*, 2003) confirme l'existence de différences selon les plages en fonction des types de fréquentation et des sites. Les facteurs fondant la valeur des plages pour leurs usagers sont de 2 ordres, d'importance égale : les possibilités d'activités récréatives ; et, la protection des espèces, notamment la nidification des tortues pour les enquêtés qui connaissent les effets écologiques du maintien des plages (la perception des usagers est étroitement liée à leur connaissance des phénomènes écologiques en jeu).

La valeur des plages intervient dans des analyses Coût – Bénéfice pour évaluer les pertes associées à l'érosion côtière et par là justifier les investissements de protection. Selon Turner (2000), les pertes et les dégradations subies sont fonction de leur nature. On peut distinguer : les pertes sur la santé ; les pertes de rendement de ressources naturelles renouvelables et les pertes d'avantages économiques directement liés aux ressources ; les pertes des possibilités d'utilisation des espaces pour les loisirs ; les pertes des services de l'écosystème ; les pertes de biodiversité ; et, les pertes liées à la valeur d'existence des actifs (valeur esthétique, valeur culturelle ; et, valeur des paysages). Certains travaux insistent sur les questions de distribution des coûts et des bénéfices, les analyses devant identifier qui paye les coûts et qui perçoit les avantages de façon à améliorer le partage à ce niveau (Shivlani *et al.*, 2003). Ces éléments conduisent les auteurs à souligner la nécessité d'encourager les transferts d'une partie du coût sur les usagers.

3.3.2 *Types de données rassemblées dans l'étude ACT Ouest – SCE Montpellier 2006⁶*

L'étude intitulée « *Les plages du Languedoc-Roussillon, un capital à préserver, à quels coûts ?* » (ACT Ouest – SCE Montpellier, 2006) a été réalisée début 2006 pour la MIAL-LR. Elle repose sur des enquêtes réalisées par envoi d'un questionnaire auprès de 25 communes littorales de la région, dont seulement 18 ont répondu. Nous présentons ici un résumé des types de données dont nous disposons à partir de cette étude.

3.3.2.1 *Typologie et caractéristiques des plages*

L'étude distingue 3 types de plages, i.e., urbaine, semi-urbaines et naturelles, ces dernières représentant près de la moitié (51%) de la surface totale occupée par les plages contre 33% pour les plages urbaines et 16% pour les semi-urbaines. Le Tableau 6 présente les plages recensées et analysées par l'étude :

Tableau 6 : Nombre et types de plages étudiées par l'étude ACT Ouest – SCE Montpellier 2006

	Gard	Hérault	Aude	Pyrénées Orientales	Languedoc- Roussillon
Nombre total de plages	7	22	9	11	49
dont plages urbaines	4	10	3	6	23
% de plages urbaines	57%	45%	33%	55%	47%

Source : ACT Ouest – SCE Montpellier (2006).

⁶ Nous ne disposons pour l'instant que d'une version provisoire du rapport final de cette étude.

Les caractéristiques des plages sont recensées par les éléments suivants, en général bien renseignés (hormis quelques communes qui ont fourni des données globales sur l'ensemble des plages) :

- Dimension (km de linéaire et m²)
- Nombre de places de parking
- Nombre de PC sécurité
- Centre nautique, plate forme plagiste
- Équipement sanitaire : WC, douche
- Accès handicapé
- Signalétique, consigne, cabine, club, animation

3.3.2.2 La fréquentation des plages

Ces données essentielles sont difficiles à obtenir. Plusieurs études ont été mobilisées, en plus des réponses souvent très générales et approximatives des communes : au total 30 sites (constitués soit d'une plage, soit de toutes les plages d'une commune) sont appréhendés pour lesquels on dispose d'une moyenne journalière en période estivale (les autres périodes étant très peu renseignées). La fréquentation des plages urbaines est 4 ou 5 fois plus importante que celle des plages naturelles et plus généralement on observe que la fréquentation est liée à l'accessibilité des plages, avec une faible mobilité des touristes qui restent sur les plages à proximité. Les profils des usagers, les heures d'arrivée et les durées de fréquentation (entre 3 et 5 heures) ont été abordés en mobilisant 2 études existantes :

- L'étude URBANIS (URBANIS, 1998) sur la plage de l'Espiguette (commune de Port-Camargue, département du Gard) ;
- L'étude CETE Méditerranée (CETE Méditerranée, 2002) qui permet de mesurer au printemps et en été la part des résidents locaux, des étrangers et des touristes au sein des usagers de la plage.

Les données de fréquentation ramenées à la taille des plages permettent de calculer des ratios de densité d'occupation des plages qui sont comparés aux normes de l'Agence Française de l'Ingénierie Touristique (AFIT) (de l'ordre de 10 m² au minimum par plagiste). Le rapport entre la fréquentation journalière moyenne et les capacités d'accueil touristique des communes permet de distinguer les communes dont les plages captent les touristes de celles qui sont au contraire « émettrices ».

3.3.2.3 L'économie des plages pour les communes

L'impact sur les budgets municipaux est étudié en évaluant les recettes et les dépenses directement liées aux plages. Concernant les recettes, seuls les montants des parkings payants et les redevances des plagistes (nombre de plagistes, soit 208 pour l'ensemble des plages de la Région LR, et montant des redevances par plage ou par commune) sont disponibles. Aucune donnée n'est produite sur les taxes professionnelles, les Chiffres d'Affaires (CA) et les emplois liés aux plagistes.

Les investissements sont recensés et détaillés (soit la nature de l'opération) ainsi que leur coût, d'après les données renseignées directement par les communes (au total 9,2 millions d'€ en 20 ans (valeur 2005)) ainsi que les frais d'entretien annuels de ces aménagements qui s'élèvent à 10,9 millions d'€ sur 10 ans, dont 54% pour les plages urbaines. L'étude recense aussi les dépenses d'entretien courant et les investissements liés à la fréquentation des plages (tracteurs, postes de secours, zodiacs, bennes, cabines sanitaires, etc.) qui atteignent un montant total de 4,9 millions d'€ sur 10 ans (dont 43% de dépenses d'aménagement des sites).

Sur la base de ces données, les budgets de dépenses et de recettes sont reconstitués par commune faisant apparaître pour la quasi totalité des 18 communes étudiées un déficit budgétaire.

3.3.2.4 La valeur marchande des plages

La prise en compte de l'impact des plages dans l'économie communale est appréhendée pour dépasser l'analyse des simples impacts directs sur les budgets des communes. L'étude cherche à ce niveau à mesurer l'ensemble des flux liés au tourisme balnéaire, qui sont affectés en totalité à la valeur des plages. De même, au niveau des recettes budgétaires des communes, l'étude ajoute à ce niveau les montants des taxes de séjours encaissées et la Dotation Globale de Fonctionnement tourisme (DGF tourisme). Au niveau des flux engendrés,

les budgets de consommation touristique puis les CA des activités touristiques sont calculés à partir de ratios généraux par commune selon le nombre de nuitées recensées.

3.4 Les politiques de gestion de l'érosion et des inondations cotières

3.4.1 Les politiques de gestion de l'érosion

Nous pouvons distinguer 2 grandes phases dans la gestion classique du phénomène d'érosion côtière. Soulignons que cette division recouvre en partie une partition plus générale observée pour les politiques environnementales, avec le passage de (i) politiques visant à réguler les effets (certains parlant de symptômes (Larrue, 2000)) et se caractérisant par des mesures cloisonnées à des (ii) politiques portant sur les causes ou sources des dysfonctionnements qui conduisent à reformuler les problématiques pour appréhender l'ensemble des mécanismes dans une logique d'approche en termes de système. Cette deuxième vague de politiques sera à l'origine de l'apparition du concept de gestion intégrée, qui sera abordée dans la section 5.

3.4.1.1 La gestion de l'érosion par des aménagements lourds

À l'origine on observe une première logique de lutte contre l'érosion qui se caractérise par une gestion très localisée du phénomène, qui s'effectue principalement par le recours à des ouvrages lourds de défense (brise-lames parallèles aux côtes, épis perpendiculaires aux côtes, enrochement du haut des plages, etc.). Cette politique va se traduire par la multiplication des épis et ouvrages de protection (de l'ordre de 250 en Région LR). Les effets pervers de ces aménagements vont rapidement apparaître. Ces structures n'interviennent que sur les effets du phénomène plutôt qu'à son éradication, et conduisent ainsi, du fait de la dérive littorale, à un déplacement latéral du phénomène avec un effet domino sur les plages voisines. Par ailleurs, elles induisent des modifications du transit sédimentaire et peuvent générer des transformations importantes sur les milieux. Phillips et Jones (2006) proposent une revue des analyses des méthodes traditionnelles de gestion de l'érosion (par des aménagements lourds dont ils font remonter l'origine à l'année 1887) en montrant, à la suite de Basco (1999) que ce type de gestion relève d'une idée fautive quant aux résultats. La plupart du temps au contraire, on note un accroissement de l'érosion ; dans certaines circonstances et selon plusieurs auteurs (Bullen, 1993 ; Wiegel, 2001 ; Gillie, 1997), ces aménagements peuvent même être à l'origine de l'érosion côtière. L'analyse de Shrivani *et al.* (2005) confirme les impacts négatifs des constructions et des premières mesures d'aménagement.

3.4.1.2 L'évolution vers des méthodes alternatives dites «douces» (soft)

À partir des années quatre-vingt-dix⁷, la gestion va être appréhendée de façon de plus en plus globale et progressivement les logiques de gestion vont évoluer vers des solutions plus adaptatives et diversifiées en fonction des enjeux. Le changement majeur tient à la reconnaissance du caractère à la fois naturel et complexe du phénomène d'érosion qui va conduire à une deuxième génération d'outils d'aménagement, restreignant les infrastructures lourdes aux situations d'urgence et/ou localisées. Ce sont plutôt des techniques dites « douces » ou des choix de recul stratégique qui sont privilégiés. Au total, on peut caractériser les types de politiques menées en fonction de l'importance des enjeux et des modes d'interventions (Cf. Tableau 7), sachant que dans les faits, le plus souvent, les actions menées associent plusieurs types d'outils. Ainsi, dans le cas de la Région LR, 10 grands principes stratégiques ont été retenus qui reconnaissent le caractère naturellement dynamique du littoral

⁷ À la suite notamment en France du rapport Tiphine et Suzanne (Rapport 87-140-2 concernant les travaux de lutte contre l'érosion marine, 1987) demandé à l'occasion des enrochements prévus à Fouesnant (Finistère), qui met l'accent sur la nécessité d'avoir des études globales à une échelle géographique pertinente et de mettre en œuvre une politique de prévention des risques.

et préconisent de choisir les types de gestion en fonction des enjeux et des besoins d'information⁸. Dans sa revue des travaux économiques relatifs à la gestion du littoral, Point (2002) mobilise plusieurs études portant sur les coûts et les bénéfices des politiques de lutte contre l'érosion, et montre « *la supériorité des options de rechargement des plages par rapport aux autres formules y compris la non intervention* » (Point, 2002).

Tableau 7 : Typologie des politiques de lutte contre l'érosion côtière

Niveau des enjeux	Enjeux importants		Enjeux faibles
<i>Logique d'action</i>	Action sur l'érosion : option stabilisation		Action sur les enjeux : option adaptation et recul stratégique
<i>Politique (typologie EUROSION)</i>	Défense lourde	Technique douce	Déplacement ou abandon
	Situation d'urgence	Action à moyen terme (mieux adaptée à des plages dites naturelles)	
<i>Mode d'intervention</i>	Modification du transit sédimentaire en vue de stocker le sable sur place	Restauration en renforcement alimentant le déficit en sédiment (rechargement, « <i>by pass</i> »)	Déplacement des activités ou usages menacés
<i>Efficacité</i>	Effet domino sur les espaces proches	Pas d'impact conjoint ; préservation du milieu	Meilleure solution
<i>Besoin d'espaces privés</i>	Faible	Important	Très important
<i>Coût</i>	Coût d'entretien élevé	Nécessite un suivi et des interventions régulières	Dédommagement intervenant au temps t
<i>Durée d'impact</i>	Non stabilité de l'équilibre nécessitant un renouvellement périodique		Solution définitive

Source : d'après BRL (2003) et EUROSION (2004).

Parmi les méthodes alternatives, Phillips et Jones (2006) évoquent : les brise-lames immergés qui réduisent la force des vagues ; les champs d'épis qui favorisent le dépôt de sédiments ; et surtout, les techniques de nourrissage des plages dont ils proposent de multiples exemples de réussite issus de la littérature, avec notamment la réhabilitation de la plage de Miami qui avait pratiquement disparue dans les années soixante dix décrite par Houston (2002). Cette revue permet de montrer que l'adaptation de la taille des sédiments apportés constitue un facteur de réussite. Ainsi, le cas la plage de Marina di Massa victime de la construction d'un port (Ciapriani *et al.*, 1999) montre l'échec d'un programme de nourrissage (avec un taux de fixation des apports de seulement 33%) effectué à l'initiative de propriétaires privés sans études préalables suffisantes, notamment sur les différentiels de taille entre le sable d'origine et les sédiments apportés. L'étude de Shivlani *et al.* (2005) montre l'évolution des financements des politiques de nourrissage de plages qui atteste du retrait progressif de l'État de ces actions.

La perception des acteurs quant aux types de politiques est appréhendée par plusieurs études effectuées en Italie (Polomé *et al.*, 2005 ; Lamberti et Zanuttigh, 2005). Les résultats tendent à

⁸ (1) Il est naturel que le littoral bouge et il est illusoire de la fixer partout ; (2) le littoral est un système global et les réponses à l'érosion ne peuvent être apportées durablement qu'à l'échelle minimale de la cellule sédimentaire ; (3) il est indispensable de respecter et de restaurer un espace de liberté pour le littoral ; (4) le recul stratégique doit être favorisé car il est la réponse la plus durable à l'érosion ; (5) le recul stratégique et la restauration du fonctionnement naturel sont les seuls modes de gestion envisageables pour les secteurs à dominante naturelle ; (6) La modification du transit doit être réservée aux secteurs à forts enjeux non déplaçables ; (7) La protection des cordons dunaires existants est essentielle ; (8) Les plages et les ouvrages de protection nécessitent un entretien et un suivi qui doivent être pris en compte dès la mise en place du mode de gestion ; (9) La surveillance et le suivi du littoral doivent être renforcés et généralisés ; (10) des études de compréhension et de modélisation du fonctionnement global doivent être lancées.

montrer une préférence pour les interventions composites alliant plusieurs types d'outils (brise-lames immergés, nourrissage, et épis) ou pour les stratégies axées sur le nourrissage. Soulignons que le passage à la GIZC va dans le sens d'un renforcement de l'importance des stratégies composites : la logique des politiques de DD dont relève la GIZC conduit à privilégier des réponses plurielles face à des questions complexes. Dans le cas particulier des politiques de recul stratégique, l'étude de perception du public effectuée par Myatt *et al.* (2003) montre l'importance de la concertation pour faire accepter les politiques de réalignement administré, pour l'instant encore peu utilisées. L'enquête réalisée sur le littoral de Freiston dans le Lincolnshire sur la côte Est anglaise, montre que cette acceptation est d'autant plus importante que le terrain relève du Domaine Public Maritime (DPM) et que les constructions ou activités sur la zone qui sera abandonnée sont anciennes. Le besoin de sensibilisation est grand car la plupart des populations concernées ne sont pas conscientes des risques liés à l'érosion. Outre les économies de coûts de protection, ces politiques ont un effet important sur la réhabilitation d'espaces naturels (70 hectares de marais salants dans le cas de Freiston) qui induit des effets environnementaux non négligeables au niveau de la faune et de la flore ainsi que comme protection contre les inondations pour les espaces en amont de ces zones. Enfin les enquêtes montrent que l'acceptation est bien évidemment fonction des compensations proposées (dont l'estimation est difficile), mais aussi de la confiance des populations dans la structure gestionnaire de ces mesures.

Peu de travaux présentent des synthèses de coûts des différentes techniques. Dans son étude, Fourrier (2005) propose une estimation des coûts par type d'aménagement que l'on peut résumer par le tableau ci après (Tableau 8). L'analyse de Shivilani *et al.* (2005) pour les politiques de nourrissage évoque un ratio de 4 millions de \$ par km.

Tableau 8 : Formes et coût d'intervention en faveur de la protection du littoral

Type	Objet	Action	Coûts en euros HT
Remodelage	Plages	Rétablir un profil régulier	5 €/m ²
Remodelage	Plages	Réduction de la pente de la plage pour limiter les pertes de sable (souvent associé au rechargement)	Enrochement : 4000 €/ml et géotextile : 2000 €/ml
Rechargement	Plages	Augmentation artificielle du volume de sédiments pour élargir la plage	Entre 10 et 20 €/m ²
Réhabilitation	Cordon dunaire	Reconstitution des stocks de sable et réduction des pertes de sédiments en fixant la mobilité des dunes	Ganivelle : 24 €/ml ; Végétation : 1,7 € pièce Para sable : 320 €/ml
Remodelage	Cordon dunaire	Création d'un cordon dunaire	570 €/ml
Remodelage	Cordon dunaire	Création d'ouvrages longitudinaux de haut de plage (murs, digues, perrés)	1000 €/ml
Remodelage	Avant plage immergée	Création d'ouvrage longitudinaux pour stopper le déplacement du sable vers le large (brise-lames plus ou moins haut)	4000 €/ml
Remodelage	Avant plage immergée	Création d'ouvrages transversaux pour stopper le déplacement du sable lié à la dérive littorale (épiss)	1500 €/ml ou 4000 €/ml pour des épiss perméables
Nouveaux procédés			
Réhabilitation	Plages	Drains de plage : absorption d'une partie du déferlement des vagues	1300 €/ml
Remodelage	Avant plage immergée	Brise-lames immergés constitués de boudins de sable	7200 €/ml

Source : Fourrier (2005) ; Légende : ml = mètre linéaire.

3.4.2 Les politiques de gestion des inondations côtières

La problématique de l'inondation côtière, i.e., résultant d'événements météorologiques marins⁹ et concernant la bande côtière, est méthodologiquement semblable à celle de l'érosion côtière, et dans de nombreux cas associée à des phénomènes d'érosion : les tempêtes qui induisent des processus d'érosion peuvent entraîner, en fonction de la topologie des sites, des inondations. Depuis quelques années, ces risques font cependant l'objet d'une attention particulière et spécifique en relation avec la question du changement climatique à laquelle ils sont associés : soit du fait de la progression du nombre et de l'importance des tempêtes qui accroît la fréquence du phénomène ; soit du fait des prévisions d'élévation du niveau de la mer qui menace les zones littorales les plus basses. Ces risques concernent bien évidemment les biens et les personnes qui peuvent être touchés par des submersions côtières, mais ils incluent aussi des risques environnementaux liés aux modifications écologiques que les submersions peuvent entraîner pour les zones naturelles concernées.

Comme pour l'érosion, il s'agit de disposer d'une stratégie globale de gestion de ces risques qui suppose (Rivages de France, 2006) :

- Une meilleure connaissance de l'aléa et des risques, éléments pour lesquels on dispose des cartes de surcôte de Météo France mais qui sont encore largement mal connus. La connaissance doit non seulement porter sur le risque d'aléa mais aussi permettre de mettre en place un dispositif d'alerte des jours à risques et une surveillance des ouvrages de défense contre la mer. L'aléa doit être caractérisé par rapport à des références maximales (crue centennale par exemple) à partir de plusieurs critères : la hauteur de submersion ; la vitesse d'écoulement ; et, la durée de submersion qui est une variable déterminante de l'importance des dommages qui seront subis (Préfecture de la Région Languedoc-Roussillon, 2003). Le croisement de ces critères permet de caractériser des situations d'immersion forte ou modérée ;
- Une meilleure information des populations, souvent peu conscientes des risques encourus, comme en atteste l'enquête réalisée en 2002 auprès des personnes victimes des inondations dans le Gard, qui pour 80% d'entre elles n'étaient pas conscientes du fait qu'elles habitaient dans des zones inondables ;
- Une meilleure prévention au travers des outils d'urbanisme, notamment la généralisation des Plans de Prévention des Risques (PPR) sur le littoral, qui constituent un outil central pour la prévention. Malgré la décision de relancer la mise en place de PPR littoraux par le Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire (CIADT) consacré au littoral en 2000, on ne dénombre en 2005 que 130 communes littorales (dont 44 approuvés et 78 en cours) qui sont concernées par ces dispositifs ;
- Des outils de protection (travaux physiques d'aménagement ou zone d'expansion). Comme pour l'érosion, ces risques de submersions marines doivent être mis en relation avec les enjeux qui caractérisent chacun des sites concernés par des surcôtes. C'est l'arbitrage entre enjeu et coût de protection qui devra orienter les choix en matière de construction d'infrastructures de défense. Dans le cas de la Région PACA, une grille de notation permet de hiérarchiser les risques en 4 classes qui permettent de croiser l'ampleur des risques et des enjeux.

Par analogie avec les travaux menés sur l'érosion côtière, la gestion durable de ces risques suppose une démarche d'ensemble qui à terme devra s'intégrer dans les politiques de GIZC. Les analyses sont centrées sur l'évaluation et la perception de la vulnérabilité des risques côtiers (Meur-Férec *et al.*, 2002 ; 2004). Une grille méthodologique permettant d'évaluer à la fois les aléas et les enjeux concernant la pollution et l'érosion en termes d'indices de vulnérabilité structurés en 5 classes (de 1 à 5) a été produite (et testée sur la commune de Frontignan (Cf. § 5.6)). Elle pourrait être adaptée pour prendre en compte les risques de submersion marine. Plus généralement, d'un point de vue méthodologique, toutes les approches d'évaluation des impacts sur le littoral, par exemple les pollutions par

⁹ Les inondations sont renforcées par la conjonction entre l'aléa de submersion marine et celui de l'inondation fluviale, souvent très importante à proximité des estuaires, ceci d'autant que les vents marins conduisent à freiner l'écoulement des fleuves, et accentuent les inondations dans les zones côtières.

hydrocarbures¹⁰, offrent des possibilités intéressantes de transposition des méthodes d'évaluation économique.

Au niveau de la mise en œuvre de ces politiques, une analyse bibliographique sur la prise en compte de la vulnérabilité à l'inondation des collectivités territoriales a été réalisée par la Direction Régionale de l'Environnement de la Région Languedoc-Roussillon (DIREN LR) (2005), et diverses recommandations générales sur la mise en œuvre des PPR sont proposées, notamment par la DIREN LR (2006) et la Préfecture de la Région Languedoc-Roussillon (2003). Les principes généraux dans lesquels ces PPR (qu'ils soient littoraux relatifs à l'aléa de submersion marine ou qu'ils concernent les inondations des cours d'eau) doivent s'inscrire sont les suivants :

- S'inscrire dans une politique globale de prévention ;
- Agir par tronçon de vallée (ou de littoral) plutôt que par commune ;
- Définir des secteurs d'intervention prioritaire ;
- Développer une démarche de concertation et d'appropriation du risque.

On retrouve les principes d'une approche intégrée qui conduit à une démarche similaire de celle réalisée pour l'érosion côtière au travers de l'étude cadre « *Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon* » (MIAL-LR, 2003) réalisée selon un processus impliquant des groupes de travail, qui a permis de rassembler l'ensemble des informations et points de vue utiles et en favorisant un dialogue avec de nombreux acteurs partie-prenantes. Comme pour l'érosion côtière, l'analyse doit intégrer les éléments physiques liés à l'aléa et notamment sa caractérisation, fort ou modéré, en fonction des critères retenus, et les enjeux qui caractérisent les différentes parties du territoire pour tenir compte de la présence d'habitations, de voies de communication, d'équipements sensibles... La mise en relation de l'aléa et des enjeux conduit alors à identifier des zones rouge ou bleu, et ainsi permettre de prescrire de nouvelles réglementations d'urbanisme, notamment quant à l'identification des zones inconstructibles ou constructibles sous conditions.

Au niveau de la Région LR, une telle étude stratégique est en cours de réalisation, sous la responsabilité du Service Maritime et de Navigation de la Région Languedoc-Roussillon (SMNLR), et devrait être disponible à d'ici la fin de l'année 2006. Cette étude devra permettre notamment d'identifier les secteurs prioritaires à prendre en compte dans les enquêtes qui seront réalisées dans le cadre de notre étude.

3.5 Les nouveaux enjeux et dispositifs liés à la Gestion intégrée de la zone côtière (gizc)

3.5.1 La GIZC : théorie et pratique

La GIZC traduit un changement de paradigme vis-à-vis de l'aménagement des zones côtières. Le concept de Gestion Intégrée (GI) fut utilisée pour la première fois au sujet de la gestion des ressources naturelles en termes de *conception intégrée et coordonnée* reconnue par les Nations-Unies (NU) lors de la Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement (CNUED) en 1972 à Stockholm (ou premier Sommet de la Terre). Portant sur un espace comme la zone côtière, son apparition date des années soixante-dix.

L'institutionnalisation du concept de GIZC au sens de sa diffusion et surtout de sa reconnaissance internationale intervint effectivement à partir de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) (ou deuxième Sommet de la Terre) de Rio de Janeiro en Juin 1992, avec son inclusion dans le Chapitre 17 de l'Agenda 21 et l'article 4-e de la Convention sur les changements climatiques. En conséquence, les Parties gageaient à « *concevoir et à mettre au point des plans appropriés et intégrés pour la gestion des zones côtières* » (repris par Lozachmeur, 2005). D'après Lozachmeur (2005), les phases de cette institutionnalisation à la suite de la CNUED sont successivement : les Conférences

¹⁰ Ces pollutions sont très étudiées quant à la mesure de effets engendrés du fait des enjeux liés aux dédommagements accordés par les compagnies d'assurance.

des Parties à la Convention sur la diversité biologique (décision II-10) (1995, 1998, 2004) ; les Conférences des Parties à la Convention de RAMSAR par rapport aux zones humides (1996, 2002) ; la Convention de Barcelone (1995, entrée en vigueur le 9 Juillet 2004) complétée par l'élaboration d'un Protocole régional de Gestion Intégrée du Littoral (GIL) devant être signé par les États méditerranéens (2003). L'Union Européenne (UE) assimile définitivement ce concept à partir du milieu des années quatre-vingt-dix avec notamment le Programme de Démonstration pour l'Aménagement Intégré des Zones Côtières (AIZC) (1995 ; 1997-2002 ; Belfiore, 2000), une stratégie européenne de GIZC (2000), et des recommandations aux États membres de l'UE pour l'adoption de stratégies nationales (Parlement européen et Conseil de l'Europe, 2002).

La GIZC donne lieu à de multiples définitions (Rolland, 2005). Celles-ci caractérisent : d'une part, sa consécration en tant que mode d'aménagement et de gestion se revendiquant du DD, et en tant que moyen d'interpellation et de mobilisation des individus ; et, d'autre part, sa difficile appropriation par tout un chacun. Plusieurs acronymes sont formulés pour capturer ce concept ce qui illustre cette difficile appropriation, à savoir : la Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC) ; la Gestion Intégrée du Littoral (GIL) ; la Gestion Intégrée du Littoral et des bassins Fluviaux (GILIF) ; l'Aménagement Intégré des Zones Côtières (AIZC). Ces acronymes correspondent à la traduction de l'anglais *Integrated Coastal Management* (ICM) et *Integrated Coastal Zone Management* (ICZM). La GIZC peut tout d'abord être envisagée comme une réaction à d'autres modes de gestion préexistants ; la gestion patrimoniale pourrait de ce fait être assimilée à une des formes de gestion antérieure qui forme le socle de départ de la GIZC (Mermet *et al.*, 2005), ainsi que les « Shoreline Management Plan (SMP) » dans leur application à l'érosion côtière (Brown *et al.*, 2006 ; Hansom *et al.*, 2004).

La GIZC peut être envisagée comme l'utilisation durable de multiples biens et services générés par la zone côtière, i.e., selon les processus, les fonctions et les relations complexes et dynamiques entre les activités et les ressources côtières (Turner, 2000). D'un point de vue théorique et dans une optique de cadrage, nous pouvons retenir principalement pour la GIZC les définitions suivantes, à savoir celles de :

- La Conférence Mondiale du Littoral (CML) (1993) reprise par Point (Point, 2002) : la GIZC est un « *processus continu et évolutif pour atteindre un développement soutenable impliquant une évaluation complète de la fixation des objectifs, du système de planification et de gestion en prenant en compte les dimensions traditionnelles, culturelles et historiques ainsi que les intérêts et usages conflictuels* » ;
- Cicin-Sain et Knecht (Cicin-Sain et Knecht, 1998) reprise par la Commission Océanographique Intergouvernementale (COI)-UNESCO (COI-UNESCO, 2001) : la GIZC est « *un processus dynamique qui réunit gouvernements et société, sciences et décideurs, intérêts publics et privés en vue de la protection et du développement des systèmes et ressources côtières. Ce processus vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leurs usages raisonnés et raisonnables* » ;
- Prieur (Prieur, 1999) reprise par Lozachmeur (Lozachmeur, 2005) : « *On entend par GI, l'aménagement et l'utilisation durable des zones côtières prenant en considération le développement économique et social lié à la présence de la mer tout en sauvegardant pour les générations présentes et futures les équilibres biologiques et écologiques fragiles de la zone côtière et les paysages [...]. La mise en place d'une GIZC exige la création d'instruments institutionnels et normatifs assurant une participation des acteurs et la coordination des objectifs, des politiques et des actions, à la fois sur le plan territorial et décisionnel et impose de traiter les problèmes non pas au coup par coup mais de façon globale et en tenant compte de l'interaction entre tous les éléments qui composent l'environnement* ».

La définition de la CML (1993) suit l'esprit de la CNUED (1992) en se référant notamment explicitement au développement soutenable¹¹ ou durable. La définition de Cicin-Sain et Knecht (Cicin-Sain et Knecht, 1998) s'inscrit dans le même ordre d'idées selon lequel un processus de GIZC est un processus itératif fédérant l'ensemble des acteurs porteurs d'intérêt (acteurs privés comme les citoyens, les personnes morales, et les acteurs publics comme l'État, les

¹¹ Traduction littérale de l'anglais « sustainable » évoqué dans le rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement dit rapport « Brundland' » (WCED, 1987).

gouvernements locaux, les scientifiques, etc.) pour la recherche de l'intérêt général ou du bien commun afin d'obtenir un optimum social. Cette recherche passe par la définition d'équilibres et d'arbitrages dans une perspective de durabilité. La définition de Prieur (Prieur, 1999) introduit quant à elle une dimension supplémentaire en étant en partie centrée sur la manière dont la GIZC doit être mise en place avec la référence à la « *création d'instruments institutionnels et normatifs* ». Les 2 premières définitions se réfèrent ainsi à la mise en place d'un processus de GIZC sous la forme d'un plan de gestion global en plusieurs phases et/ou étapes en réponse à une situation de « *crise* », et donnant lieu à une institutionnalisation finale de ce plan. A contrario, la dernière définition souligne l'importance des instruments de gestion pour la réalisation d'un plan de gestion de GIZC, suggérant que l'institutionnalisation des instruments constitue le point de départ de l'analyse.

Si nous nous arrêtons à présent sur la notion d'intégration, nous pouvons préciser que le caractère multidimensionnel de l'intégration porte sur (Clark, 1997 ; DATAR, 2004 ; Lozachmeur, 2005) :

- L'intégration « *spatiale* » pour la définition d'unités cohérentes de gestion ;
- L'intégration « *temporelle* » ou « *dans le temps* », avec la recherche de cohérence des objectifs de court terme, de moyen terme et de long terme par rapport au DD ;
- L'intégration « *environnementale* » dans tous les projets de gestion ;
- L'intégration *sectorielle* avec l'encadrement des approches sectorielles classiques par une approche globale et systémique ;
- L'intégration *administrative*, i.e., *verticale* avec les outils d'aménagement du territoire par rapport à des objectifs locaux (équilibres des écosystèmes et équilibres socio-économiques ; projets de territoires), régionaux (plans stratégiques), nationaux (grandes orientations, politiques sectorielles), communautaires (recommandations, stratégie), internationaux (conventions, accords) de même que sur le continuum *Terre-Mer*, et *horizontale* soit interministérielle, interrégionale et intercommunale.

La notion d'intégration est particulièrement commode grâce à son acception plurielle (Cazes, 1999). Par ailleurs, la gestion ou politique *intégrée* renvoie à un besoin de gestion cohérente, avec 4 axes qui doivent être traités, i.e., un territoire, un contexte écologique, un contexte économique, et un contexte socio-politique. Il faut de ce fait tendre vers une gestion cohérente d'espaces définis en fonction des problèmes à traiter (Bodiguel, 1997).

À l'issue de divers programmes expérimentaux et groupes d'experts, des cadres et guides méthodologiques ont été établis pour formaliser les principes de mise en œuvre de la GIZC à différentes échelles internationales (OCDE, 1993 ; UE, 1999 et 2002 ; COI – UNESCO, 1997 et 2001 ; UICN, 2004), nationales (DATAR, 2004) ou régionales (CESR de Bretagne, 2004 ; PNUE, 2003 pour la Méditerranée). D'un point de vue opérationnel, le rapport de la Commission Environnement Littoral (CEL) (2002) met en avant la nécessité d'aborder l'ensemble du processus de décision en respectant les principes de « *démocratie participative incluant tous les acteurs d'un bout à l'autre du processus* ». La DATAR (2004) propose quant à elle « *d'articuler une approche classique de planification spatiale avec une approche de gestion centrée sur la régulation des usages dans une logique de proximité et en s'appuyant sur une définition concertée de charte de territoire* ».

3.5.2 La politique littorale française en faveur de la GIZC

Les politiques publiques françaises menées sur le littoral reposent sur plusieurs principes mis en œuvre depuis une trentaine d'années, i.e. (DATAR, 2004) :

- La volonté d'une maîtrise de l'urbanisation par une gestion économe de l'espace (directive nationale d'aménagement du littoral, 1979 ; loi Littoral, 1986) ;
- La politique d'acquisition foncière par le biais du CELRL ;
- Le développement d'instruments économiques comme la taxe départementale sur les espaces naturels sensibles pour la gestion de milieux naturels ;
- L'accès au rivage avec la création des servitudes longitudinales (1976) et transversales (1986) ;
- L'encadrement de l'occupation du DPM par le régime des concessions et des Autorisations d'Occupation Temporaire (AOT) ;

- L'incitation à une planification globale de l'espace (loi Solidarité et Renouveau Urbain (SRU) (2000) par l'intermédiaire des Schémas de Cohérence Territoriaux (SCoTs) et des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU).

Des constats récents (CEL, 2002 ; Le Guen et Deprez, 2004 ; DATAR, 2004) ont montré que les approches de gestion sont restées trop sectorielles, de même que contraintes par les découpages administratifs, et n'ont pas permis le rapprochement des visions terrestre et maritime. Ainsi, la superposition d'outils de gestion et de planification avait jusqu'à maintenant témoigné de 2 logiques, à savoir :

- des outils directement pilotés par l'État, i.e., les Directives Territoriales d'Aménagement (DTA) et les Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) opposables aux prescriptions locales d'urbanisme ;
- des outils coordonnés par les collectivités territoriales (DATAR, 2004)

L'absence de stratégies de long terme ainsi que l'éparpillement des responsabilités posent le problème de pilotage de la politique du littoral. Pour une politique nationale de GIZC, l'État doit à présent élaborer des projets pour le littoral afin (DATAR, 2004) : de garantir un environnement littoral de qualité ; d'accompagner la croissance démographique et de limiter la pression sur le foncier ; de développer des économies diversifiées, adaptées aux besoins des populations et aux spécificités du littoral ; et, de promouvoir l'identité du littoral. L'État doit donc coordonner cette politique nationale, contrôler la mise en oeuvre des objectifs et agir en tant que garant et régulateur. En outre, il doit prendre en compte la diversité des littoraux français par des projets de territoires négociés par tous les acteurs. Plusieurs rapports matérialisent cette évolution et cette sensibilité nouvelle pour une meilleure intégration des décisions et des actions (CEL, 2002 ; Le Guen et Deprez, 2004 ; DATAR, 2004 ; Gélard et Alduy, 2004 ; CESR, 2004).

Suite à la prise de conscience des implications d'une GIZC et à l'impulsion récente donnée par l'UE avec les recommandations aux États membres pour l'adoption de stratégies nationales (Parlement européen et Conseil de l'Europe, 2002 ; DIACT et SGMer, 2006), la volonté d'inscrire les politiques publiques du littoral dans cette perspective s'est matérialisée par plusieurs évolutions législatives et réglementaires (Lozachmeur, 2005). Le CIADT du 9 Juillet 2001 a ainsi été le premier lieu de référence d'une GIZC au niveau national (DIACT et SGMer, 2006) et a promu les logiques de projets et de partenariats qui dépassent les politiques fondées sur les réglementations. De surcroît, un alinéa relatif à la GIZC a été ajouté à l'article L322-1 du Code de l'Environnement. En Février 2004, l'État a finalement adopté un « *nouveau cadre pour le politique du littoral, fondé sur une approche de GIZC qui vise à compléter l'approche incitative et réglementaire pilotée par l'État par une approche partenariale et contractuelle associant largement les acteurs concernés et privilégiant les projets locaux intégrés* » (DATAR, 2004 ; Lozachmeur, 2005) ; la logique est celle « *d'un territoire, un projet, un contrat* ». Dans une optique opérationnelle, le CIADT du 14 Septembre 2004, en lien avec les Comités Interministériels de la Mer (CIMer) (2003, 2004), a lancé l'appel à projets pour un développement équilibré des territoires littoraux par une GIZC. Cet appel à projets est désormais effectif avec 25 projets en cours donnant lieu à des expérimentations et à des transferts de bonnes pratiques. Enfin, la loi du 23 Janvier 2005 sur le développement des territoires ruraux a créé le Conseil National Littoral (CNL) dont le cadre d'action est explicitement celui de la GIZC.

La stratégie française de GIZC définie est une stratégie à 3 niveaux, i.e., national, régional et local, en développant à chaque niveau de gouvernance une vision cohérente pour la coordination des perceptions et des attentes des acteurs ainsi que de leurs actions. Le processus engagé est celui de la territorialisation (DIACT et SGMer, 2006). La gouvernance associe tous les acteurs à tous les niveaux. Le principe est qu'il faut « *penser intégré, agir sectoriellement* » avec des diagnostics partagés, des plans d'actions définis en commun, des structures de coordination tant au niveau de la décision qu'à celui des actions, et une représentation adaptée des acteurs à chacun des niveaux de gouvernance. Néanmoins, la Direction Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT) et le Secrétariat Général de la Mer (SGMer) (DIACT et SGMer, 2006) soulignent que la culture de la gouvernance implique une pédagogie peu familière à la tradition administrative et centralisée française. Ces évolutions s'inscrivent dans la généralisation de la logique

contractuelle qui dépasse le domaine du littoral et qui se concrétise par le changement récent¹² proposé par le CIADT du 6 Mars 2006 quant au mode de partenariat en matière d'aménagement du territoire ; l'évolution terminologique est emblématique avec le passage de Contrats de Plan État Régions à des Contrats de Projets État Région¹³, le sigle CPER restant le même (DIACT, 2006).

3.5.3 Logiques et méthodologies d'évaluation des politiques de GIZC

Autant on trouve d'assez nombreuses références sur l'élaboration et la mise en œuvre de la GIZC, autant il existe peu d'évaluations économiques des bénéfices résultant des politiques de GIZC. L'inventaire des effets de la GIZC réalisé à l'échelle européenne (Firn Crichton Roberts Ltd et Strathclyde University, 2000) permet d'identifier de nombreux bénéfices, parfois difficiles à estimer. Il s'agit, par ordre décroissant de fréquence, des points suivants : une planification spatiale cohérente ; une prise de décision améliorée ; de meilleurs rapports avec les partenaires ; d'accords sur les priorités ; de sentiments communautaires renforcés ; de réductions des coûts de transport ; d'améliorations de la qualité de vie ; de réductions des pollutions ; une plus grande viabilité des pêcheries ; une plus grande viabilité touristique ; de restaurations des pertes d'habitat ; de réductions des inondations et de l'érosion côtière ; de risques environnementaux réduits ; de sensibilités publiques renforcées ; d'initiatives scolaires et éducatives ; et, d'améliorations du paysage.

Les démarches d'évaluation de la GIZC peuvent être catégorisées en : des analyses quantitatives relevant d'une logique Coût – Bénéfice ; des évaluations de politiques plutôt centrées sur les réalisations et les effets produits par rapport aux objectifs. Le plus souvent, les travaux relèvent d'une logique de construction d'indicateurs de suivi-évaluation des politiques de GIZC.

3.5.3.1 Logique d'évaluation Coût – Bénéfice

Jusqu'à récemment, l'évaluation de la GIZC était le plus souvent limitée aux effets sur l'environnement et à la réduction des conflits. Bowen et Riley (2003) insistent sur « *la réduction des conflits, des pollutions, des problèmes de surexploitation des ressources, de qualité de l'eau, des habitats, d'érosion ou de sédimentation, d'intrusion saline, d'introduction d'espèces exotiques* » pour qualifier les bénéfices de la GIZC. Ils proposent un cadre général très opérationnel du système de management et des interactions entre facteurs au sein de la GIZC, que l'on retrouve aussi dans Turner (2000).

Une évaluation des coûts et des bénéfices socio-économiques de la GIZC a été réalisée dans le cadre du Programme de Démonstration pour l'AIZC de 1997 à 2002 (Firn Crichton Roberts Ltd et Strathclyde University, 2000). Il est cependant difficile d'en déduire des estimations locales pour des territoires spécifiques. Cette étude propose une classification des secteurs d'activités présents dans les zones côtières et des éléments qui constituent des menaces pour l'environnement, parmi lesquels¹⁴, on trouve, en 4^e position, l'érosion côtière. L'étude évalue les coûts d'intervention liés à la GIZC d'une part et les bénéfices issus des projets de GIZC de façon à faire apparaître des bénéfices nets. Ceux-ci sont évalués pour les 15 pays de l'UE en 2000 entre 127 millions d'€ (hypothèse basse) et 660 millions d'€ (hypothèse haute), soit une moyenne par pays qui s'établit entre 10 et 50 millions d'€. Ce type d'approche est aussi réalisé à l'échelle d'une zone particulière. Par exemple, l'analyse Coût – Bénéfice des impacts économiques (activités portuaires, transports maritimes, pêches marines, tourisme,

¹² Ce changement répond aux carences des programmations passées, à savoir : la multiplication des interventions qui conduit à une dilution des priorités, les retards d'exécution (de l'ordre de 18 mois) et le manque de pilotage et de lisibilité pour les citoyens (DIACT, 2006).

¹³ Les objectifs thématiques prioritaires de ces nouveaux contrats sont : (i) la compétitivité et l'attractivité des territoires ; (ii) le développement durable et la préservation de l'environnement et enfin (iii) la cohésion sociale et territoriale.

¹⁴ L'étude considère les problèmes suivants (classés par ordre d'importance décroissante selon les réponses à l'enquête effectuée auprès des projets de démonstration) : tourisme et loisirs ; pollution des eaux ; perte d'habitat ; expansion urbaine ; espèces en voie de disparition ; sur-pêche ; extraction des minerais ; mouvement des sédiments ; oiseaux migrateurs menacés ; croissance démographique ; congestion des transports ; manque d'eau ; pollution de l'air.

immobilier) et environnementaux (dragages et coûts de protection contre l'érosion côtière (nourrissement et retrait)) de la GIZC a été effectuée pour la zone de Xiamen dans le Sud Est de la Chine à partir de la grille d'analyse proposée par Bower et Tuner (Peng *et al.*, 2006). Dans le cas de Xiamen, les avantages reposent sur une régression : des pollutions ; des prélèvements de sables et de sédiments qui limitent le phénomène d'érosion ; de l'utilisation des ressources naturelles et des compétitions entre usages de ces ressources notamment par des mesures de zonage entre activités. Ces avantages vont permettre une relance de l'activité du port. Au total, la mise en œuvre de la GIZC nécessite des investissements très importants mais permet une réduction des externalités environnementales et une augmentation très significatives de la croissance des secteurs maritimes (de l'ordre de 49%). Cependant, l'étude est axée sur les avantages marchands et les effets sur l'érosion côtière ne peuvent être individualisés. Ceux-ci sont par ailleurs abordés de façon très simplifiée en se limitant aux différentiels de coûts de protection du fait des réductions des prélèvements de sédiments qui résultent de la GIZC.

Dans une autre logique, l'étude réalisée par Gordon *et al.* (1998) tente de mesurer le poids des facteurs déterminants des politiques de gestion en faveur de la protection des plages et des dunes à partir d'une étude économétrique des situations observées dans 24 États côtiers des États-Unis, et pour 6 grandes stratégies de gestion recoupant au total 26 types d'outils. Les hypothèses de départ relatives à l'importance des ressources financières disponibles, au poids économique des industries, au dynamisme de la participation des citoyens aux associations environnementales et aux capacités institutionnelles, sont vérifiées par les tests de corrélation. Néanmoins, ceux-ci font apparaître aussi l'importance de corrélations *a priori* plus inattendues, telle par exemple le plus grand développement des programmes de gestion côtière dans les zones ayant des faibles niveaux de revenu ou des dépenses publiques environnementales moindres. Les auteurs proposent de mettre ces résultats en relation avec les niveaux d'équipement et de subventions pour accroître le caractère explicatif de leur analyse. Au total, la participation des citoyens aux associations environnementales est le facteur, parmi ceux étudiés, qui a le plus d'influence sur le niveau des programmes de gestion côtière.

3.5.3.2 Logique d'élaboration d'indicateurs de suivi-évaluation

L'évaluation des politiques de GIZC est le plus souvent pensée en se référant à un schéma classique de mise en œuvre de politique structurée comme une succession d'étapes. Ainsi, le schéma de guide d'action proposé pour la GIZC par Bowen et Riley (2003) est très représentatif. Il distingue 4 phases : (i) l'identification des problèmes ; (ii) l'analyse et la programmation des actions en parallèle de l'évaluation des stratégies de gestion ; (iii) la définition d'un document cadre détaillé ; (iv) et enfin, la mise en œuvre. Cependant, l'évaluation de la GIZC doit permettre d'appréhender les résultats par rapport aux 2 principes clés qui la caractérisent, à savoir les notions d'intégration et de concertation, ce qui nécessite de mettre l'accent sur l'analyse des dispositifs de gouvernance de la GIZC. Récemment, quelques grilles d'évaluation de la GIZC ou d'élaboration d'indicateurs de DD pour le littoral (CEL, 2002 ; PNUE, 2002 ; Ehler, 2003 ; Billé, 2004 ; Pickaver *et al.*, 2004) proposent une assez grande diversité d'indicateurs. La mesure de la performance que propose Ehler (2003) s'appuie sur une approche en termes de cycle de la politique très classique, où l'évaluation est surtout centrée sur les effets et les résultats. L'auteur reprend les 4 types classiques d'indicateurs de performance : (i) d'*input* concernant les ressources utilisées, i.e., financières et humaines, et (ii) d'*output* relatifs aux réalisations et aux produits obtenus ; (iii) de processus, relatifs à la dynamique interne de la politique ; et enfin, (iv) de résultats produits par la politique (« *outcome* »). D'autres listes de référence d'indicateurs pour les politiques de GIZC sont proposées par divers auteurs, telles que le guide méthodologique UNESCO (2006) qui fournit 15 indicateurs majeurs et 9 complémentaires ou les travaux de Gallagher *et al.* (2004) qui proposent 23 indicateurs. Soulignons cependant que tous ces travaux proposent peu d'indicateurs directement mesurables, mais plutôt des thèmes à aborder qui sont le plus souvent centrés sur la phase de diagnostic, sans faire réellement le lien avec les types de dispositifs et de processus de mise en œuvre de la GIZC.

L'analyse des progrès accomplis en matière d'intégration au sein des politiques de GIZC, proposée par Billé (2004) et Hénocque et Billé (2005) permet d'appréhender l'évaluation de la GIZC en tenant compte des aspects relatifs au caractère intégré et à la gouvernance. On

retrouve dans cette approche les étapes classiques des politiques (préparation, montage, et mise en œuvre), avec cependant la notion de processus qui est mise en avant. L'inventaire des points forts, i.e., la définition des objectifs et des enjeux, la participation des acteurs, utilisation des outils, la constitution et la diffusion de bases de connaissance, le suivi-évaluation et les mécanismes d'adaptation prospectifs, témoigne d'une structuration plus fonctionnelle et met l'accent sur les questions de gouvernance. Évoquée lors de la réunion des projets expérimentaux français, organisée en Mars 2006 par la DIACT (ex-DATAR), la question de l'articulation des outils au sein de la GIZC s'avère cruciale. Bien que pour partie facilitée par la convergence de la plupart des textes réglementaires, les difficultés persistent de fait au niveau de la mise en œuvre, en raison de la superposition des mesures et de l'absence de structure locale pouvant réellement assurer une action de coordination. « *La gestion intégrée doit être appréhendée avant tout comme une intégration de politiques locales* » (Hardy, 2006) avec cependant l'existence de moments clés propices à des réaménagements globaux. Hénocque et Billé (2005) montrent une tendance à la polarisation des démarches de GIZC autour d'instruments d'intégration emblématiques tels les contrats de baie, les Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM), les Parcs Marins, etc. Les SCoTs ont de cette façon été évoqués lors de la réunion de la DIACT comme un des outils phares en matière d'appui à la GIZC. Ils constituent des outils de maîtrise des facteurs de pression comme l'illustre l'analyse réalisée en Région PACA (Jourdan, 2003) et donnent lieu à l'élaboration de plusieurs grilles visant à en rationaliser le suivi (DIREN LR / CETE Méditerranée, 2005).

Les recommandations de la CEL (2002) sur la mise en œuvre des politiques de GIZC précisent de façon explicite les objectifs attendus dans le domaine de la gouvernance. Il est fait mention de la nécessité d'avoir « *dès le départ la structuration d'un groupe porteur reconnu par tous et qui ait les capacités nécessaires de coordination et d'intégration* », « *des synthèses de connaissances accessibles à tous et qui puissent être enrichies dans le temps* », « *des problématiques définies collectivement sous l'impulsion d'une cellule de coordination suffisamment représentative* », « *un suivi évaluation définit comme un processus d'apprentissage pour améliorer la prise de décision au cours du temps plutôt que comme un contrôle a posteriori* ». Les auteurs proposent en outre que l'évaluation distingue des résultats intermédiaires tels que la création de conditions favorables, le changement de comportement, les bénéfices produits et les résultats finaux qui concernent l'équilibre dynamique entre les composantes du DD.

3.5.4 GIZC et politiques d'intervention pour l'érosion côtière

L'élaboration et la mise en œuvre des politiques de gestion de l'érosion côtière ont évolué sous l'influence de la généralisation des approches se réclamant de la GIZC. Parmi les travaux traitant de la GIZC (OCDE (1), 1993 ; UE, 1999 et 2002 ; COI – UNESCO, 1997 et 2001 ; Dauvin 2002 ; PNUE, 2003 ; UICN, 2004 ; DATAR, 2004 ; CESR Bretagne, 2004) peu nombreux sont ceux qui abordent explicitement et de façon détaillée la question de l'érosion. Les approches ont une portée plus générales traitant de la gestion des pressions et des types de réponses pouvant être apportées par les politiques publiques selon une logique Pressions – États – Réponses (« Pressure, State, Response »), issue des cadres de référence internationaux pour l'étude des relations Nature/société (OCDE (2), 1993). La question de l'érosion côtière, lorsqu'elle est évoquée, intervient surtout au niveau des constats quant aux dégradations observées. Par contre, la quasi totalité des travaux récents sur les politiques de gestion de l'érosion côtière (et des risques de submersion marines) évoquent l'intérêt des politiques de GIZC dont ils se réclament pour prôner une évolution des approches de la gestion de l'érosion. Plusieurs entrées ou enjeux sont privilégiés selon les cas.

3.5.4.1 La mise en œuvre de la GIZC dans une logique d'anticipation des effets du changement climatique

En prélude aux politiques de GIZC, et dans le cas particulier de la gestion du changement climatique, la notion de « Shoreline Management Plan (SMP) » se développe au Royaume-Uni en mettant l'accent sur le caractère global et interactif de l'érosion côtière (Hansom *et al.*, 2004 ; Brown *et al.*, 2006). Il s'agit de dispositifs globaux d'aménagement qui sont pour partie

proches des principes de la GIZC et dont ils peuvent être, pour certains, des précurseurs. Ils ont pour ambition d'aborder la question de l'érosion à grande échelle de façon à pouvoir identifier les cellules sédimentaires pertinentes. On retrouve le même esprit dans le plan « *Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon* » initié par la MIAL-LR (MIAL-LR, 2003). Dans certains cas, ces plans s'accompagnent d'une modélisation des processus de fonctionnement de écosystèmes côtiers de façon à étudier les phénomènes d'érosion sur le long terme et à effectuer des simulations pour rendre compte des risques liés au changement climatique. Les modélisations sont structurées de façon à étudier les réponses des écosystèmes côtiers aux effets du changement climatique, considérés comme des chocs externes de grande échelle. Ce type d'approche et d'enjeu conduit à des modes de consultation plus diversifiés et à un élargissement des parties prenantes, tout en permettant des actions de sensibilisation aux effets du changement climatique. Le couplage avec des SIG offre une visualisation des phénomènes en deux ou trois dimensions et constitue un outil pédagogique pour des actions de sensibilisation. L'élaboration des SMP nécessite des phases de consultation des populations à chaque étape, notamment pour définir des unités de gestion pertinentes en fonction des cellules sédimentaires, pour obtenir la coordination des interventions des gestionnaires, et pour déterminer des stratégies communes à ces mêmes échelles. Il s'agit donc d'un schéma stratégique cadre, en amont de l'action qui permet d'identifier les lacunes en matière d'information et d'identifier les études d'accompagnement et les moyens de surveillance à mettre en place. Adaptatif, il est actualisé périodiquement (tous les 5 ans). Dans le même esprit, s'articulant avec les SMP mais plus ciblés, on trouve aussi les « Coastal Habitat Management Plans » centrés sur les questions de changement des habitats et les mesures à recommander pour y pallier. L'application des SMP au cas particulier du Pays de Galles, montre les limites de l'exercice, notamment la difficulté d'assurer la cohérence entre les objectifs et les caractéristiques des cellules sédimentaires. En conclusion, Hansom *et al.* (2004) insistent sur les apports des SMP qu'ils présentent comme une étape vers la GIZC dans une logique pouvant dépasser la question de l'érosion côtière.

3.5.4.2 La mise en œuvre de la GIZC en vue de concilier tourisme et protection

Phillips et Jones (2006) étudient les avantages de la GIZC pour aborder les interactions entre tourisme et érosion côtière. En effet, les plages sont le vecteur essentiel du tourisme qui est l'activité la plus importante en termes d'emploi et de devises pour les États-Unis. L'enjeu est donc de permettre la conservation des plages tout en maintenant l'activité touristique, enjeu qui sera d'autant plus essentiel que les risques liés au changement climatique (croissance des tempêtes et du niveau de la mer) induisent des perspectives très inquiétantes pour les plages. L'exemple qui est détaillé par Phillips et Jones (2006) concerne un programme de nourrissage des plages associé à des brise-lames immergés qui a été réalisé au Royaume-Uni sur le site de Grower dans le Sud du Pays de Galles. Les auteurs mobilisent plusieurs articles pour identifier l'intérêt de la GIZC. Celle-ci permet d'associer des points de vue relevant des domaines de la technologie, de l'économie, financier et institutionnel... Elle doit en effet répondre à plusieurs constats d'insuffisance relative à la faiblesse : des politiques de gestion côtière soulignée par Granja (2001) à propos du Portugal ; de l'implication des chercheurs des sciences de l'environnement évoquée par Hall (1997) ; et, de la gestion des conflits (Misdorp et Baarse, 2001). De même, pour Granja et Carvalho (2000) qui s'appuient sur l'exemple de la Nouvelle Orléans, seule une politique globale de GIZC peut justifier le recours à des stratégies de gestion par une logique de retrait en montrant le caractère non durable des efforts de lutte contre l'érosion, et en mettant en œuvre des politiques adaptées d'information et d'accompagnement. Plus généralement, la GIZC offre un cadre adéquat pour appréhender les interactions entre activités, et pour améliorer les processus de décision en fonction d'arbitrages entre points de vue et/ou entre activités dans une logique de capacité de charge des milieux. Elle permet aussi d'identifier les effets positifs des mesures de protection sur l'attractivité des zones et plus généralement les effets d'incitation en faveur de stratégies collectives « gagnant – gagnant » entre activités et entre domaines.

3.5.4.3 La mise en œuvre de la GIZC axée sur la synergie des méthodologies en vue d'appréhender les interactions

Certaines études insistent plutôt sur le caractère globalement intégrateur des politiques de GIZC (Koutrakis, 2002 ; Koutrakis *et al.*, 2003). Par exemple Lamberti et Zanuttigh (2005) traitent de la valeur des plages, mais insistent aussi sur plusieurs phénomènes écologiques relevant de l'hydrodynamique, de l'érosion, de la colonisation des milieux et de la qualité de l'eau, qui ont été appréhendés dans le cadre d'un programme de recherche pluridisciplinaire (DELOS).

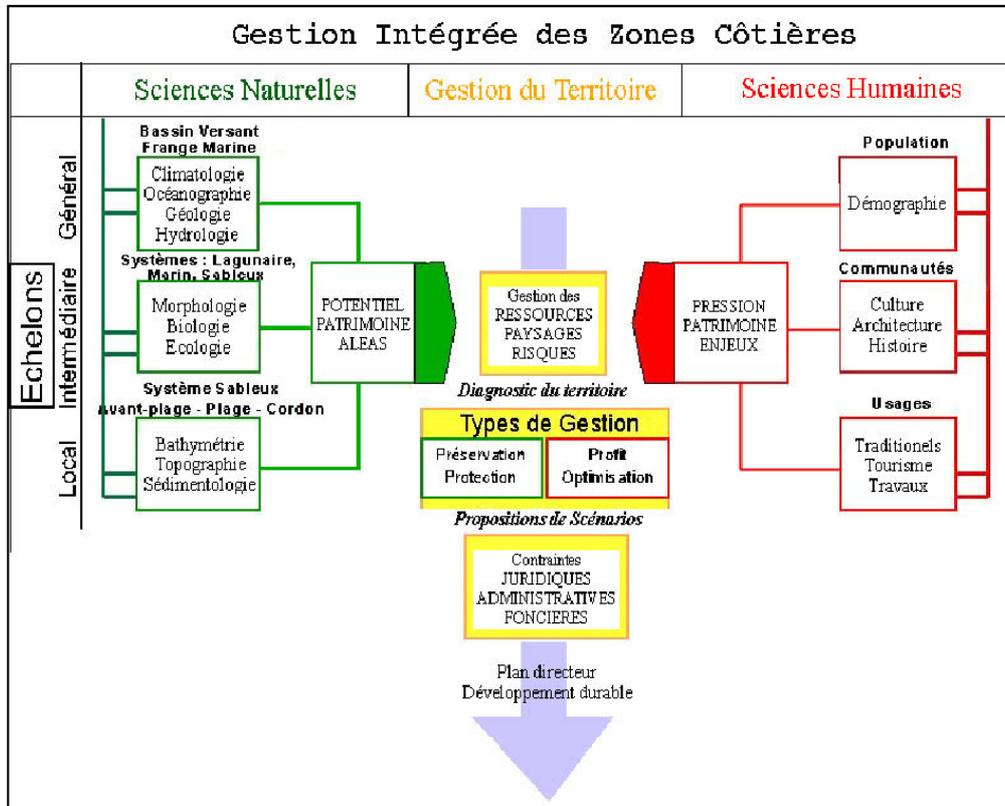
Face aux besoins croissants de gestion de l'information que nécessite l'intégration de plus en plus élargie des connaissances, de nombreux travaux portent sur l'adaptation des outils de gestion de l'information. Moore *et al.* (1998) proposent, à partir d'un prototype élaboré pour les plages de la côte Holderness de l'Est de l'Angleterre qui sont soumises à une forte érosion, un système expert pour faciliter l'accès et la gestion de l'information à destination des gestionnaires des zones côtières. La représentation fonctionnelle de l'interaction entre les gestionnaires et le processus à gérer que proposent les auteurs fait apparaître explicitement un forum de décision qui permet de relier les gestionnaires et les acteurs porteurs d'intérêts (« *stakeholders* ») concernés. Toujours dans le domaine de l'information, Brown *et al.* (2006) insistent sur l'apport de simulations des taux d'érosion comme outil à la fois d'aide à la décision quant aux politiques à mettre en œuvre, et pour la prise de conscience et les actions de sensibilisation sur ces questions.

3.5.5 Apports pour l'élaboration d'un protocole de GIZC axé sur l'érosion et les inondations côtières

Une partie de l'étude suppose d'évaluer les politiques passées et d'élaborer un protocole de mise en œuvre des politiques de gestion de l'érosion côtière qui satisfasse à l'esprit et aux conditions de la GIZC. Rappelons que les travaux préalables réalisés (Richard, 2005) ont permis d'élaborer un schéma fonctionnel (Cf. Figure 2) systémique des interactions qui permet, dans l'esprit de la GIZC, d'organiser la collecte et la synthèse des données.

Outre les travaux méthodologiques relatifs à la GIZC qui ont été étudiés ci-dessus, 2 axes de recherche bibliographique ont été privilégiés : les interactions entre usages et conservation pour répondre à la logique de conciliation entre tourisme et érosion côtière, et les expériences d'élaboration des indicateurs de DD qui sont sources d'enseignement et de transposition possible pour les indicateurs de GIZC.

Figure 2 : Présentation systémique des facteurs à prendre en compte pour une gestion de l'érosion en termes de GIZC



Diagnostic territorial et processus de gestion du littoral

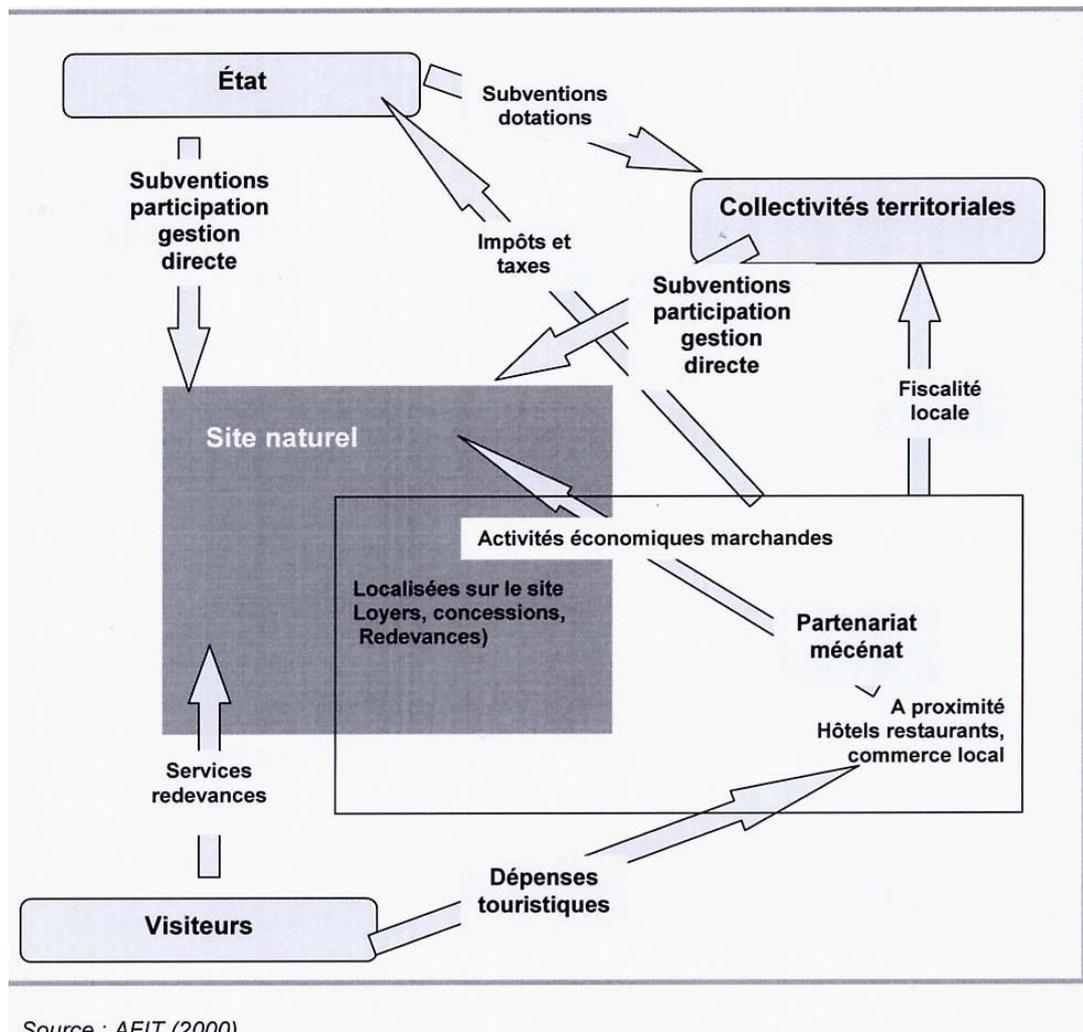
3.5.5.1 Les interactions entre les usages et la conservation des sites naturels

Le plus souvent dans la bibliographie (Cf. supra le classement des problèmes rencontrés par l'évaluation européenne de la GIZC), le tourisme et la conservation sont présentés comme antagonistes au niveau des interactions physiques, la légitimité du tourisme et des usages récréatifs étant justifiée uniquement du point de vue des retombées locales pour les économies littorales. Il s'agit d'un exemple d'école des interactions entre piliers du DD. De nombreux travaux portent actuellement sur les évolutions à susciter à différentes échelles pour passer d'un tourisme de masse à un tourisme durable, moins saisonnier, mieux intégré dans les économies littorales et plus respectueux des contraintes environnementales aux niveaux des pratiques mises en œuvre et des équipements associés. Il convient, comme le fait l'étude de l'Agence Française de l'Ingénierie Touristique (AFIT) (2000) intitulée : « Sites naturels : contribution du tourisme à leur gestion et à leur entretien », de revenir sur certaines positions de principe mettant en avant les aspects négatifs du tourisme, pour montrer que celui-ci peut être un facteur déterminant de la gestion et la conservation des sites naturels. Ceci introduit l'idée que la gestion du tourisme et de la fréquentation des sites naturels n'est pas seulement une question d'adaptation quantitative des flux à la capacité d'accueil des milieux, mais qu'il faut aussi travailler sur l'adaptation des formes du tourisme et sur les modes de tarification des usages de loisir qui sont faits des sites naturels.

L'étude de l'AFIT (2000) cherche à explorer ces éléments et propose notamment un organigramme très fonctionnel des acteurs en fonction des types de flux financiers générés, que nous reproduisons ci-après (Figure 3). À noter que parmi les 11 sites pris en compte par cette étude, on trouve la plage de l'Espiguette (département du Gard) comme exemple de plage très fréquentée ayant un statut de site classé et gérée directement par une commune (commune de Port-Camargue). L'évaluation qui est faite dans cette étude des recettes liées à

la plage de l'Espiguette se limite au parking payant et s'élève à 2,53 millions d'€ pour une fréquentation journalière estimée entre 1000 et 1200 voitures.

Figure 3 : Les ressources liées aux sites naturels par types d'acteurs



3.5.5.2 La construction d'indicateurs de DD par les collectivités territoriales

Il n'est pas de notre intention ici de passer en revue les types de démarches utilisées pour élaborer des indicateurs de DD au niveau des politiques publiques territorialisées dont la GIZC fait partie. Il apparaît que la construction d'indicateurs de DD est l'outil privilégié utilisé quels que soient les domaines ou les échelles pour initier et évaluer la mise en œuvre du DD (Villalba et al., 2005). Ainsi donc les travaux sur ces questions sont très nombreux, et Theys (in Villalba et al., 2005) estime que la demande d'évaluation, et donc d'indicateurs de DD, sera de plus en plus forte, et qu'elle tend à devenir continue dès lors que la mise en œuvre du DD, notamment par les Agendas 21 locaux, est itérative, générant ainsi un besoin d'évaluation périodique des résultats et des diagnostics.

On reprendra ici les principales conclusions d'une évaluation récente portant sur les outils et protocoles utilisés par les collectivités territoriales pour la mise en œuvre du DD (Boutaud, 2005). Cette étude permet des constats intéressants à partir d'un nombre significatif d'exemples puisqu'au total 33 démarches relevant de divers domaines et régions françaises ont été étudiées. Il apparaît que très peu se réfèrent explicitement au vocable d'évaluation (9%). Ce sont les termes d'analyse (46%) ou de grille de lecture (21%) qui sont les plus fréquents. La majorité des outils, dont par ailleurs on peut noter qu'ils sont très hétérogènes, interviennent en amont de la décision et sont qualifiés par l'auteur « d'outils d'analyse

multicritères incomplets ». On note cependant un réel équilibre entre « piliers » révélateur d'une volonté délibérée de veiller à cet équilibre considéré comme caractéristique du DD. L'auteur montre que les classifications hiérarchisées de critères qui sont le plus souvent construites, sont très peu utilisées lorsqu'elles s'avèrent trop complexes ou qu'il y a une absence de portage politique de la démarche. Plus globalement, il conclut au caractère très imparfait des outils existants et à une tendance à la standardisation des approches.

Cette évaluation fait ressortir le fait que ces outils, bien que souvent issus de démarches participatives, sont peu intégrés dans les processus de décision et ressortent plus de l'évaluation de projets que de politiques. La plupart du temps les indicateurs apparaissent comme un moyen de formaliser le concept de DD et relèvent plus d'une fonction d'appropriation et de traduction du concept que d'évaluation proprement dite. Cette analyse montre ainsi l'importance de la fonction pédagogique des indicateurs, et met accent sur l'utilité des indicateurs de DD en termes de mise en débat, d'objectivité et de transparence ainsi que de construction facilitée de consensus (Boutaud, 2005).

3.5.6 Premières enquêtes exploratoires sur la commune de Frontignan la Peyrade

Un projet en cours d'élargissement des travaux menés dans le cadre du Programme National Environnement Côtier (PNEC) par l'Université du Littoral et les équipes de la Région Nord-Pas de Calais sur la perception des risques et la vulnérabilité du littoral a permis d'effectuer une première enquête sur la commune de Frontignan la Peyrade. Il s'agissait pour le projet PNEC coordonné par Catherine Meur-Férec, de valider la démarche et la grille d'approche en l'appliquant à d'autres zones françaises au travers d'un site d'étude situé en Méditerranée. Cette action menée en collaboration entre l'Entente Interdépartementale de Démoustication (EID)-Méditerranée et l'Université Montpellier 1 est restée ponctuelle (une soixantaine d'enquêtes ont été réalisées à propos des risques d'érosion côtière et de pollution) mais elle a permis de tester le questionnaire élaboré de façon pluridisciplinaire et de l'adapter à la question de l'érosion côtière en Région LR. Bien que la problématique du projet PNEC n'était pas exactement la même que celle de BEACHMED-e, cette action a permis d'élaborer des bases utiles pour la conception des enquêtes qui seront menées en 2007.

Les résultats de ce travail ont été présentés lors d'un colloque sur la GIZC qui s'est tenu en Mai 2006 à La Baule (Meur-Férec et al., 2006). Il apparaît que les trois quarts des enquêtés (75,9%) perçoivent les risques d'érosion côtière et remarquent la diminution des plages, phénomène qu'ils lient pour la plupart (74,1%) aux prélèvements sur les sites fragiles et pour plus de la moitié (53,7%) aux promenades sur ces sites. Face à un panneau d'interdiction de passage par exemple, 83,4% des enquêtés (dont 11,1% disent appartenir à des associations de protection de la nature) ont déclaré ne pas passer, soit en rebroussant chemin (51,9%), soit en faisant un détour. Les enquêtés sont favorables à des politiques de protection des plages pour, d'une part protéger les activités économiques et touristiques qu'elles génèrent (75,9%), et d'autre part sauvegarder la nature et le paysage (92,6%).

3.6 Bibliographie

ACT Ouest, SCE Montpellier, 2006. Les plages du Languedoc-Roussillon un capital à préserver, à quels coûts ? Étude réalisée pour la (MIAL-LR), Document provisoire, Juin 2006, 75 p.

Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) / European Environment Agency, 2006. The changing faces of Europe's coastal areas. EEA Report n°6. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 212 p.

Agence Française de l'Ingénierie Touristique (AFIT), 2000. Sites Naturels. Contribution du tourisme à leur gestion et à leur entretien. Les Cahiers de l'AFIT. Guide de Savoir faire 139 p.

Basco D.R., 1999. Misconceptions about seawall and beach erosion control along the golfo di Fallonica (South Tuscany). Actual hard protection vs. Potential soft solutions. In F. Veloso-

- Gomes F. Taveira-Pinto et L. das Neves (Eds), Littoral 2002, *The changing Coast*, 2, pp. 355-363.
- Belfiore S., 2000. Recent developments in coastal management in the European Union. *Ocean & Coastal Management*, 43, pp. 123-135.
- Benoit G., Comeau A., 2005. Méditerranée. Les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. L'Aube Ed., Paris, 427 p.
- Billé R., 2004. La gestion intégrée du littoral se décrète-t-elle ? Une analyse stratégique de la mise en œuvre entre approche programme et cadre normatif. Thèse de doctorat, ENGREF Paris, Sciences de l'environnement, 474 p.
- Bodiguel M., 1997. Le littoral : entre nature et politique. Collection « Environnement », L'Harmattan, Paris. 336 p.
- Boutaud A., 2005. Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Saint-Etienne, 414 p.
- Bowen B. T., Riley C., 2003. Socio-economic Indicators and Integrated Coastal Management. *Ocean & Coastal Management*, 46, pp. 299-312.
- Bower B. T., Turner R. K., 1998. Characterizing and analyzing benefits from Integrated Coastal Management (ICM). *Ocean & Coastal Management*, 38, pp. 41-66.
- Brennan M.J., 1998. A valuation of private and public coastal wetland property rights. Communication à la 2^e conférence mondiale « International Society of Ecological economics ». Genève, 4-7 mars 1998, 23 p.
- Brown I., Jude S., Koukoiulas S., Nicholls R., Dickson M., Walkden M., 2006. Dynamic simulation and visualisation of coastal erosion. *Computers, Environment and Urban system*, sous presse.
- Cazes G., 1999. Les littoraux en proie au tourisme. Éléments de réflexion. *Hérodote, Revue de géographie et de géopolitique*, 93, pp. 144-164.
- Bullen, 1993. Coastline response study: worms, Head to Penarth Head. Vol 1, Main report, Bullen and Partners, pp. 20-50.
- Ciaprini L.E., Pelliccia F, Pranzini E., 1999. Beach nourishment with near shore sediments in a highly protected coast. In E. Ozhan (Ed.), Land and interactions: managing coastal ecosystems. Proceeding of the Meadcoast EMECS joint conference Ankara, 3, pp.1579-1590.
- Cicin-Sain B., Knecht R.W., 1998. Integrated Coastal and Ocean Management. Concepts and Practices. Island Press, Washington D.C., 517 p.
- Clark J.R., 1997. Coastal zone management for the new century. *Ocean & Coastal Management*, 37 (2), pp. 191-216.
- Commission Environnement Littoral (CEL), 2002. Pour une approche intégrée de gestion des zones côtières. Initiatives locales, stratégie nationale. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) / DATAR / IFREMER, Rapport au gouvernement, Paris, 82 p.

Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) – UNESCO, 1997. Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière, Volume I. Manuels et Guides UNESCO n°36. 47 p.

Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) – UNESCO, 2001. Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière, Volume II. Manuels et Guides UNESCO n°42. 65 p.

Conseil Economique et Social Régional (CESR) de Bretagne, 2004. Pour une gestion concertée du littoral en Bretagne. Rapport du Conseil Economique et Social, 276 p.
Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres (CELRL), 1995. Pertes et profits. Compte rendu de l'atelier : Les comptes du littoral protégé. Les ateliers du Conservatoire. Éléments de Réflexion n°9, 22 mars 1995, Paris, 15 p.

Corlay J-P. (Coord.), 2001. Atlas permanent de la mer et du littoral : le littoral français, Géolittomer - LETG UMR CNRS 6554 / Infomer – CNRS. 5, 67p.

Costa S., 1997. Dynamique littorale et risques naturels : l'impact des aménagements, des variations du niveau de la mer et des modifications climatiques entre la baie de Seine et la baie de Somme, Thèse de doctorat, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Géographie, 376 p.

Costanza R. d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M. Hannon B. Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P, van den Belt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp. 253-260.

Daniel E.B., Abkowitz M.D., 2003. Development of beach analysis tools for Caribbean small islands. *Coastal Management*, 31, pp. 255-275.

Dauvin J.C. (Ed.), 2002. Gestion intégrée des zones côtières : outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturel. Muséum d'Histoire Naturelle Paris, 346 p.

Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR), 2004. Construire ensemble un développement équilibré du littoral. La Documentation Française, 155 p.

Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT) et Secrétariat Général de la Mer (SGMer), 2006. Rapport français d'application de la Recommandation du parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des zones côtières en Europe, 87 p.

Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT), 2006. Des contrats de projets pour un nouveau partenariat État-Régions, stratégique, efficace et responsable. Communiqué de presse. 18 Juillet 2006, 6 p.

Direction Régionale de l'Environnement de la Région Languedoc-Roussillon (DIREN LR), 2005. Synthèse bibliographique relative à la vulnérabilité au risque d'inondation. Présentation des principaux documents publics. Les études environnementales n°5, Novembre 2005, 78 p.

Direction Régionale de l'Environnement de la Région Languedoc-Roussillon (DIREN LR), 2006. Recommandations régionales pour la prescription de mesures de réduction de la vulnérabilité des biens existants au risque d'inondation dans les Plans de Préventions des Risques en Région Languedoc-Roussillon ? Les études environnementales n°7, Juin 2006, 36 p.

Direction Régionale de l'Environnement du Languedoc-Roussillon (DIREN LR), CETE Méditerranée et CERTU 2005. Définition d'une méthode pour l'évaluation des SCoTs au regard des principes du développement durable et construction d'indicateurs environnementaux. Application au cas de l'agglomération de Montpellier, 156 p.

Dong P., 2004. An assessment of Groyne Performance in the United Kingdom. *Coastal Management*, 32, pp. 203-213.

- Ehler C.N., 2003. Indicators to measure governance performance in integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 46, pp. 335-345.
- Enjolras G., Boisson J.M., Valette F., 2005. Transfert d'évaluation (méta-analyse) et valeur économique de l'eau. Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons (DITTY). 69 p. + Annexes.
- EUROSION, 2004. Vivre avec l'érosion côtière en Europe. Espaces et sédiments pour un développement durable. Conclusion de l'étude EUROSION. Commission Européenne (CE), 38 p.
- Fabiano M., Camarsa G., Dursi R., Ivaldi R., Marin V. et Palmisani F., 2004. Integrated Environment Study for beach management: a methodological approach. Document de travail, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Falque M., 2005. Une boîte à outils pour la protection et la gestion des espaces littoraux. *Études foncières*, 113, pp. 33-36.
- Firm Crichton Roberts Ltd, Strathclyde University, 2000. Une évaluation des coûts et des bénéfices socio-économiques de la Gestion Intégrée des Zones Côtières. Rapport final pour la Commission Européenne (CE). Programme de Démonstration de l'Union Européenne (UE). Gestion Intégrée des Zones Côtières 1997-1999, 62 p.
- Fourrier A., 2005. Évaluation des méthodologies et des conditions d'une gouvernance efficace en matière de récupération de la bande côtière. Mémoire de Master 2 « Gestion des Littoraux et des Mers », Université de Montpellier 3. 125 p + Document annexe : 159 p.
- Frayssinet D., 2001. Le littoral un concept à géométrie variable. Groupement de la Statistique Publique en Région Languedoc-Roussillon. Dossier le Littoral, pp. 1-9.
- Frayssinet D., 2002. L'évolution du trait de côte. Groupement de la Statistique Publique en Région Languedoc-Roussillon. Dossier le Littoral, pp. 57-59.
- Gallagher A., Johnson D., Glegg G., Trier C., 2004. Constructs of sustainability in coastal management. *Marine Policy*, 28, pp. 249-255.
- Gélard P. (Rapporteur), Alduy J-P. (Président de la Mission d'information), 2004. Rapport d'information de la commission des affaires économiques et de la commission des lois sur l'application de la loi Littoral, pour une mutualisation de l'aménagement du territoire. Sénat, rapport n°421.
- Gillie R.D., 1997. Causes of coastal erosion in pacific Island nations. *Journal of coastal Research* special issue, 24, pp. 173-204.
- Gordon M.L., Reams M.A., Bernd-Cohen T., 1998. Integrated theory of costal management regarding protection of beaches and dunes. *Marine Policy*, 22 (2), pp. 83-93.
- Granja H.M., 2001. Paleoenvironmental indicators from the recent past: a contribution to CZM purposes. In E. Ozhan (Ed.), Medcoast 01: Proceedings of the fifth international conferences on the Mediterranean Costal Environment, Ankara, 1, pp. 59-70.
- Granja H.M., Carvalho G.S., 2000, Inland beach migration (beach erosion) and the coastal management (the experience of the northwest coastal zone of Portugal). *Responsible Coastal Zone Management. Periodicum Biologorum*, 102 (1), pp. 413-424.
- Hansom J.D., Lees G., McGlashan D.J., John S., 2004. Shoreline Management Plans and coastal Celles in Scotland. *Coastal Management*, 32, pp. 227-242.

Hanson H., Brampton A., Capobianco M., Dette H.H., Hamm L., Lanstrup C. Lechuga A., Spanhoff R., 2002. Beach Nourishment projects, practices and objectives a European overview. *Coastal Engineering*, 47, pp. 81-111.

Hardy L., 2006. Articulation et harmonisation des outils de gestion du littoral : la valeur ajoutée d'une démarche de GIZC. Communication à la 1^o journée GIZC. DIACT Paris, 22 Mars 2006.

Hénocque Y., Billé R., 2005. Gestion Intégrée du Littoral : analyse des processus à l'œuvre et mesure des progrès accomplis dans la cadre d'une approche incrémentielle de l'intégration. Communication au Colloque International « Prospective du littoral – Prospective pour le littoral : un littoral pour les générations futures ». Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD), mars 2005 Paris, 15 p.

Houston J.R., 2002. The economic value of beach – a 2002 update. *Shore and Beach*, 70 (1), pp. 9-12.

Institut Français de l'Environnement (IFEN), 2006. Risques : Fiche indicateur : érosion côtière sur la littoral métropolitain. Observatoire du Littoral, 5 p.

Jourdan, G, 2003. Elément sur la maîtrise des facteurs de non durabilité du développement de la bande côtière des alpes maritimes. Contribution aux réflexions sur les Schémas de Cohérence Territoriaux (ScoTs). Document de travail, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, 78 p.

Koutrakis E., 2002. Improving the Design of Projects, Planning and Programming of Intervention for Integrated Coastal Zone Management. MAP/METAP, pp. 215-227.

Koutrakis E., Lazaridou Th., Argyropoulou M.D., 2003. Promoting Integrated Management in the Strymonikos Coastal Zone (Greece). A step-by-step Process. *Coastal Management*, 31, pp.195-200.

Lamberti A., Zanuttigh B., 2005. An integrated approach to beach management in Lido di Dante, Italy. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 62, pp. 441-451.

Larrue C., 2000. Analyser les politiques publiques d'environnement. Collection « Logiques Politiques », L'Harmattan, Paris, 207 p.

Le Guen J. (Rapporteur), Deprez L. (Président de la Mission d'information), 2004. Rapport d'information par la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire sur l'application de la loi Littoral. Assemblée Nationale, rapport n°1740, 99 p.

Lozachmeur O., 2005. Le concept de « Gestion Intégrée des Zones Côtières » en droit international, communautaire et national. *Droit Maritime Français*, 657, pp. 259-277.

Mermet L, Billé R., Leroy M., Narcy J-B., Poux X., 2005. L'analyse stratégique de la gestion environnementale : un cadre théorique pour penser l'efficacité en matière d'environnement. *Nature Sciences Sociétés*, 13, pp. 127-137.

Meur-Férec C., Beaurain C., Deboudt P., Deldrève V., Flanquart H., Hellequin A.P., Herbert V., Longuépée J., Morel V., Torres E., 2002. La vulnérabilité des territoires côtiers, approche méthodologique, synthèse du programme de recherche PNEC, 7 p.

Meur-Férec C., Beaurain C., Deboudt P., Deldrève V., Flanquart H., Morel V., Roussel S., Lequent R., 2004. Vers une stratégie de gestion à long terme de l'érosion côtière : l'apport de l'évaluation de la vulnérabilité. Colloque international : Interactions Nature – Société, analyse et modèles. La Baule, 3-6 Mai 2006.

Meur-Férec C., Deboudt P., Heurtefeux H., Flanquart H., Hellequin A.P., Herbert V., Longuépée J., Morel V., 2006. La vulnérabilité des territoires côtiers, évaluation, enjeux et politiques publiques.

- Micallef A., Williams A.T. (1), 2004. Theoretical strategy considerations for beach management. *Ocean & Coastal Management*, 45, pp.261-275.
- Micallef A., Williams A.T. (2), 2004. Application of a novel approach to beach classification in the Maltese Island. *Ocean & Coastal Management*, 47 (5-6), pp. 225-242.
- Mission Interministérielle d'Aménagement de la Région Languedoc-Roussillon (MIAL-LR), 2003. Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon. 24 p. + cartes.
- Mission Interministérielle d'Aménagement de la Région Languedoc-Roussillon (MIAL-LR), DIREN / INEA, 2002. Diagnostic environnemental du Languedoc-Roussillon. Chapitre 2. Fiche de synthèses par problématique environnementale, fiche les écosystèmes littoraux et le cordon dunaire : 14-15. et fiche l'érosion du trait de côte du Golfe du Lion, 16-17.
- Moore T., Morris K., Blackwell G., Gibson S., Stebbing A., 1998. An expert system for integrated Coastal zone Management: a geomorphological case study. *Marine Pollution Bulletin*, 37, pp. 3-7.
- Myatt L.B., Scrimshaw M.D., Lester J.N., 2003. Public perceptions and attitude towards a forthcoming managed realignment scheme: Freiston Shore, Lincolnshire, UK., *Ocean & Coastal management* 46, pp. 565-582.
- Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) (1), 1993. Gestion des zones côtières – Politiques intégrées, les Éditions de l'OCDE, Paris, 26 p.
- Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE) (2), 1993. Jeu de base d'indicateurs de l'OCDE pour l'étude de performance environnementale. Monographies OCDE sur l'environnement n°83. OCDE Paris. 315 p.
- Parlement européen et Conseil de l'Europe, 2002. Recommandation du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 relative à la mise en oeuvre d'une stratégie de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) en Europe (2002/41 3/CE). Journal officiel des Communautés européennes.
- Paskoff R., 2001. La contribution des géographes naturalistes à la géographie des littoraux. In Environnement, politiques publiques et dynamique des activités littorales. Travaux et questions des sciences sociales. *Océanis*, 28 (1-2), pp. 27-38.
- Peng B., Hong H. Xue X., Jin D., 2006. On the measurement of socioeconomic benefits of integrated coastal management (ICM): application to Xiamen China. *Ocean & Coastal management*, 49, pp. 93-109.
- Phillips M.R., Jones A.L., 2006. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. *Tourism Management*, 27, pp. 517-524.
- Pickaver A.H., Gilbert C., Breton F., 2004. An indicator set to measure the progress in the implementation of integrated coastal zone management in Europe. *Ocean & Coastal Management*, 47, pp. 449-462.
- Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE), 2002. Indicateurs pour le Développement Durable dans les régions côtières méditerranéennes. Suivi des recommandations de la Commission Méditerranéenne de Développement Durable, rapport Final, 41 p.
- Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE), 2003. Cadre conceptuel et directives pour la Gestion Intégrée du Littoral et des Bassins Fluviaux (GILIF). Plan d'action pour la Méditerranée (PAM). Programme d'actions prioritaires, 80 p.

- Point P., 2002. Éléments économiques pour une gestion intégrée du littoral. In Environnement, politiques publiques et dynamique des activités littorales. Travaux et questions des sciences sociales. *Océanis*, 28 (1-2), pp. 57- 88.
- Polomé P., Marzetti S., van der Veen A., 2005. Economic and social demand for coastal protection. *Costal Engineering*, 52, pp. 819-840.
- Préfecture de la Région Languedoc-Roussillon. Guide d'élaboration des plans de prévention des risques inondation en Languedoc-Roussillon, Juin 2003, 16 p.
- Prieur M., 1999. Modèle de loi sur la gestion durable des zones côtières ; Sauvegarde de la nature. N°101, Éditions du Conseil de l'Europe, Strasbourg.
- Richard A., 2005. Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC). Réalisation d'outils informatiques pour la gestion du littoral. Mémoire de Master 2 « Gestion des Littoraux et des Mers », Université de Montpellier 3. 122 p.
- Rivages de France, 2006. Le Littoral : un territoire à haut risque ? Rôle responsabilité et moyens des gestionnaires d'espaces naturels littoraux et lacustres. Forum National des Rivages. Montpellier ENSA 6-7 octobre 2005, 149 p.
- Rolland G., 2005. Synthèse bibliographique sur la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC). État des lieux en France dans son contexte européen et international. Rapport Rivages de France, 50 p.
- Shivlani M., Letson D., Theis M., 2003. Visitor Preferences for Public Beach Amenities and Beach Restoration in South Florida. *Coastal Management*, 31, pp. 367-385.
- Turner R.K., 2000. The Integrating natural and socio-economic science in coastal management. *Journal of Marine Systems*, 25, pp. 447-460.
- Turner R.K., Paavola J., Cooper P., Farber S., Jessamy V., Georgiou S., 2003. Valuing nature: lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 46, pp. 493-510.
- Turner R.K., Bateman I.J., Georgiou S., Jones A., Langford I.H., Matias N.G.N., Subramanian L., 2004. An ecological economics approach to the management of a multi-purpose coastal wetland. *Regional Environmental Change*, 4, pp. 86-99.
- Union Mondiale pour la Nature (UICN), 2004. La conservation du littoral. Éléments de stratégie politique et outils réglementaires. Shine C. et Lefebvre C (Eds. Sci.) UICN Ed. Paris, 112 p.
- Villalba B., Goxe A., Lipovac J.C., 2005. Évaluer le développement durable : enjeux, méthodes, démarches d'acteurs. *Développement Durable & Territoires*, Rubrique Point de vue.
- Whitmarsh D., Hobson J., Pickering H., Edwards S., Nowell D., 1993. Coastal Zone Management in the UK: Challenges and opportunities. European Association of Fisheries Economists. Fifth Annual Conference and General Meeting, Bruxelles, March 1993, 7 p.
- Wiegel R.I., 2002. Seawalls, seacliffs, Beachrock: what beach effects? Part 1, *Shore and Beach*, 70, 1, pp. 17-27.
- World Commission on Environment and Development (WCED), 1987. Our common future, Oxford University Press, Oxford.
- Yellès N., 1995. Pertes et profits. Les comptes du littoral protégé. Les ateliers du Conservatoire du Littoral. Éléments de Réflexion n°9, 22 Mars 1995, Paris, 8 p.

3.7 Annexe 1 : Découpage fonctionnel et planning révisé

WP	Méthodologie envisagée	Produits attendus
Analyses préalables par pays : Etude bibliographique préliminaire (Phase A)		
WP1	Identification des processus d'érosion et critères physiques Analyse bibliographique approfondie et entretiens chercheurs spécialisés autres composantes BEACHMED-e	Identification des facteurs de pression liés à l'érosion, des processus d'érosion et des indicateurs physiques
WP2	État des lieux régional des besoins et des aménagements Bibliographie et enquêtes auprès des collectivités et des principaux gestionnaires (date de réalisation, types de porteurs de projets, type de démarches, types de dispositifs et de cadres juridiques, types de problèmes rencontrés, types de pression...)	Inventaires des opérations et des zones vulnérables
WP3	Revue bibliographique et grille d'analyse Synthèse des travaux menés dans le cadre de la GIZC et sur l'évaluation économique du patrimoine balnéaire et de l'érosion,	Grille d'analyse des démarches de GIZC Identification des types de valeur du patrimoine balnéaire et méthodes d'évaluation économique
Mise en place d'une méthodologie commune (Phase B)		
WP4	Typologie des sites et matrice des acteurs et dispositifs Identification des indicateurs de GIZC appropriés ainsi que des indicateurs d'évaluation des politiques menées Réalisation d'une typologie en fonction des indicateurs pressentis et matrice des acteurs concernés à enquêter Identification des sites d'étude de façon à rendre compte des types identifiés	Check-list d'indicateurs et identification de données utilisées Cartographie et typologie des sites. Identification des sites d'études
WP5	Élaboration d'un protocole d'analyse Mise au point opérationnelle des étapes méthodologiques et des documents d'enquête (questionnaires...) Élaboration d'une matrice d'interaction et identification des indicateurs ; Ajustement du protocole avec les autres régions	Protocole d'analyse, questionnaire d'enquête et panel d'indicateurs à tester
Enquêtes par pays (Phase C)		
WP6	Enquête de terrain Enquête 1 : entretiens auprès des gestionnaires et porteurs de projets pour analyser en détail les démarches menées en termes de politique publiques et par rapport à l'intégration des objectifs de la GIZC et aux formes de concertation Enquête 2 : de perception des risques (*), des besoins et de l'utilité des aménagements auprès des populations et usagers Enquête 3 : Collecte des données et des perceptions pour l'évaluation économique	Compte rendu d'entretien et questionnaires complétés
Analyse et comparaison des résultats (Phase C)		
WP7	Analyse et traitement des informations recueillies Exploitation des informations issues des entretiens et des questionnaires, analyse des résultats observés et positionnement par rapport aux cadres de références. Élaboration d'un panel de référence d'indicateurs adaptés.	Analyse de la politique et rédaction provisoire d'un guide méthodologique
WP8	Validation Plusieurs réunions seront organisées : des réunions de restitutions et de validation par sites d'étude et une réunion de validation plus élargie, notamment avec le comité de pilotage. La validation portera à la fois sur l'utilité, la pertinence et la forme de restitution des indicateurs (type de tableau de bord) et de la démarche proposée	Prise en compte des remarques formulées et rédaction définitive du guide méthodologique d'application de la GIZC dans le cas de problèmes d'érosion du littoral
WP9	Rédaction finale	Rapport final

Programmation des actions	2006						2007												2008					
	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06
Phase A																								
Synthèse bibliographique (WP1, WP2, WP3)	■		■																					
Phase B																								
Typologie et méthodologie (WP4 et WP5)			■	■																				
Phase C																								
Enquête 1 Usagers (WP6) : stagiaire n° 1													■	■										
Enquête 2 Gestionnaires (WP6)					■	■	■	■																
Enquête 3 Valeur économique (WP6) : stagiaire n° 2													■	■	■									
Enquête 3 Valeur éco (WP6)					■	■	■																	
Analyse et traitement (WP7)							■			■	■						■	■						
Validation (WP8)																	■	■						
Rédaction (WP9)																		■	■					
Rapport final																							R	
Séminaire international					S1					S2													S3	
Rapports intermédiaires	R1					R2									R3									
Comité de pilotage local				CP																				

3.8 Liste des abréviations et des acronymes

AEE : Agence Européenne de l'Environnement / EEA: European Environmental Agency.
AFIT : Agence Française de l'Ingénierie Touristique.
AIZC : Aménagement Intégrée des Zones Côtières.
AOT : Autorisation d'Occupation Temporaire.
CA : Chiffre d'Affaire.
CE : Commission Européenne.
CEL : Commission Environnement Littoral.
CELRL : Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres
CG : Conseil Général.
CIADT : Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire.
CIMer : Comité Interministériels de la Mer
CML : Conférence Mondiale du Littoral.
CNADT : Conseil National d'Aménagement et de Développement du Territoire.
CNL : Conseil National Littoral.
CNUED : Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement.
CNUED : Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement et le Développement.
DATAR : Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale.
DD : Développement Durable.
DIACT : Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires.
DIREN LR : Direction Régionale de l'Environnement de la Région Languedoc-Roussillon.
\$: Dollar.
DPM : Domaine Public Maritime.
DTA : Directive Territoriale d'Aménagement.
€ : Euros
GI : Gestion Intégrée.
GIL : Gestion Intégrée du Littoral.
GILIF : Gestion Intégrée du Littoral et des Bassins Fluviaux.
GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières / ICZM: Integrated Coastal Zone Management.
IFEN : Institut Français de l'Environnement.
LR : Languedoc-Roussillon.
MIAL-LR : Mission Interministérielle d'Aménagement de la Région Languedoc-Roussillon.
PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur.
PLU : Plan Local d'Urbanisme.
PNEC : Programme National Environnement Côtier.
PNUE : Programme des Nations-Unies pour l'Environnement.
PPR : Plan de Prévention des Risques.
RGP : Recensement Général de la Population.
SCoT : Schéma de Cohérence Territorial.
SGMer : Secrétariat Général de la Mer.
SIG : Système d'Information Géographique.
SMNLR : Service Maritime et de Navigation de la Région Languedoc-Roussillon.
SMP: Shoreline Management Plan.
SMVM : Schéma de Mise en Valeur de la Mer.
SRU : Solidarité et Renouvellement Urbain.
UE : Union Européenne.

4 Partenaire 5, Université Democritus de Thrace - Laboratoire d'Hydraulique et des Travaux Hydrauliques

4.1 Le système d'inondation physique et son modèle conceptuel

Pour comprendre le système d'inondation physique, il est utile de considérer le modèle conceptuel communément adopté: Source-Sentier-Récepteur-Conséquence (**Source-Pathway- Receptor-Consequence**). C'est un instrument conceptuel pour représenter des systèmes et des processus qui causent une conséquence particulière. Pour que survienne un risque il doit y avoir un hasard représenté par un phénomène ou par une source initiative; un récepteur (une personne ou une propriété), et un sentier qui relie le récepteur à la source. Dans le cadre de l'inondation côtière, ces termes ont été identifiés dans la figure 1.

Les éléments du système d'inondation peuvent être décrits comme :

- **Les sources** - des conditions de hautes vagues et des niveaux élevés de l'eau (la marée et la montée), en mer ouverte et transformés sur l'avant côte, sont considérés comme la source d'inondation côtière.
- **Les sentiers** - les réponses de la défense contre l'inondation, comme le débordement ou l'exécution des trouées, et l'inondation et la propagation de l'inondation sont considérés comme les sentiers d'inondation côtière.
- **Les récepteurs** - les récepteurs d'inondation côtière sont la propriété, les gens et l'environnement.
- **Les conséquences** - la mort, la tension, le dommage matériel et la dégradation de l'environnement sont considérés comme les conséquences de l'inondation côtière.

Les processus physiques dominant les sources d'inondation côtière varient en fonction de l'échelle: l'environnement océanique (grande échelle), l'environnement côtier (échelle régionale) et au niveau des sentiers des défenses côtières et des régions inondées. Comme les processus physiques dominants changent, les méthodes qui ont été développées pour les simuler changent aussi. Une fois ces processus physiques dominants en tête, il est utile de décrire le système physique comme raccordé, mais de zones distinctes. Pour cette étude, ces zones ont été définies de la façon suivante (figure 2).

Sources

- Les vagues en mer ouverte et les niveaux de l'eau (en incluant des processus de génération des vagues et l'action réciproque des vagues les unes sur les autres)
- Les vagues de l'avant côte et les niveaux de l'eau (définis comme la zone dans laquelle le fond de la mer influence la propagation des vagues et inclut des effets d'eau peu profond comme la formation des seuils (shoaling), la réfraction à cause de la profondeur, l'interaction entre les courants et la rupture des vagues en raison de la profondeur).

Sentiers

- La réponse de la côte (en incluant la réponse des plages et des défenses aux vagues, l'interaction entre les vagues et les structures, le débordement, l'irruption et l'exécution des trouées).
- L'inondation (en incluant l'écoulement de l'eau sur la région inondée).

Pour faciliter la compréhension, le système physique a été caractérisé par quatre zones séparées. Il est important de noter que les limites de ces zones sont "brouillées" et que

certains modèles peuvent simuler les processus physiques à deux ou plusieurs zones définies.

4.2 La catégorisation des tempêtes

L'action des tempêtes sur les régions côtières peut avoir des répercussions différentes sur l'environnement anthropique et naturel. L'érosion des côtes et des dunes et l'inondation, ainsi que les dégâts occasionnés aux constructions sur les côtes urbanisées, sont des phénomènes qui influencent de manière systématique et dynamique la configuration des conditions de l'espace côtier. Dans le cadre de la gestion intégrée des zones côtières et de l'étude scientifique des phénomènes décrits ci-dessus, la classification des tempêtes est indispensable car elle facilite l'étude de leur effet.

La connaissance et l'étude des tempêtes se fait à travers la collecte et le traitement statistique des données relatives au vent (vitesse du vent, durée du souffle, fréquence d'apparition) et aux vagues (hauteur de la vague, période de la vague, élévation du niveau de l'eau). Un phénomène est identifié comme étant une tempête, si la hauteur de la vague (SWH) est supérieure à 2.0m et si le vent dure plus de 6h, selon Mendoza and Jimenez (2006), tandis que pour Heather et al. (2004) la hauteur de la vague (SWH) doit être supérieure à 2.0m et la vitesse horizontale maximale du vent doit être supérieure au double de la fluctuation de la vitesse des mesures qui sont proches dans le temps.

Il existe différentes échelles de classification, lesquelles ont été développées et se rencontrent souvent dans la bibliographie correspondante.

L'échelle Saffir-Simpson (Saffir et Simpson, 1971) est utilisée pour l'estimer les destructions probables après le passage d'un typhon et a servi de base qualitative à tous les efforts de classification. L'échelle (Tableau 1) est constituée de cinq catégories, lesquelles sont caractérisées par l'ampleur différente de la vitesse du vent, de la pression atmosphérique et de la marée de tempête (*storm surge*). A chaque catégorie de typhon correspond un degré de destruction – croissant de la 1ère à la 5ème catégorie – de l'environnement naturel et des constructions

Tab. 1. L'échelle Saffir-Simpson (1971)

Catégorie	Vitesse du vent [km/h]	Pression Atmosphérique [mb]	Marée de Tempête [m]	Destructions
1	119-153	> 980	1-2	Minimes
2	154-177	965-979	2-3	Limitées
3	178-209	945-964	3-4	Etendues
4	210-249	920-944	4-6	Extrêmes
5	> 250	< 919	> 6	Absolues

Dolan R. et Davis R. de l'université de Virginie, ont inventé et publié en 1992 (Dolan et Davis, 1992) une échelle de classification des tempêtes, qui résulte de l'observation de la hauteur des vagues et de la durée de 1347 tempêtes provenant du nord-est (connues aussi sous le nom de "northeasters") qui se sont manifestées le long des côtes de la Caroline du Nord de 1942-1984. Les tempêtes ont été classifiées sur la base de la hauteur des vagues et sur leur durée, qui ont permis de calculer la force générale de la tempête (expression du contenu énergétique). L'échelle (Tableau 2) est constituée de cinq catégories pour lesquelles sont également mentionnées la fréquence d'apparition et la période de réintroduction (sur la base des données de la région). Le degré de dangerosité et de répercussions de chaque "northeaster" augmente de manière croissante de la 1ère à la 5ème catégorie.

Tab. 2. L'échelle Dolan-Davis (1992)

Catégorie	Fréquence d'Apparition [%]	Période moyenne de Retour	Hauteur maximale des Vagues [m]	Durée moyenne [h]	Destructions
1	49.7	3 jours	6.6	8	Minimes
2	25.2	1 mois	6.2	18	Limitées
3	22.1	9 mois	10.8	34	Etendues
4	2.4	11 ans	16.4	63	Extrêmes
5	0.1	100 ans	23.0	95	Absolues

Mendoza, E. et Jimenez, J. ont présenté en 2004 une échelle semblable à celle de Dolan et Davis (1992), basée sur les observations de la vitesse du vent et la hauteur des vagues sur les côtes de la Catalogne sur 14 ans (1990-2004). Leur classification est fondée sur le contenu énergétique de chaque tempête, qui est calculé selon la formule:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} H_s^2 \cdot dt \quad (1)$$

où t1 et t2 déterminent son intervalle de manifestation. En 2006 ils ont modifié leur échelle (Mendoza et Jimenez, 2006), en raison du changement du critère de la hauteur minimum de la vague significative (SWH) permettant d'identifier un phénomène comme étant une tempête (de 1.5m à 2.0m). L'échelle (Tableau 3), suit la logique des échelles Saffir-Simpson et Dolan-Davis. Elle présente elle aussi cinq catégories des tempêtes, mais elle mentionne également la fréquence d'apparition et la corrélation de chaque catégorie avec l'élévation, due à la marée, du niveau de la mer "ξ".

Tab. 3. L'échelle Mendoza-Jimenez (contenu énergétique)

Catégorie	Hauteur maximale de la Vague [m]	Durée moyenne [h]	Période de la Vague [sec]	Énergie [m ² h]	ξ [cm]
I	2.6	13	7.3	57.2	18
II	3.1	32	8.3	175.1	17
III	3.4	56	8.2	342.6	14
IV	4.3	76	9.9	634.1	27
V	6.0	161	11.1	1368.9	53

De plus en 2006, Mendoza et Jimenez ont présenté une deuxième classification fondée sur la faculté d'érosion de chaque catégorie de tempête (pour les données de la même région). L'innovation de l'échelle considérée, consiste au "tour" de la classification des tempêtes basée sur les caractéristiques, à la classification basée sur les répercussions - quantitatives et pas simplement qualitatives - qu'elles provoquent sur les côtes. Selon Mendoza et Jimenez, la réponse de la côte se caractérise par deux paramètres : le retrait maximal de la côte "DX" et le volume corrodé "DV". Ces paramètres ont été calculés en utilisant le modèle SBEACH, ainsi qu'avec certains prédictors. La classification qui concerne les côtes caractérisées par la réflexion importante des vagues, est illustrée dans le Tableau 4.

Tab. 4. Échelle Mendoza-Jimenez (faculté corrosive)

Catégorie	DV [m ³ /m]	DX [m] (z=+3.8m)	DX [m] (z=+2.0m)	DX [m] (z=0.0m)
I	-16.8	-5.0	-3.8	-1.4
II	-22.0	-6.5	-5.4	-2.4
III	-35.9	-10.1	-8.8	-4.8
IV	-51.7	-11.0	-11.7	-9.0
V	-91.9	-24.2	-22.0	-15.3

* z est le niveau par rapport au niveau moyen de la mer, sur lequel DX a été calculé

En 2001 MacClenahan et al. ont créé une nouvelle échelle de classification des tempêtes, à partir du traitement des données mesurant l'intensité du vent sur les côtes occidentales de l'Irlande (Malin Head, Bermullet et Valencia pendant les périodes 1956-1998, 1956-1998 et 1940-1998). Le critère de classification utilisé était le dépassement des groupes des limites: vitesse du vent, durée temporelle et vide temporel entre deux tempêtes successives. Les limites ont été calculées sur la base d'un modèle qui a été développé dans le cadre de l'enquête considérée. L'échelle qui a été proposée (Tableau 5) est constituée de sept catégories et ne relie pas ces catégories aux résultats de l'action des tempêtes sur la zone côtière.

Tab. 5. Échelle MacClenahan et al.

Catégorie	E1	E1	E2	E2	E3	M1	M2
Limites	60,1,1	60,1,1 50,5,1	50,1,1	50,1,1 40,5,1	30,48,1	40,24,1	40,5,1

* la trinité des limites concernées : vitesse du vent [knots], durée de la tempête [h] et vide temporel entre des tempêtes successives [h]

4.3 L'analyse des événements extrêmes et l'estimation du niveau de retour

Le risque est une combinaison entre la possibilité qu'un phénomène survienne et l'impact que provoquerait ce s'il survenait. Le risque inclut ainsi deux composantes : la chance d'occurrence d'un phénomène et les conséquences de ce phénomène. Les conséquences peuvent être désirables ou indésirables. Si l'on considère le phénomène d'inondation, le risque est à classer parmi les conséquences indésirables. Tous les risques devraient être considérés du point de vue de la source, du sentier, du récepteur et du modèle des conséquences. Pour évaluer le risque, la variabilité spatiale et temporelle de la probabilité et de la conséquence devrait être considérée. Une mesure simple du risque peut être calculée par : Risque = Probabilité * Conséquence.

L'analyse du risque est caractérisée par l'incertitude. Deux catégories différentes d'incertitude sont considérées : l'incertitude inhérente qui représente le fait du hasard dans les échantillons aussi bien dans l'espace que dans le temps et les incertitudes qui sont provoquées par le manque de connaissances sur les systèmes physiques particuliers ou par le manque de données suffisantes. Alors que la première catégorie d'incertitudes ne peut pas être réduite, la deuxième peut diminuer, en augmentant la compréhension des processus physiques et la quantité de données à analyser.

Les unités du risque sont définies selon les unités de ses composantes : probabilité et conséquences. La probabilité est généralement exprimée comme une chance ou une fréquence. La fréquence définit le nombre d'occurrences d'un événement attendu à un moment donné. La probabilité peut être définie comme la chance d'occurrence d'un événement comparée à l'ensemble de tous les événements. Elle est souvent exprimée en se référant à ce qui concerne une période du temps, par exemple les chances des dépassements annuels. Comme il a été mentionné plus tôt, les chances sont le plus souvent utilisées pour le calcul du risque.

Le fait que les travaux d'ingénierie doivent être calculés dans des conditions extrêmes nécessite qu'une attention spéciale soit apportée aux valeurs singulières, plus qu'aux valeurs (moyennes) régulières. Les maximums des blocs et les dépassements des seuils les plus élevés sont utilisés, selon la disponibilité des données, pour extraire des valeurs de design pour les différentes structures.

Les méthodes des valeurs extrêmes sont des méthodes statistiques puissantes pour tirer l'inférence aux extrêmes d'un processus, en utilisant seulement des données relativement extrêmes du processus. Les méthodes des valeurs extrêmes sont utilisées habituellement dans le but d'extrapoler des niveaux plus extrêmes que ceux qui ont été observés. La méthodologie statistique est motivée par une théorie mathématique bien établie, la théorie des Valeurs Extrêmes (EVT), qui suppose que les modèles limitants suggérés selon la théorie asymptotique, continuent à tenir aux niveaux finis mais extrêmes. Une hypothèse cruciale de la théorie des Valeurs Extrêmes est que les données sont indépendantes et identiquement distribuées (iid).

On suppose que X_1, X_2, \dots, X_n est une série de variables indépendantes et identiquement distribuées avec une distribution commune F et que $M_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$. On assume qu'il y a des ordres des constants normalisés $a_n > 0$ et b_n que :

$$P\left(\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq z\right) \rightarrow G(z) \quad \text{quand } n \rightarrow \infty \quad (2)$$

pour tous $z \in [z_-, z_+]$, où G est une distribution qui n'est pas dégénérée (non degenerate) supportée à l'intervalle $[z_-, z_+]$.

Les deux résultats classiques de la Théorie des Valeurs Extrêmes déclarent que:

a) G a une distribution des Valeurs Extrêmes Généralisée (GEV) avec une fonction de distribution :

$$G(z) = \exp\left[-\left\{1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right\}_+^{-1/\xi}\right] \quad (3)$$

où $\mu, \sigma > 0$ et ξ sont les paramètres d'endroit, d'échelle et de forme respectivement (G est défini par continuité quand $\xi=0$)

b) la distribution conditionnelle des exceedances, $(X_i - u) | (X_i > u)$ converge à une distribution Pareto Généralisée (GPD) avec une fonction de distribution :

$$H(z) = 1 - \left(1 + \frac{\xi \cdot z}{\hat{\sigma}}\right)^{-1/\xi} \quad (4)$$

quand $n \rightarrow \infty$, où $\hat{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$. Les deux résultats peuvent être unifiés dans un cadre de probabilité plus grand en considérant la limite des ordres du processus de point $N_n = \{(i/(n+1)), (X_i - b_n)/a_n\}$ en \mathbb{R}^2 . En particulier, il peut être démontré que quand $n \rightarrow \infty$ l'ordre N_n converge aux intervalles de forme $[0, 1] \times [u, \infty]$, pour n'importe quel seuil $u > z_-$, à un processus Poisson N avec une mesure d'intensité en $A = [t_1, t_2] \times [z_-, z_+]$:

$$\Lambda(A) = (t_2 - t_1) \left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi} \quad (5)$$

L'utilisation du modèle des maximums des blocs pour les applications statistiques semble avoir commencé au cours des années 1950. Gumbel a utilisé la distribution des Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV) pour modéliser des maximums de certains processus. Tawn (1992) a appliqué la méthodologie aux données océanographiques, pendant que Walshaw et

Anderson (2000) l'a utilisée pour modéliser des mesures du vent. Les attributs statistiques de l'approche du problème de l'analyse des valeurs extrêmes en employant des limites (thresholds) ont été étudiés de manière détaillée par Davison (1984), Smith (1984), Davison et Smith (1990), Walshaw (1994) et Fitzgerald (1989). La méthode "POT" est aujourd'hui assez courante et elle est considérée, sous certaines conditions, comme étant plus avantageuse par rapport à d'autres techniques d'analyse. L'emploi des processus ponctuels pour l'analyse des valeurs extrêmes est attribué à Pickands (1971). Smith (1989), Coles et Tawn (1996) et Coles et Casson (1999) ont contribué substantiellement à l'emploi du modèle pour d'autres applications. Coles (2001) présente brièvement la base mathématique du modèle, tandis que plus de détails sont donnés par Leadbetter et al. (1983).

L'un des inconvénients majeurs de l'utilisation des maximums annuels est que cela peut être prodigue en données, en raison du fait que de telles approches utilisent seulement une observation par bloc et donc qu'elles ont tendance à ne pas être efficaces. L'une des raisons pour laquelle l'approche avec la méthode du processus ponctuel (processus Poisson) est en général préférée, c'est qu'elle offre une interprétation de la conduite des valeurs extrêmes qui unifie les modèles asymptotiques, et qu'elle conduit à la création de probabilités qui permettent une intégration plus naturelle et plus simple non-permanente des dépassements d'une limite (non-stationarity), à relation par exemple avec la distribution Pareto. Il a été prouvé qu'en raison de ressemblances qui existent entre les deux approches ci-dessus, n'importe quelle exportation des conclusions grâce à l'emploi des processus ponctuels des valeurs extrêmes peut résulter aux mêmes conclusions que l'emploi d'un modèle des dépassements (threshold excess model).

La limite qui est utilisée à la distribution Pareto, ainsi qu'au processus ponctuel Poisson, doit être choisie de façon appropriée, afin que la distribution des valeurs extrêmes choisie converge avec la distribution asymptotique GPD. Le choix du seuil ressemble au choix de la longueur du bloc à l'approche des maximums des blocs, en impliquant une balance entre la partialité (biais) et la variance (variance). Dans ce cas, un seuil trop bas violera probablement la base asymptotique du modèle, en causant de la partialité pendant qu'un seuil trop haut produira peu d'excès avec lesquels le modèle peut être estimé, en causant une variance assez haute. Les méthodes les plus connues qui aident au choix de la limite selon Coles (2001) sont: (a) le diagramme de la valeur moyenne des restes (mean residual life plot) et (b) les diagrammes des paramètres du modèle ($\hat{\sigma}$ et $\hat{\xi}$) avec un spectre des valeurs probables des limites. Le calcul des paramètres du modèle appliqué devient en utilisant des méthodes différentes. Les méthodes les plus souvent utilisées sont la méthode de la probabilité maximale (maximum likelihood estimation) et la méthode Bayes.

Coles (2001) utilise l'approche de la probabilité maximale pour estimer les paramètres des distributions des valeurs extrêmes aux données maritimes, aux données de pluie aussi bien qu'aux données financières. La fonction de probabilité donne la probabilité en fait des observations obtenues, comme une fonction des paramètres $\theta=(\mu, \sigma, \xi)$:

$$L(\theta, x) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (6)$$

et L (ou, pour l'avantage numérique logL) est maximisé en ce qui concerne les paramètres μ , σ et ξ . La méthode ML (Maximum Likelihood) donne des estimations des paramètres impartiaux et de tous les estimateurs impartiaux elle a la plus petite erreur carrée moyenne (Van Gelder, 1999). La maximalisation de $L(\theta, x)$, en ce qui concerne l'ensemble des paramètres θ , est numériquement directe et a aussi l'avantage qu'elle permet facilement le calcul numérique des erreurs typiques et des intervalles de confiance (Coles et al, 2003).

Dans le cadre Bayesian, on traite les paramètres $\theta=(\mu, \sigma, \xi)$ comme des variables hasardées et les distributions préalables (prior distributions) sur eux sont destinées à représenter des convictions de leurs valeurs, avant que les données sont disponibles. La spécification des renseignements dans la forme d'une distribution préalable est considérée alternativement comme la plus grande force et l'écueil principal de l'inférence Bayesian (Coles, 2001). À cause de la rareté des données, la facilité d'inclure d'autres sources d'information par une distribution préalable est évidente, mais puisque des différents analystes spécifient des différentes distributions préalables, les conclusions deviennent subjectives.

L'adaptabilité de la distribution des valeurs extrêmes aux données est contrôlée avec l'aide de quatre diagrammes diagnostiques: a) du diagramme de probabilité (p-p plot), v) du diagramme des points de pourcentage (q-q plot), g) du diagramme du niveau de retour (return level plot) et d) du diagramme de densité (density plot). Le diagramme de probabilité vise à la comparaison de la distribution empirique (abscisse des points) et de celle adaptée aux données (ordonnée des points). Le diagramme des points de pourcentage vise à la comparaison de la distribution adaptée aux données (abscisse des points) et de la distribution empirique (ordonnée des points). Ce diagramme est souvent plus utile que le diagramme de probabilité, puisqu'il utilise l'échelle naturelle des données au lieu de l'échelle de probabilité [0, 1] (Castillo et al., 2005). Le diagramme du niveau de retour est constitué par l'ensemble des points: $\{(m, \hat{x}_m)\}$, avec \hat{x}_m le niveau de retour de l'observation m appréciée, pour des valeurs de m assez grandes. L'abscisse du diagramme est la période de retour à une échelle logarithmique et l'ordonnée est le niveau de retour. Enfin, le diagramme de densité compare la densité $f(x)$ du modèle adapté à un histogramme des valeurs extrêmes.

L'estimation des quantités extrêmes, qui correspondent à une petite probabilité de dépassement est un sujet critique à l'analyse de la dangerosité (risque) des fabrications hydrauliques. L'analyse des ensembles des valeurs extrêmes avec la méthodologie Bayes est habituellement préférée en raison du manque général des données et de la facilité qu'elle offre à comprendre l'analyse d'autres sources d'informations, via les différentes distributions des paramètres préalables de la fonction de probabilité.

Les processus non-stationnaires (non-stationary processes) ont des caractéristiques qui changent systématiquement dans le temps. Dans le cadre des processus de l'environnement, ce phénomène est souvent évident à cause des effets saisonniers, peut-être en raison des différences climatiques des différents mois, ou dans la forme des tendances, peut-être en raison des changements climatiques à long terme. Dans ce cas-là, on adopte plus facilement une approche pragmatique qui utilise les modèles typiques des valeurs extrêmes, comme des gabarits fondamentaux qui peuvent être améliorés par le modélisation statistique.

Un des objectifs principaux de l'analyse des valeurs extrêmes est aussi l'estimation du niveau de retour des t années (t -year return level) $u(T)$. Ceci est fixé comme la limite $u(T)$, pour laquelle le nombre moyen des dépassements dans un intervalle de longueur t , est égal de l'unité. Si X_1, X_2, \dots, X_T sont des variables de distribution commune F , $u(T)$ est la solution de l'équation :

$$u(T) = F^{-1}(1 - 1/T) \quad (7)$$

donc il s'agit de la quantité du pourcentage $(1 - 1/T)$ de la distribution F . Il est en vigueur que :

$$P\{X_1 > u(T)\} = 1 - F(u(T)) = 1/T \quad (8)$$

et ainsi la probabilité de dépassement du niveau de retour $u(T)$ par l'observation donnée pendant l'année considérée (période), est égale à $1/T$.

La prudence est exigée pour interpréter des inférences du niveau de retour, surtout pour les niveaux de retour conformés aux périodes de retour longues. Il devrait être noté que leurs estimations et leurs mesures de précision sont fondées à une hypothèse que le modèle des valeurs extrêmes est correct. Bien que les distributions des valeurs extrêmes sont soutenues par l'argument mathématique, leur utilisation au domaine de l'extrapolation est fondée aux hypothèses non vérifiables et les mesures d'incertitude des niveaux de retour devraient correctement être considérées comme des limites plus basses, qui pourraient être beaucoup plus grandes si l'incertitude à cause de l'exactitude du modèle a été tenue en compte.

4.4 Méthodes de modélisation

Le but de cette section est d'identifier et de classer les méthodes actuellement disponibles pour prévoir des variables qui sont reliées à l'inondation côtière. Certains aspects de la modélisation des sources côtières et des sentiers, comme la modélisation des vagues et du déferlement, sont mûrs et les méthodes disponibles sont nombreuses. D'autres aspects, comme l'exécution des trouées aux défenses, sont peu compris et les techniques de

modélisation en sont encore à leurs premières armes. La gamme des méthodes disponibles (pour certains aspects) et un manque des procédures de conseil formelles pour développer les systèmes de prévision d'inondation côtière, est à l'origine du développement d'approches disparates et ad hoc. Cette section cherche donc de fournir une approche plus structurée de la sélection des instruments appropriés pour la prévision d'inondation qui:

- Facilite la considération d'une gamme de méthodes disponibles qui peuvent être appropriées pour la réalisation d'une tâche spécifique
- Facilite la considération des caractéristiques physiques spécifiques
- Considère les prix du développement et du maintien des modèles
- Considère la fonction générale du système.

Comme il y a beaucoup de modèles qui ont une fonction primaire semblable, mais sont différents du point de vue de la représentation fondamentale des processus qui sont représentés, il est quelquefois difficile de déterminer quelle modélisation est la plus appropriée. Il peut donc être utile de définir des catégories de modèles. Réalisée de manière expressive, la catégorisation peut soulager du fardeau d'apprendre par coeur le but et la fonction de chaque modèle disponible et peut aider à la sélection de l'approche la plus appropriée.

En développant un système de catégorisation il est d'abord important d'identifier l'utilisation désirée et la fonction du système. La fonction primaire du système de catégorisation doit aider à la sélection de l'approche prévisionnelle de modélisation par rapport à un site particulier. Plus spécialement, le système devrait aider au développement d'une approche conséquente, appropriée et transparente pour la sélection du modèle.

La base sous-tendante du système de catégorisation décrite ici, est le niveau de complexité du modèle. Le niveau de complexité a été défini de dépendre: a) des exigences des données, b) de la résolution, c) des processus physiques et d) des caractéristiques des équations sous-tendantes.

La catégorisation des modèles a deux fonctions primaires. D'abord, elle divise les quatre zones physiques de la mer ouverte, de l'avant côte, de la réponse de la côte et de l'inondation côtière. Deuxièmement, elle utilise les renseignements concernant les propriétés des modèles pour élaborer une série des catégories de complexité croissante. Pour faciliter la compréhension, une terminologie commune et conséquente a été utilisée pour décrire la gamme des catégories pour chaque zone physique. Ces catégories classées en fonction de leur complexité croissante sont (Defra, 2003):

- Le Jugement - Défini comme une approche non-mathématique basée sur l'intuition et l'expérience
- Empirique - Défini comme un modèle qui n'essaie pas de simuler les processus physiques, mais rattache les observations ou les mesures des contributions comme les conditions des vagues et les niveaux de l'eau directement aux résultats comme les taux du débordement
- La Première Génération - Essaie de modéliser explicitement les processus physiques, en impliquant souvent un certain nombre d'hypothèses simplifiées
- La Deuxième Génération - Essais plus sophistiqués de modélisation des processus physiques, en impliquant des méthodes plus avancées (moins simplifiées) que les méthodes de la Première Génération
- La Troisième Génération - Des méthodes avancées qui essaient de modéliser les processus physiques, qui incluent peu d'hypothèses simplifiées.

Le système de catégorisation est illustrée dans la figure 3. Les caractéristiques des modèles des 3 dernières catégories (première, deuxième et troisième génération) sont présentées dans les paragraphes suivants.

Pour la prédiction des vagues en mer ouverte les modèles de la Première Génération fournissent des prédictions à un point unique. Ils considèrent la génération des vagues et la dissipation de l'énergie sous le nom de "white capping". Les modèles de la Deuxième Génération sont des modèles 2DH, qui fournissent des résultats sur la région sous forme de grille. Ils résolvent l'équation de balance de l'énergie et leur caractéristique identifiable est la description paramétrique du spectre des vagues. Les modèles de la Troisième Génération ressemblent à ceux de la Deuxième Génération, mais incluent une présentation explicite des interactions des « primary wave-wave ».

Pour les prévisions du niveau de l'eau en mer ouverte/ sur l'avant côte (la marée et la marée de tempête) les modèles de la Première Génération sont des modèles 2DH, qui fournissent des résultats de composantes de la marée et de la marée de tempête pour une région donnée. Ils résolvent les équations non linéaires de l'eau peu profonde et utilisent les contributions du vent et de la pression atmosphérique sur la région à modéliser. Les modèles plus avancés incluent les effets de rupture des vagues, en provoquant l'élévation du niveau de l'eau dans des régions de l'avant côte. Les modèles de la Deuxième Génération sont des modèles 3D qui incluent les effets de la température et de la salinité, aussi bien que les caractéristiques des modèles de la Première Génération. Pour la prédiction de la vague de l'avant côte, il y a des modèles de la phase de résolution et de la phase moyenne. Les modèles de la Première Génération de la première catégorie (par exemple les modèles 'd'inclinaison légère') sont des modèles 2DH, qui fournissent des élévations de la surface instantanées sur une région donnée. Ils incluent une représentation linéaire de réfraction, de formation des seuils légers et une représentation approximative de diffraction. Les modèles de la Deuxième Génération (par exemple modèles Boussinesq) sont des modèles 2DH qui incluent la représentation de diffraction, de réfraction et de formation des seuils légers non linéaires. Les modèles de la Première Génération de la dernière catégorie sont des modèles 2DH, qui fournissent des résultats en un point ou dans une région et ils ont une représentation linéaire de réfraction et de formation des seuils. Les modèles de la Deuxième Génération sont des modèles 2DH, qui fournissent des résultats en faisant la moyenne des composantes de la marée et de la marée de tempête à travers une région donnée. Les modèles de la Troisième Génération ressemblent à ceux de la Deuxième Génération, mais ils incluent une représentation explicite du transfert non linéaire de l'énergie provenant de fréquences des interactions des primary wave-wave. Pour la prédiction du niveau de l'eau sur l'avant côte les modèles incluent tous les processus fondamentaux, inclus dans les modèles pour prédire les niveaux de l'eau en mer ouverte. La caractéristique identifiable est la résolution spatiale augmentée qui est exigée pour analyser les caractéristiques côtières.

Pour la prévision du déferlement des vagues les modèles de la Première Génération sont des modèles 1D et 2DH, qui fournissant des résultats à un profil ou à une longueur de défense. Ils incluent une représentation non linéaire, de la phase de résolution de: la propagation des vagues qui ont subi la rupture, l'élan et le déferlement. Les modèles de la Deuxième Génération sont des modèles 2DV ou 3D, qui fournissent des résultats sur un profil ou sur une longueur de défense. Ils incluent une représentation non linéaire, de la phase de résolution de: la propagation et la rupture des vagues sur les structures, la résolution verticale des vitesses et des pressions et la représentation complète de la surface libre. Pour la prévision de la création des trouées, les modèles de la Première Génération incluent une représentation de la croissance des trouées, pendant que les modèles de la Deuxième Génération incluent une représentation des trouées (endroit, initiation, croissance). Les modèles de la Troisième Génération sont des modèles hydrodynamiques 3D qui simulent l'évolution d'une trouée.

Pour l'inondation, les modèles de la Première Génération sont des modèles 1D qui incluent l'écoulement unidirectionnel sur ou à travers des structures de contrôle et entre les cellules d'inondation. Les modèles de la Deuxième Génération incluent des modèles hybrides qui combinent les approches de la modélisation en 1D et en 2DH, qui permettent d'estimer plus rapidement les profondeurs de l'inondation dans les zones inondées. Ces modèles fournissent aussi bien la profondeur que la vitesse qui permet la représentation de l'eau qui se propage dans plusieurs directions. Les modèles de la Troisième Génération sont rapportés avec des modèles 3D pour garantir l'hydrodynamique exacte comme la trouée change.

4.5 Modèles et Techniques

La confrontation réussie des risques en raison des phénomènes d'érosion et d'inondation, constitue une priorité des États bordés de côtes et de croissance intense des activités sur la zone côtière. La confrontation est certainement le dernier stade d'une procédure de compréhension et de description quantitative réussie des phénomènes qui ont lieu dans l'environnement marin, dans l'interface terre/mer et à l'intérieur de la zone côtière. Ces phénomènes sont étudiés avec un ensemble des techniques, parmi lesquels les modèles numériques de prévision ont un rôle souverain.

L'action du vent et des vagues, l'érosion côtière et l'effet sur les régions côtières (overtopping, breaching, flooding), ne peuvent pas être normalisées ni décrites précisément en utilisant des modèles mathématiques simples. Le polymorphisme des champs d'étude et la complexité des tâches ci-dessus, ont conduit à la médiocrité - du point de vue de l'efficacité - de tous les efforts de simplification et de confrontation unique du problème, via des solutions analytiques. La croissance des micro-ordinateurs (PCs) combinée avec les méthodes de résolution numérique (des éléments finis, des différences finies, des volumes finis) ont conduit à la croissance des modèles de prévision, qui constituent aujourd'hui l'outil le plus important de l'enquête opérationnelle.

En considérant l'environnement naturel comme un système de régions / zones qui réagissent réciproquement mais sont distinctes, nous sommes conduits à la classification plus large des modèles, par rapport à la région, selon les phénomènes décrits. Ainsi il existe :

- **des modèles en mer ouverte** (offshore models), qui décrivent la création des vagues et du changement du niveau de l'eau sous l'action du vent, des courants et de la marée (astronomique et météorologique)
- **des modèles de l'avant côte** (nearshore models), qui décrivent la formation des seuils, de réfraction, de diffraction et de rupture des vagues
- **des modèles de changement des côtes** (beach evolution models), qui décrivent la transformation transversale et parallèle des solides et par conséquent le changement de la géomorphologie côtière.
- **des modèles de la réponse de la côte à la rampe de déferlement** (shoreline overtopping and breaching models), qui décrivent la réponse des obstacles naturellement formés et des travaux anthropiques dus à l'écoulement de l'eau
- **des modèles d'inondation** (flood inundation models), qui combinés avec un modèle digital du terrain (digital terrain models) étudient les phénomènes de la zone d'inondation.

Pour la bonne marche diachronique de l'enquête, pour chacune des catégories décrites ci-dessus des modèles simples descriptifs (approches non mathématiques fondées sur l'expérience) et empiriques (corrélations directes des observations et des mesures) ont été développés, jusqu'à la dernière génération des modèles à trois dimensions d'ampleur des paramètres exportés.

En ce qui concerne la résolution territoriale des équations, ils existent des modèles unidimensionnels "1-D" (les plus courants sont ceux de l'érosion transversale), des modèles à deux dimensions "2-D", qui décrivent les phénomènes soit à deux dimensions horizontales en considérant des conditions uniformes à la dimension verticale (des modèles horizontaux à deux dimensions "2-DH"), soit à une dimension horizontale et la verticale en considérant des conditions uniformes à la deuxième horizontale (des modèles verticaux à deux dimensions "2-DV"). En conclusion, il existe des modèles à trois dimensions "3-D", qui sont plus exacts mais aussi plus complexes, et se limitent à l'étude de régions plus petites.

Les sous-catégories de la classification des méthodes de résolution les plus particulières sont:

- modèles linéaires (linear models) qui se limitent, en acceptant quelques hypothèses, aux termes linéaires des équations qui décrivent les phénomènes et les modèles non linéaires (non linear models), qui comprennent des conditions d'ordre supérieur et la corrélation entre les variables
- la résolution qui utilise des méthodes des éléments finis (finite element modeling), des différences finies (finite difference modeling) ou des volumes finis (finite volume modeling)
- modèles de la phase moyenne (phase-averaging models), qui donnent la moyenne de l'occurrence des phénomènes/ tâches qu'on étudie (modèles de la mer ouverte et modèles des vagues côtières) et des modèles de la phase de résolution (phase-resolving models), qui offrent une simulation des phénomènes pour chaque pas horaire d'étude (modèles de la zone de rupture et de la zone d'escalade)
- modèles couplés (coupled models), pour lesquels il y a transport à sens unique et double des données-résultats entre des modèles différents
- les modèles rapportés (nested models), pour lesquels il y a transport des exportés d'un modèle comme entrés à un autre modèle de discrétisation plus grande, pour l'étude plus détaillée d'une région limitée du champ initial

Au Tableau 6 les modèles numériques de prévision les plus connus qui ont été développés sont mentionnés, classifiés - pour des raisons de contrôle – dans les catégories précitées les plus importantes (Defra, 2003).

MER OUVERTE		EAUX COTIÈRES		CHANGEMENT DES CÔTES		REPOSE DE LA CÔTE A LA RAMPE DE DEFERLEMENT		INONDATION
Vagues	Niveau de l'eau	Vagues		Traversales à la côte	Parallèles à la côte	Débordement	Exécution des trouées	
		de la phase de résolution	de la phase moyenne					
ADCIRC TOMAWAK UKMO UKMO UK WISWAVE WAVEWATCH III	ADCIRC CS3 (UKMO/POL) HYDROF FEMA surge FINEL2D/3D FLOW 2D/3D MECO MIKE21 HD/HND POLCOMS TABS RMA TELEMAC-2D/3D WAQUA WIMF	BOWAM 2D CGWAVE FUNWAVE HARES MIKE21 BW MIKE21 PMS RCP-WAVE REF/DIF	AFDA BOUSS-2D COSMOS COWADIS ENDEC HISWA MIKE21 EMS MIKE21 NSW NTUA RCPWAVE REFRAC STORMS STWAVE SWAN TELURAY TOMAWAC WAM WENDIS	COSMOS CROSMOR DELFT 2D/3D LITCROSS SBEACH SEDITEL UNIBEST-TC WATAN 3	GENESIS NMLong-CV ONELINE	AMAZON-CC AMAZON-SC FAVOR NEWMOTICS OTT SKYLLA	BRDAM BREACH COSMOS FINEL 2D/3D HR BREACH NWS SHINGLE	HYDROF INFOWORKS ISIS LISFLOOD-FP MIKE 21 TELEMAC 2D FINEL 2D/3D

Tab. 6. Modèles numériques de prévision

Figures

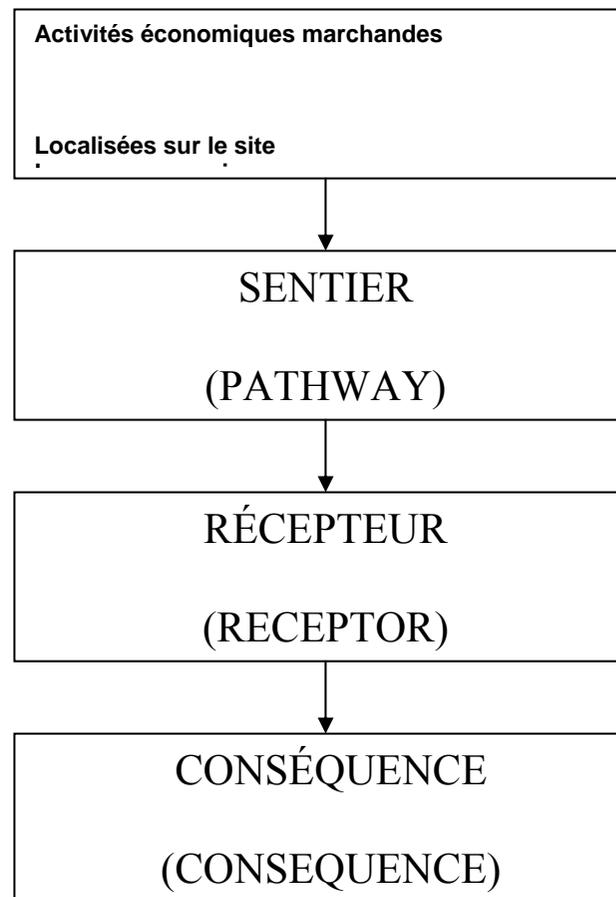


Figure 1. Modèle conceptuel :
Source - Sentier - Récepteur - Conséquence

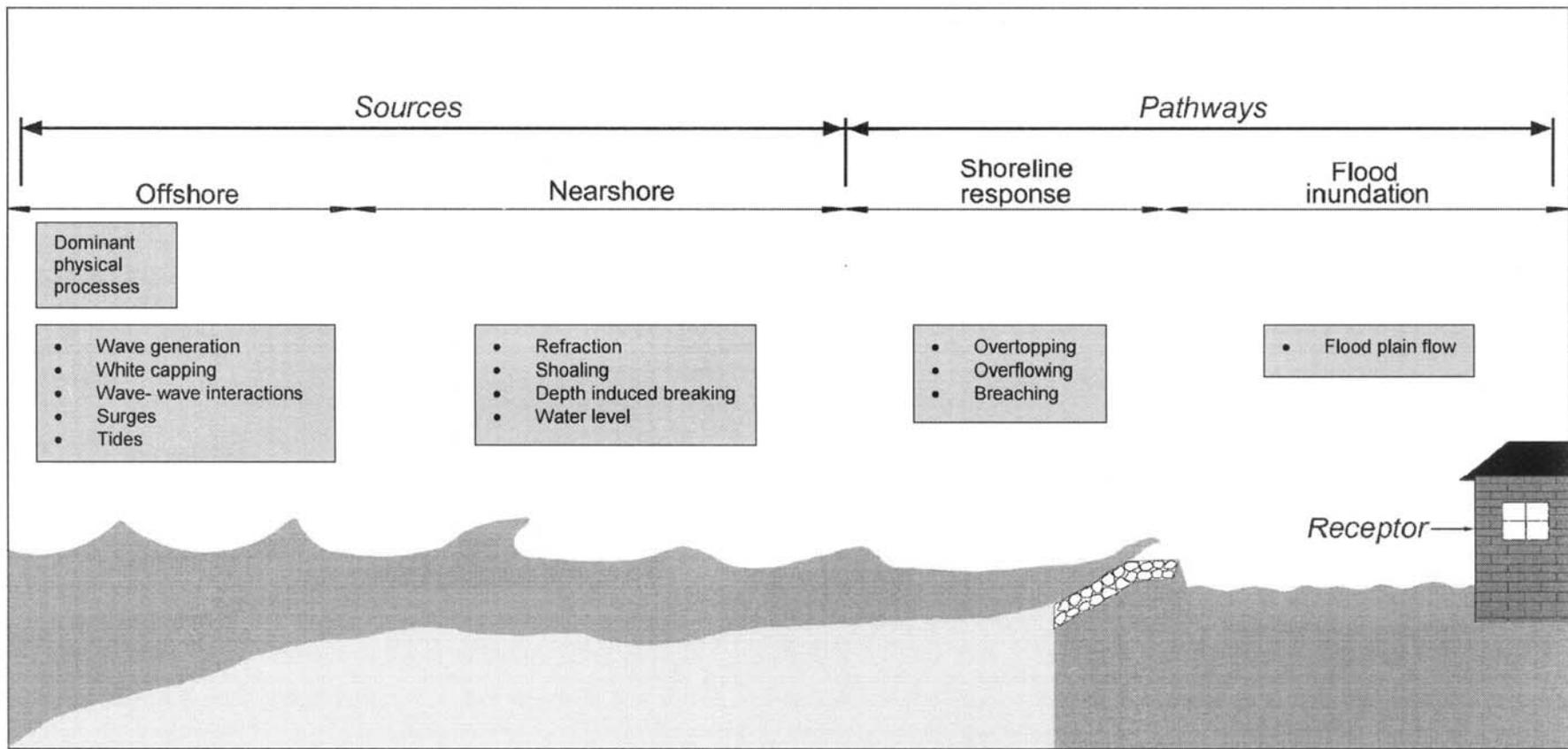


Figure 2. Caractérisation du système physique

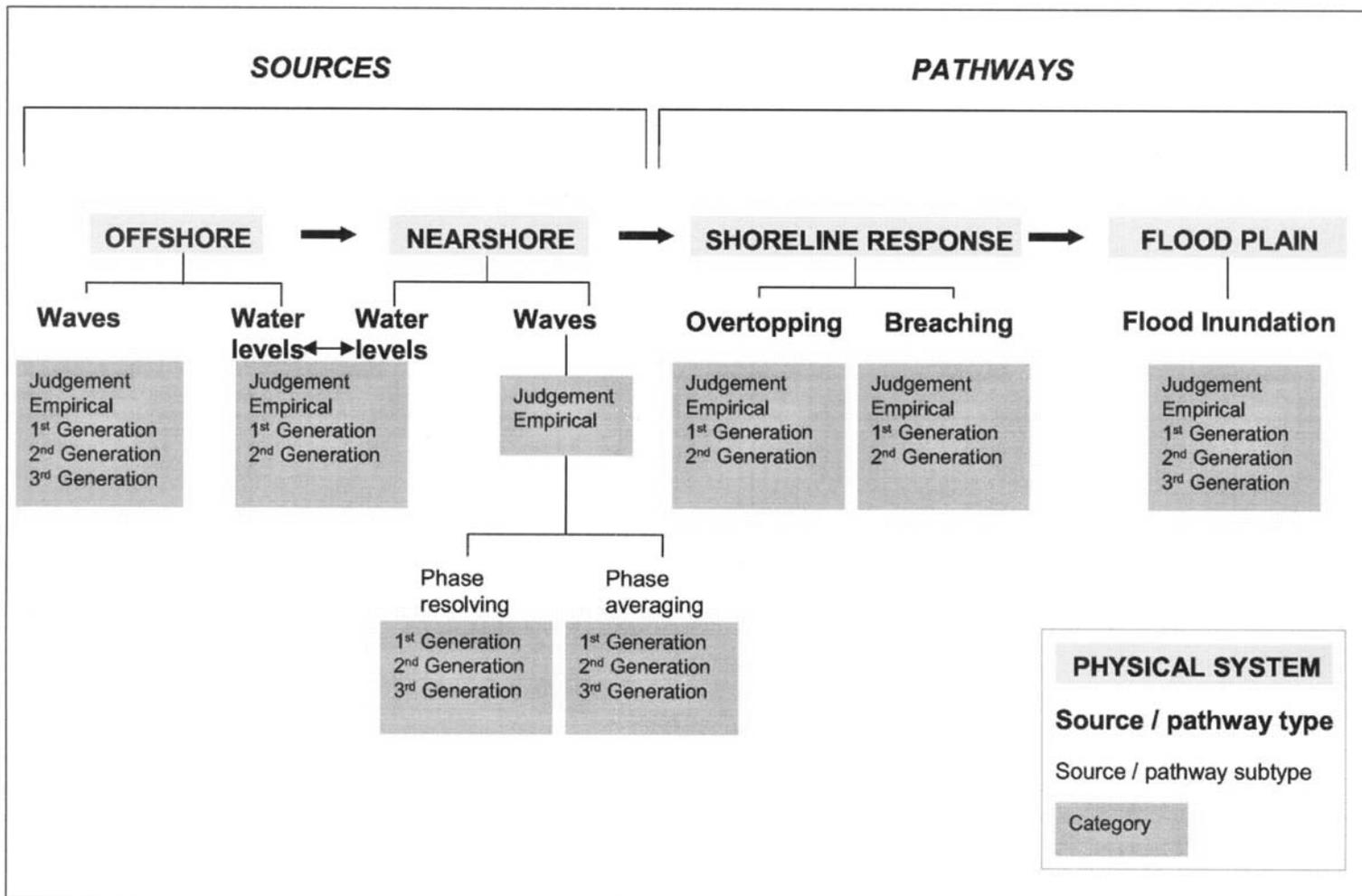


Figure 3. Le système de catégorisation

4.6 Bibliographie

- CASTILLO, E., HADI A. S., Balakrishnan, N. and Sarabia J. M. (2005) - Extreme value and related models with applications in engineering and science, Wiley Series in Probability and Statistics.
- COLES, S. G. and TAWN, J. A. (1996) - Modelling extremes of the areal rainfall process, Journal of the Royal Statistical Society, B 58: 329-347.
- COLES, S. G. and CASSON, E. A. (1999) - Spatial regression models for extremes, Extremes, 1: 449-468.
- COLES, S. (2001) - An introduction to statistical modelling of extreme values, Springer Series in Statistics.
- COLES, S., PERICCHI, L. R. and SISSON, S. (2003) -A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling, Journal of Hydrology, 273: 35-50.
- DABEES, M.A. (2000) - Efficient modeling of beach evolution, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Queen's University. Kingston, Ontario, Canada.
- Dolan, R. and Davis, R.E. (1992) -An intensity scale for Atlantic coast northeast storms, Journal of Coastal Research, 7(1): 53-84.
- DAVISON, A. C. and SMITH, R. L. (1990) - Models for exceedances over high thresholds (with discussion), Journal of the Royal Statistical Society, B 52: 393-442.
- DAVISON, A. C. (1984) – Modelling excesses over high thresholds, with an application. In Tiago de Oliveira, J., editor, Reidel, Dordrecht, Statistical Extremes and Applications: 461-482.
- DEFRA/ Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme (2003) - Best practice in coastal flooding, R&D Technical Report FD2206/TR1, Workshop Version issued 24/09/03, HR Wallingford Report TR 132.
- FITZGERALD, D. L. (1989) - Single station and regional analysis of daily rainfall extremes, Stochastic Hydrology and Hydraulics, 3: 281-292.
- Hill, H. W., Kelley, J. T., Belknap, D. F. and Dickson, S. M. (2004) -The effects of storms and storm-generated currents on sand beaches in Southern Maine, USA. Marine Geology, 210: 149-168
- HR Wallingford (2004) - Best practice in coastal flood forecasting, HR Wallingford Report TR 132.
- Leadbetter, M. R., Lindgren, G. and Rootzen, H. (1983) - Extremes and Related Properties of Random Sequences and Series, Springer Verlag, New York.
- Mendoza, E. T. and Jimenez, J. A. (2004) - Factors controlling vulnerability to storm impacts along the Catalanian coast, In J.Smith (Editor), Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering, Lisbon, Portugal.
- Mendoza, E. T. and Jimenez, J. A. (2006) - Storm-induced beach erosion potential in the Catalanian coast, Journal of Coastal Research, SI 48.
- MacClenahan, P., McKenna, J., Cooper, J. A. G. and O'Kane, B. (2001) - Identification of highest magnitude coastal storm events over western Ireland on the basis of wind speed and duration thresholds, International Journal of Climatology, 21 : 829-842.
- PICKANDS, J. (1971) – The two-dimensional poisson process and extremal processes, Journal of Applied Probability, 8: 745-756.
- Saffir, H. S. and Simpson, R. H. (1971) - A proposed scale for ranking hurricanes by intensity Minutes of the eight NOAA, NWS Hurricane Conference, Miami, Florida.
- SMITH, R. L. (1984) - Threshold methods for sample extremes. In Tiago de Oliveira, J., editor, Reidel, Dordrecht, Statistical Extremes and Applications: 621-638.
- SMITH, R. L. (1989) - Extreme value analysis of environmental time series: an example based on ozone data (with discussion), Statistical Science, 4: 367-393.
- Sorgedragger, J.M. (2002) - Cross-shore sediment transport on the shoreface, Behaviour analysis of Unibest-TC sediment transport formulations, Diploma Thesis, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology. Delft, Netherlands.
- TAWN, J. A. (1992) - Estimating probabilities of extreme sea levels, Applied Statistics, 41: 77-93.
- VAN GELDER, P.H.A.J.M., (1999) - Statistical Methods for the Risk-Based Design of Civil Structures, PhD Thesis, Delft University of Technology.

WALSHAW, D. (1994) - Getting the most from your extreme wind data: a step by step guide, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 99: 399-411.
WALSHAW, D. and ANDERSON, C. W. (2000) -A model for extreme wind gusts, Applied Statistics, 49: 499-508.

Ressources sur Internet

UK Environment Agency. www.environment-agency.gov.uk

USACE, Coastal and Hydraulics Laboratory. chl.erdc.usace.army.mil

5 Partenaire 6, IACM - FORTH - Fondation pour la Recherche et la Technologie, Institut de mathématiques appliquées

5.1 Introduction

La zone côtière constitue le point central des activités humaines. La rivage marin mer offre des conditions favorables pour l'installation de la population et la croissance d'un grand nombre d'activités. Pour cette raison, la pression humaine, qui s'exerce sur la zone côtière et qui continuera à s'intensifier du fait de la croissance de la population mondiale, finira par représenter une menace pour l'environnement marin et côtier. Le tissu urbain qui est lié aux zones côtières subit les impacts des infrastructures portuaires et des activités productives relatives à la mer et il est appelé à faire face à la dynamique côtière de destruction. La limite entre la terre et la mer est devenue un espace de conflits et de risques.

Les interventions pour la défense et la revalorisation de la côte doivent devenir partie intégrante d'une gestion globale du terrain qui reconnaît la vulnérabilité de la zone côtière et permet une planification à moyen terme et à long terme des ressources. Cette gestion doit comprendre tous les niveaux de décision et se rapporter aux connaissances, expériences et aux outils intégrés. L'organisation et la gestion du terrain doivent être réalisées en même temps que la planification territoriale et urbaine et les règles d'utilisation du territoire doivent être dictées par le rendement de la croissance dans une perspective de durabilité en reliant particularités territoriales et socio-économiques ; cette approche permet le maintien de paysages naturels locaux et régionaux qui constituent une source de base pour tout le bassin de la Méditerranée.

Le travail proposé prévoit par conséquent, la fabrication de scénarios à court terme et à long terme sur les risques des côtes ; la reconnaissance des méthodes d'analyse et d'intervention pour le sauvegarde de l'environnement et la protection des infrastructures côtières. L'objectif plus général du sous-projet est la reconnaissance d'une méthodologie pour l'analyse et la gestion des régions côtières. Il faut souligner que l'Institut de Mathématiques Appliquées de la Fondation pour la Recherche et la Technologie se focalisera sur le développement d'un modèle informatique de prévision des inondations des côtes et sur les degrés de mesure correspondants pour l'étude de l'inondation.

Ceci pourra avoir lieu si les conditions suivantes sont réunies

- appréciation des risques d'inondation et d'érosion
- définition des critères pour la reconnaissance des zones à risque
- définition des critères de défense des côtes
- définition d'une procédure d'appréciation des risques, de diminution des effets et d'aménagement du territoire.

Pour la réussite de ces points, il faut déterminer le niveau cognitif existant en ce qui concerne la prévision sur l'inondation et l'érosion des côtes.

5.2 Modèles mathématiques

Les courants de surface libre sous l'effet de la gravité présentent un intérêt scientifique et pratique majeur. L'effondrement de barrages, les inondations de rivières et de régions côtières en sont certains exemples. Les vagues longues comme les marées, ou celles générées par les tempêtes de pluie et les tsunamis peuvent inonder des régions basses en provoquant des accidents et des dégâts aux propriétés (Wei et al, 2006). Les équations Navier-Stokes sont un modèle mathématique complet qui décrit le flux des fluides. Cependant, son utilisation est rendue difficile par l'existence de la surface libre. Pour arriver à un modèle facile à résoudre, nous devons admettre que la profondeur de l'eau est minime par rapport à la courbe de la surface libre. Ainsi nous sommes conduits à un système d'équations différentielles non linéaires de type excessif, les équations St. Venant qui sont utilisées principalement pour les calculs de fleuves et avec simplification ultérieure de la topographie nous prenons les équations d'eaux peu profondes qui, ces dernières années, sont utilisées toujours davantage

pour l'étude de phénomènes comme les inondations de régions côtières, et l'étude de la montée maximale des vagues sur la côte (Lynett & Liu, 2005, Liu & al., 2005, Synolakis, 1987, Madsen & Jacobsen, 2004). Sur les régions côtières peu profondes et sur les deltas des rivières ces modèles donnent une simulation réaliste des niveaux de l'eau (Battjes & Gerritsen, 2002, Sutherland & al, 2004) et ont de bonnes capacités de prévision (Madsen & Jacobsen, 2004). Les chercheurs ont développé de nombreuses méthodes analytiques et arithmétiques fondées sur les équations d'eaux peu profondes pour décrire les travaux naturels. On utilise habituellement des schémas de différences finies (finite differences) à une et deux dimensions sur les modèles de montée de flottements longs (Liu & al, 1995) qui modélisent la procédure de montée en inondant et en asséchant les cellules voisines où se produisent les changements de niveau de l'eau. Titov et Synolakis (Titov & Synolakis, 1995, 1998) ont étendu leur modèle à une dimension, sur deux dimensions via un schéma séparé et en utilisant des techniques de type Neumann pour l'exportation de la vitesse de frontière de mise en mouvement.

Les méthodes d'éléments finis sont également une approche populaire à la modélisation d'écoulements à deux dimensions, en raison de discrétisation du schéma flexible. Gopalakrishnan et Tung (Gopalakrishnan & Tung, 1980) et Zelt (Zelt, 1991) ont développé des modèles de montée de vagues longues basés respectivement sur des schémas Euleriens et Lagrangiens.

Lorsque nous avons à faire face à des discontinuités d'écoulement, la conservation du volume est un sujet important pour les modèles non conservateurs dans le cas des équations non linéaires d'eaux peu profondes.

La méthode des volumes finis a l'avantage de résoudre la forme absolue des équations non linéaires d'eaux peu profondes en tant que schéma conservateur complet. Les schémas arithmétiques de type Godunov, avec l'hypothèse de Riemann ont la faculté de calculer correctement les discontinuités. Dodd (Dod, 1998) a étudié des problèmes de genèse à une dimension, de montée et de franchissement de l'onde, en utilisant d'une formule Roe hypothèse de Riemann et en analysant le problème de la frontière de mise en mouvement en considérant une profondeur minimale d'eau dans les régions étanches. Hu et al. (Hu et al, 2000) ont présenté un modèle semblable avec une formule de type Godunov, schéma upwind et Harten, Lax, et van le Leer (HLL) hypothèse de Riemann approximative. Bocchini et autres (Broccini et al, 2001) ont appliqué la méthode des volumes finis à deux dimensions en utilisant la méthode d'évaluation d'écoulement pour l'hypothèse de Riemann exacte. Hubbard et Dodd (Hubbard & Dodd, 2002) ont étendu la méthode de Dodd (Dodd, 1998) sur deux dimensions en utilisant un algorithme de grille adaptée tandis que Bradford et Sanders (Bradford & Sanders, 2002) ont créé un modèle semblable mais ont utilisé une méthode caractéristique pour le repérage de la frontière de mise en mouvement. Ensuite les équations qui nous occuperont sont principalement les équations St. Venant et les équations d'eaux peu profondes pour des problèmes d'inondation de régions principalement côtières. La production et l'étude des équations précitées et de leurs attributs sont contenus dans les livres de (Leveque, 1992, Leveque, 2002, Toro, 2001)

5.3 Méthodes appliquées

La prévision des risques d'inondation sur les côtes est indispensable en raison du pourcentage important de la population mondiale qui habite sur les côtes. En 1990, la population qui habitait à une distance de 100 km et à une altitude de 100 m de la ligne côtière s'est élevée à 1.2 milliard de personnes (Small et Nicholls, 2003). La zone côtière comprend également une concentration élevée des plus grandes villes mondiales (Nicholls, 1995). La croissance côtière est déjà menacée par une série de risques naturels comme les vagues de tempête, les marées et des tsunamis. En outre, les changements dus aux hommes comme, par exemple, le creusement et la réhabilitation de terrain s'opposent à l'évolution naturelle de la zone côtière et augmentent le risque de dégâts dus aux inondations et aux tempêtes. Le changement climatique, et en particulier la hausse du niveau de la mer (sea level rise, SLR), est un problème supplémentaire qui pourrait augmenter le risque sur la zone côtière (Nicholls, 2002). Par conséquent, l'appréciation stratégique de l'inondation côtière et de ses répercussions doit être insérée dans un cadre qui soit en mesure d'estimer les situations actuelles et futures probables.

Un progrès important a été enregistré ces dernières années sur la croissance des méthodologies pour l'appréciation du risque et la gestion de la côte (Vrijling, 1993, Meadowcroft et al, 1996, USACE, 1996, Reeve, 1998, Voortman, 2002 et Hall et al, 2003). Toutes ces méthodes, qui ont pour objectif l'étude des inondations côtières, nécessitent la prévision du niveau de l'eau et le degré d'inondation de la côte. Des prévisions de ce type sont obtenues par les modèles hydrodynamiques arithmétiques. Ces modèles doivent avoir la faculté de se rapprocher correctement du mécanisme naturel souverain qui gouverne l'hydrodynamique des inondations côtières, en ayant un coût informatique réduit. Pendant la dernière décennie quelques approches simplifiées, à deux dimensions, ont été développées, en particulier pour les inondations de rivières (Estrela & Quintas 1994, Bechteler et al. 1994, Romanowicz et al 1996, Bates & De Roo 2000, Dhondia & Stelling 2002, Venere & Clause 2002). Il a été démontré que les modèles simplifiés ci-dessus (Horrit & Bates 2002) se comportent correctement pour des inondations de rivières, en prévoyant l'inondation maximale. Ceci se base sur une estimation contrairement à l'inondation observée grâce à des données qui ont été reçues par photographies aériennes et satellites. Malgré tout, de telles techniques doivent être examinées en détail pour être appliquées à des inondations côtières. Théoriquement, de telles méthodes doivent fonctionner aussi bien sur des régions côtières et être capables d'être appliquées à des régions plus vastes pour une analyse territoriale élevée. Durant les années 80 et 90, les évolutions des logiciels et du calcul ont conduit les chercheurs à essayer d'intégrer les modèles liés 1D-2D aux systèmes géographiques d'informations en utilisant la géométrie des éléments variés inclus des hexagones (Estrela & Quintas, 1994), de maillage régulier (Bechteler et al, 1994) ou des unités entières de lits d'inondation (Romanowicz et al, 1996).

Néanmoins, de telles applications ont été privées des éléments de topographie et de validation indispensables aux évolutions de logiciel et de modélisation. Il existe seulement depuis peu une vaste disponibilité de l'analyse territoriale précise des données topographiques, de sources comme (LiDAR), les radars aériens avec rayons laser et des satellites qui permettent la simulation réaliste des phénomènes.

Plus concrètement, certains modèles qui ont été concrétisés pour l'étude et la prévision d'inondations, sont : LISFLOOD-FP de l'université de Bristol (Bates & De Roo 2000, Bates et al. 2005), HEC-RAS de l'armée des Etats Unis (US Army Corps of Engineers) (Horrit & Bates 2002) et TELEMAC-2D du Laboratoire d'Hydraulique de EDF-DER (Chatou, Paris) (Bates & De Roo 2000, Horritt & Bates 2001a, 2002). Le code HER-RAS est fondé sur les équations St. Venant à une dimension et concerne seulement les inondations de rivières.

Le modèle arithmétique TELEMAC-2D est un modèle 2D qui peut être utilisé pour se rapprocher des flux sur des problèmes de surface libre. Le modèle arithmétique a été développé par le Laboratoire d'Hydraulique de EDF-DER (Chatou, Paris). Son but est de se rapprocher des flux de surface libre à deux dimensions. A chaque point de la grille de calcul la profondeur de l'eau et les composantes de la vitesse sont calculées.

Le TELEMAC-2D résout les équations St. Venant en utilisant la méthode des éléments finis et la méthode de volume fini. La grille de calcul est constituée d'éléments triangulaires. Le modèle TELEMAC-2D prend en compte pour la résolution des équations, les éléments ci-dessous :

- Propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires
- Frottement sur le fond
- Influence de la force de Coriolis
- Influences des phénomènes météorologiques.
- Turbulence
- Ecoulements torrentiels et fluviaux
- Zones sèches dans le domaine de calcul

Les domaines d'application de TELEMAC-2D sont nombreux. Certains d'entre eux sont les applications côtières, les études de fabrication de digues, l'influence des estuaires de rivières, l'étude de diverses constructions sur des rivières, l'effondrement de barrages et les études d'inondations. Une description du modèle est disponible au "TELEMAC-2D Modelling System - Users Manual".

Le code LISFLOOD-FP qui a graduellement été développé par Bates & De Roo initialement pour des inondations de rivières s'est développé avant d'être appliqué à des régions côtières. C'est un modèle hydrodynamique 2D, prévu pour se rapprocher des inondations de régions avec une méthode de calcul performante sur des topographies composées. Il a la faculté de se rapprocher des grilles jusqu'à 10^6 cellules (Figure.1).

Le modèle calcule la profondeur de l'eau à chaque cellule de calcul à chaque pas horaire et par conséquent il peut se rapprocher de l'évolution dynamique des ondes d'inondation sur des régions fluviales et côtières. C'est un code de recherche qui a été développé sur un effort d'amélioration de la compréhension de l'hydraulique des inondations, la prévision d'inondations et l'appréciation du risque d'inondations. Le modèle est fondé sur les équations St Venant. Il se distingue de par son utilisation des différences finies et un schéma direct pour la dépendance horaire. Le système induit non linéaire qui en résulte se résout avec le schéma Newton-Raphson. DE plus des conditions aux limites propres sont inutilisées. Des comparaisons du modèle ci-dessus, modifié de façon appropriée, (Bates & al.) avec d'autres par ex. HEC-RAS, TELEMAC-2D ont montré que le modèle peut se rapprocher du degré maximal d'inondation lui-même ou même mieux que d'autres méthodes.

Dans certains travaux (de Bates et al., 2005) l'extension du modèle est telle qu'il peut calculer aussi des inondations de régions côtières. Il faut encore mentionner des résultats de calcul qui montrent le comportement du modèle au calcul de telles situations. Il y a quatre exemples qui sont chacun une simulation de phénomènes réels. Plus concrètement, quatre régions du Royaume-Uni sont étudiées (Figure 2.)

5.4 Exemples numériques

Le premier exemple est la région de Towyon dans le nord du Pays de Galles qui se trouve sur le delta de la rivière Clwyd. La ville a été inondée en février 1990 lorsqu'une vague orage (storm) de 1.3m a coïncidé avec une marée élevée et avec des vagues de 4.5m. Ce phénomène se produit approximativement une fois tous les 500 ans. La côte légèrement inclinée a été inondée sur une longueur de 2 kilomètres et sur une profondeur maximale de 2 m. Bien qu'il n'y ait pas eu de conséquences directes, 5000 personnes ont été évacuées de 3000 propriétés et les productions agricoles ont été détruites. Les dégâts ont atteint 50 millions de dollars (HR Wallingford, 2003)

Une étude récente du phénomène par HR Wallingford donne une information sur les niveaux de défense, la répartition des vagues et de l'eau ainsi que son franchissement. Le modèle Lisflood-fp a été appliqué à une région de 12.5 x 9 km avec $dx=50$ m. La courbe de marée décrite pour l'événement de 1990 et les volumes reliés de franchissement qui ont été estimés par HR Wallingford ont été considérés en tant que conditions frontalières de la ligne de défense. Le calcul des volumes de franchissement est incertain à 20-30% tandis que la courbe de marée est plus exacte et on estime l'erreur maximale à seulement ± 10 cm. D'autre part, en faveur de la comparaison le degré d'inondation est calculé avec la méthode simple GIS (figure 3).

Un deuxième exemple est celui de la ville de Fleetwood (figure 4). C'est une petite ville côtière de la partie sud-ouest du Royaume Uni qui a été inondée le 11 novembre 1977 en raison de la combinaison de vagues élevées et de tempête de pluie. L'inondation est due au franchissement de l'eau sur une partie du mur de défense. Un ample franchissement sur une grande longueur a également eu lieu sur la côte ouverte. Sur la base d'une appréciation des plans défensifs, la masse de franchissement subordonnée au temps a été calculée et a été donnée par le Conseil local (Wicks et al, 2003). Ceci comprenait une masse accrue de franchissement et il est probable que cela ait conduit à une erreur de ± 50 % et étant donné que nous n'avons pas ici de données plus exactes pour la courbe d'inondation, la définition des conditions marginales est plus incertaine que dans l'exemple de la ville de Towyn. Enfin ici le modèle numérique de terrain (DEM) est obtenu par la méthode LiDAR qui avait une analyse horizontale de 2m et une précision verticale de 0.15m verticale rmse. Ces données ont été élaborées afin que soit créée une "terre en friche" DEM en enlevant la végétation et les éléments de construction et en utilisant un algorithme standard bien qu'une inspection optique du DEM final révèle qu'une végétation est restée. Ceci apparaît clairement à la fig. 4 qui montre l'analyse LiDAR DEM des 2m.

Le maillage qui a été utilisé est constitué de 230 x 260 cellules. La multitude des pas horaires pour le calcul s'est élevée à 18.000, chacun d'eux avait une durée horaire de 2.5 sec. De plus, un test de sensibilité a montré qu'en modifiant le nombre Manning nous observons seulement un petit changement du degré maximal de calcul d'inondation. Étant donné que seul le rythme des vagues de franchissement est connu et non la surface libre de l'eau, il n'est pas possible de comparer avec la méthode GIS. Les exemples restants et une présentation plus vaste de la méthode utilisée peuvent être consultés dans (Bates et al., 2005)

5.5 Bibliographie

- BATES P.D. and DE ROO A.P.J., (2000)- A simple raster-based model for floodplain inundation, *Journal of Hydrology* 236:54–77
- BATES P.D., HORRITT M.S., ARONICA G. and BEVEN K., (2004)- Bayesian updating of flood inundation likelihoods conditioned on inundation extent data, *Hydrological Processes* 18:3347–3370.
- BATTJES J.A. and GERRITSEN J.A., (2002)-Coastal modelling for flood defence, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, Mathematical and Physical Sciences* 360:1461–1475.
- BECHTELER W. , HARTMAAN S. and OTTO A.J., (1994)- Coupling of 2D and 1D models and integration into Geographic Information Systems (GIS). In: W.R. White and J. Watts, Editors, *Proceedings of the 2nd International Conference on River Flood Hydraulics*, John Wiley and Sons, Chichester pp. 155–165.
- BRADFORD S.F and SANDERS B.F. (2002)- Finite-volume model for shallow-water flooding of arbitrary topography, *J. Hydraul. Eng.*, 128:289-298
- BROCCHINI M., BERNETTI R. , MANCHINELLI A. and ALBERTINI G. (2001)- An efficient solver for nearshore flows based on the WAF method. , *Coastal Eng.*, 43:105-129
- DHONDIA J.F and STELLING G.S., (2002)-Application of one-dimensional–two-dimensional integrated hydraulic model for flood simulation and damage assessment. In: R.A. Falconer, B. Lin, E.L. Harris and C.A.M.E. Wilson, Editors, *Hydroinformatics 2002: Proceedings of the Fifth International Conference on Hydroinformatics. Volume One: Model Development and Data management*, IWA Publishing, London pp. 265–276.
- DOD N. (1998) -Numerical model of wave run-up, overtopping and regeneration, *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, 124:73-81
- ESTRELA T. and QUINTAS L, UK (1994)- Use of GIS in the modelling of flows on floodplains. In: H.R. White and J. Watts, Editors, *Proceedings of the 2nd International Conference on River Flood Hydraulics*, John Wiley and Sons, Chichester; pp. 177–189.
- GOPALAKRISHNAN T.C. and TUNING C.C. (1980)- Run-up of non-breaking waves: A finite-element approach., *Coastal Eng* , 4:3-32
- HALL J.W , DAWSON R.J, SAYERS P.B, ROSU C., CHATTERTON J.B. and DEAKIN R., (2003) -A methodology for national-scale flood risk assessment, *Water and Maritime Engineering* 156 (3):235–247.
- HORRITT M.S and BATES P.D, (2001)- Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite element approach, *Hydrological Processes* 15: 825–842.
- HORRITT M.S and BATES P.D, (2002)- Evaluation of 1-D and 2-D numerical models for predicting river flood inundation, *Journal of Hydrology* 268 : 87–99.
- WALLINGFORD HR, UK (2003)- Conwy Tidal Flood Risk Assessment, Stage 1 — Interim Report, Report EX 4667, HR Wallingford,
- LEVEQUE J.R. and GEORGE D.L., (2006) -High-resolution finite volume methods for the shallow water equations with bathymetry and dry states
- LEVEQUE R.J, (2002)- Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems, Cambridge University Press
- LEVEQUE R.J. (1992)- Numerical Methods for Conservation Laws, Birkhauser.
- LIU P.L-F, WU T-R., RAICHLIN F., SYNOLAKIS C., and BORRERO J.C., (2005) -Runup and rundown generated by three-dimensional sliding masses, *J. of Fluid Mech.* 536:107
- LIU P.L.-F, CHO Y.S., BRIGGS M.J., KANOGLU U. and SYNOLAKIS C.E (1995)-Runup of solitary wave on a circular island, *J. of Fluid Mech.*, 302: 259-285
- LYNETT P. and LIU P. (2005) -A numerical study of the runup generated by the three-dimensional landslides, *Journal of Geophysical Research* 110
- MADSEN H. and JAKOBSON F. (2004)-Cyclone induced storm surge and flood forecasting in the northern Bay of Bengal, *Coastal Engineering* 51:277–296.

MEADOWCRFOT I.C, REEVE D.E, N, ALLSOP N.W., DIMENT R.P. and CROSS J. London (1996)- Development of new risk assessment procedures for coastal structures. In: J.E. Clifford, Editor, *Advances in Coastal Structures and Breakwaters*, Thomas Telford

NICHOLLS R.J. (1995) -Coastal megacities and climate change, *Geojournal* 37 (3), pp. 369–379.

NICHOLLS R.J. (2002), Rising sea levels: potential impacts and responses. In: R. Hester and R.M. Harrison, Editors, *Global Environmental Change: Issues in Environmental Science and Technology* vol. 17, Royal Society of Chemistry, Cambridge pp. 83–107.

REEVE D.E. (1998) - Coastal flood risk assessment, *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering* 124 (5): 219–228.

ROMANOWICZ R., BEVEN K.J. and TAWN J. (1996) - Bayesian calibration of flood inundation models. In: M.G. Anderson, D.E. Walling and P.D. Bates, Editors, *Floodplain Processes*, John Wiley and Sons, Chichester pp. 333–360. .

SMALL C. and NICHOLLS R.J. (2003)-A global analysis of human settlement in coastal zones, *Journal of Coastal Research* 19 (3): 584–599.

SUTHERLAND J., WALSTRA D.J., CHESHER T.J., VAN RIJN L.C and SOUTHGATE H.N. (2004) - Evaluation of coastal area modelling systems at an estuary mouth, *Coastal Engineering* 51: 119–142.

SYNOLAKIS C.E, (1987)- The Run up of solitary Waves, *J. Of Fluid Mech.*,185:523-545

TITOV V.V. and SYNOLAKIS C.E. (1995) -Modeling of breaking and nonbreaking long-wave evolution and runup using VTCS-2, *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*,121:308-316

TITOV V.V. and SYNOLAKIS C.E. (1998) - Numerical modeling of tidal wave runup, *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*,124:157-171.

TORO E.F.(2001)- Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows, John Wiley and Sons Ltd.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1993) - River Hydraulics Engineer Manual, Report EM 1110-2-1416, Department of the Army, Washington D.C., USA 176

USACE,(1996)- Risk-based Analysis for Flood Ddamage Reduction Studies, Report EM1110-2-1619, United States Army Corps of Engineers, Washington. .

VENERE M. and CLAUSSE A. (2002)- A computational environment for water flow along floodplains, *International Journal of Computational Fluid Dynamics* 16 (4): 327–330.

VOORTMAN H. G. (2002)- Risk-based design of large-scale flood defence systems, PhD Thesis, Delft University.

VRIJLING J.K. (1993)- Development in probabilistic design of flood defences in the Netherlands. In: B.C. Yen and Y.-K. Tung, Editors, *Reliability and Uncertainty Analyses in Hydraulic Design*, ASCE, New York, pp. 133–178.

WICKS J., MOCKE R., BATES P.D., RAMSBOTTOM D., EVANS E. and GREEN C. (2003) - Selection of appropriate models for flood modelling, *Proceedings of the 38th DEFRA Annual Flood and Coastal Management Conference*, 16th to 18th July 2003, Keele University, UK (2003).

WEI Y., MAO X.-Z. and CHEUNG K.F.(2006) -Well-Balanced Finite-Volume Model for Long-Wave Runup, *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, 132: 114-124

ZELT J.A (1991) - The run-up of no breaking and breaking solitary waves, *Coastal Engineering*, 15:205-246

Lectures supplémentaires

DYER K.R., (1973)-*Estuaries: A Physical Introduction*, John Wiley, Chichester; UK 140

ENEL HYDRO, (2001)- Development of Rescue Actions Based on Dam-break Flood Analysis, RESCDAM: Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis, *Final Report: Appendix* vol. 12, European Commission

HORRITT M.S and BATES P.D , (2001)- Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow, *Journal of Hydrology* **253**: 239–249.

HUBBARD M.E and DOD N. (2002)- A 2D numerical model of wave runup and overtopping, *Coastal Eng.*,**47**:1-26

HU K., MINGHAM C.G. and CAUSON D.M (2000)- Numerical simulation of wave overtopping of coastal structures using the non-linear shallow water equations, *Coastal Eng.*, **41**:433-465

WALLINGFORD HR, UK (1985)- Conwy Estuary Crossing Field Data Collected by Hydraulics Research, Report EX 1251, HR Wallingford,

- LUETTICH R.A. and WESTERINK J.J. (1995)- Implementation and testing of element flooding and drying in the ADCIRC hydrodynamic model., *Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Miss*
- ROMANOWICZ R. and BEVEN K.J. (1998)- Dynamic real-time prediction of flood inundation probabilities, *Hydrological Sciences Journal* **43** : 181–196.
- ROMANOWICZ R. and BEVEN K. (2003)- Bayesian estimation of uncertainty for distributed hydrological models: estimation of flood inundation probabilities, *Water Resources Research* **39** (3) art. 1073.
- STEERS J.A. (1953) -The East Coast floods, *Geographical Journal* **119** (3) :280–295.

6 Partenaire 7, OANAK, Organisme de Développement de la Crète Orientale

L'objet de l'approche est l'examen des pressions qui sont exercées par les activités humaines sur les côtes et qui constituent des facteurs déterminants du processus d'érosion, ainsi que la liaison de cette problématique avec les pratiques et le cadre, institutionnel et procédural, de l'application de la planification spatiale et urbanistique.

Dans la phase A on a effectuées les opérations suivantes :

- une recherche bibliographique des récentes approches de planification (spatiale, urbaine et de développement) concernant la Crète ;
- le site d'étude a été localisé conformément aux objectifs du projet ;
- la forme sous laquelle les pressions exercées par les activités humaines sur les côtes se manifeste dans le site étudié a été identifiée ;
- la méthode d'approche applicable à cette région a été identifiée ;
- les groupes de facteurs formels qui participent au processus de développement et à la procédure de planification ont été localisés ;
- le rapport concernant l'identification du problème, la recherche de sites d'étude, le choix des sites et sa présentation, le recensement des problèmes, les indicateurs, leur spécialisation et leur compatibilité comparative, sont en cours d'élaboration.

SOMMAIRE

Description synthétique du Sous-Projet MEDPLAN.....	1
<i>Définition</i>	<i>1</i>
<i>Les partenaires du Sous-Projet MEDPLAN.....</i>	<i>1</i>
Les contributions des Partenaires.....	3
1 Partenaire 1, Département Polis de l'Université de Gênes, Faculté d'Architecture	3
1.1 Le Sous-projet MEDPLAN dans la Région Ligurie.....	3
1.1.1 <i>Opération 1: Identification d'un trait de côte pilote pour le développement d'un projet intégré d'aménagement. Visite des sites et sélection des aires pilotes</i>	<i>4</i>
1.1.1.1 Le choix de la portion de côte pilote.....	4
1.1.1.2 Les caractéristiques de la zone d'étude retenue.....	5
1.1.2 <i>Opération 2: définition de la méthode.....</i>	<i>6</i>
1.1.3 <i>Opération 3: définition du programme</i>	<i>6</i>
1.1.3.1 Gestion du travail.....	6
1.1.3.2 Constitution d'un groupe de travail.....	7
1.1.3.3 Identification des zones et saisie des données.....	7
1.1.3.4 Analyse des données et élaboration de scénarios.....	7
1.1.3.5 Identification des zones d'intervention prioritaire et définition des lignes de projet	7
1.1.4 <i>Opération 4: Choix des expertises et définition des apports des spécialistes</i>	<i>7</i>
1.1.4.1 Géologue	8
1.1.4.2 Naturaliste	8
1.1.4.3 Architecte paysagiste	8
1.1.4.4 Expert du patrimoine historique et architectural.....	8
1.1.4.5 Technologue en architecture.....	8
1.1.4.6 Urbaniste	8
1.1.5 <i>Opération 5: Rencontre avec les acteurs institutionnels et locaux.....</i>	<i>8</i>
1.2 Les apports des spécialistes.....	9
1.2.1 <i>Les caractères géologiques.....</i>	<i>9</i>
1.2.1.1 Mesures contre les risques hydrogéologiques: Planification du bassin.....	10
1.2.1.2 Danger sismique.....	10
1.2.1.3 Bibliographie.....	11
1.2.2 <i>Ecosystèmes, Environnement, Nature</i>	<i>13</i>
1.2.2.1 Programme de travail	15
1.2.2.2 Bibliographie.....	16
1.2.3 <i>Système des biens historiques et archéologiques.</i>	<i>19</i>
1.2.3.1 Premiers éléments pour une bibliographie sur les sites archéologiques de la zone côtière de la Ligurie occidentale comprise entre Sanremo et la frontière avec la France	19
1.2.3.2 Bibliographie.....	19
1.2.4 <i>L'Habitat. Bibliographie raisonnée de la maintenance et de la réhabilitation immobilière.....</i>	<i>26</i>
1.2.4.1 Détériorations, défauts et pathologies de la construction récente	26
1.2.4.2 La maintenance immobilière: méthodes et instruments.....	28
1.2.4.3 Stratégies de gestion des patrimoines immobiliers.....	29

1.2.4.4	Réhabilitation immobilière	30
1.2.4.5	Les vides urbains et la réutilisation des quartiers abandonnés	32
1.2.5	<i>La cartographie et les instruments urbains</i>	33
2	Partenaire 2, ICRAM, Istituto centrale per la Ricerca Scientifica ed Applicata al Mare; Partenaire 3, Université de Ferrare, DST – Département des sciences de la terre.....	34
2.1	Introduction	34
2.2	Les variations du niveau marin	35
2.2.1	<i>Mesures marégraphiques</i>	35
2.2.2	<i>Relevés satellitaires</i>	37
2.3	Modèles de prévision des scénarios futurs	38
2.4	La variabilité climatique des événements extrêmes	44
2.4.1	<i>Les impacts du changement climatique sur la côte</i>	44
2.5	Le risque	46
2.5.1	<i>Perception de l'environnement et de l'acceptation du risque</i>	48
2.5.2	<i>Approche descriptive de la classification de l'environnement côtier et de l'analyse du risque</i>	49
2.5.3	<i>Acceptation du risque et importance de l'information</i>	50
2.6	Méthodologies utilisées pour le calcul du risque	51
2.7	Expériences à macro échelle	71
2.8	La côte de l'Emilie-Romagne	74
2.8.1	<i>Choix des sites pilotes</i>	77
2.9	La côte du Latium	79
2.9.1	<i>Choix du site pilote</i>	81
2.10	Bibliographie	83
2.11	Sites internet	88
3	Partenaire 4, Université de Montpellier 1, CEP/LASER	89
3.1	Introduction. Évaluation de la politique de gestion du littoral relative à l'érosion et aux inondations côtières en Languedoc-Roussillon	89
3.1.1	<i>Problématique de l'étude</i>	89
3.1.2	<i>Objectifs de la Phase A</i>	90
3.2	Le processus d'érosion côtière	91
3.2.1	<i>Les facteurs de l'érosion côtière</i>	91
3.2.1.1	Importance du phénomène de l'érosion côtière et enjeux associés	93
3.2.2	<i>Les approches scientifiques</i>	94
3.3	La mesure de la valeur économique des plages	95
3.3.1	<i>Principes relatifs à la mesure de la valeur des plages</i>	95
3.3.2	<i>Types de données rassemblées dans l'étude ACT Ouest – SCE Montpellier 200699</i>	
3.3.2.1	Typologie et caractéristiques des plages	99
3.3.2.2	La fréquentation des plages	100
3.3.2.3	L'économie des plages pour les communes	100
3.3.2.4	La valeur marchande des plages	100
3.4	Les politiques de gestion de l'érosion et des inondations cotières	101
3.4.1	<i>Les politiques de gestion de l'érosion</i>	101
3.4.1.1	La gestion de l'érosion par des aménagements lourds.....	101
3.4.1.2	L'évolution vers des méthodes alternatives dites «douces» (soft).....	101
3.4.2	<i>Les politiques de gestion des inondations côtières</i>	104
3.5	Les nouveaux enjeux et dispositifs liés à la Gestion intégrée de la zone côtière (gizc)	105

3.5.1	<i>La GIZC : théorie et pratique</i>	105
3.5.2	<i>La politique littorale française en faveur de la GIZC</i>	107
3.5.3	<i>Logiques et méthodologies d'évaluation des politiques de GIZC</i>	109
3.5.3.1	Logique d'évaluation Coût – Bénéfice.....	109
3.5.3.2	Logique d'élaboration d'indicateurs de suivi-évaluation.....	110
3.5.4	<i>GIZC et politiques d'intervention pour l'érosion côtière</i>	111
3.5.4.1	La mise en œuvre de la GIZC dans une logique d'anticipation des effets du changement climatique.....	111
3.5.4.2	La mise en œuvre de la GIZC en vue de concilier tourisme et protection	112
3.5.4.3	La mise en œuvre de la GIZC axée sur la synergie des méthodologies en vue d'appréhender les interactions	113
3.5.5	<i>Apports pour l'élaboration d'un protocole de GIZC axé sur l'érosion et les inondations côtières</i>	113
3.5.5.1	Les interactions entre les usages et la conservation des sites naturels	114
3.5.5.2	La construction d'indicateurs de DD par les collectivités territoriales	115
3.5.6	<i>Premières enquêtes exploratoires sur la commune de Frontignan la Peyrade</i>	116
3.6	Bibliographie	116
3.7	Annexe 1 : Découpage fonctionnel et planning révisé	123
3.8	Liste des abréviations et des acronymes	125
4	Partenaire 5, Université Democritus de Thrace - Laboratoire d'Hydraulique et des Travaux Hydrauliques	126
4.1	Le système d'inondation physique et son modèle conceptuel	126
4.2	La catégorisation des tempêtes	127
4.3	L'analyse des événements extrêmes et l'estimation du niveau de retour	129
4.4	Méthodes de modélisation	132
4.5	Modèles et Techniques	135
4.6	Bibliographie	141
5	Partenaire 6, IACM - FORTH - Fondation pour la Recherche et la Technologie, Institut de mathématiques appliquées	143
5.1	Introduction	143
5.2	Modèles mathématiques	143
5.3	Méthodes appliquées	144
5.4	Exemples numériques	146
5.5	Bibliographie	147
6	Partenaire 7, OANAK, Organisme de Développement de la Crète Orientale	149