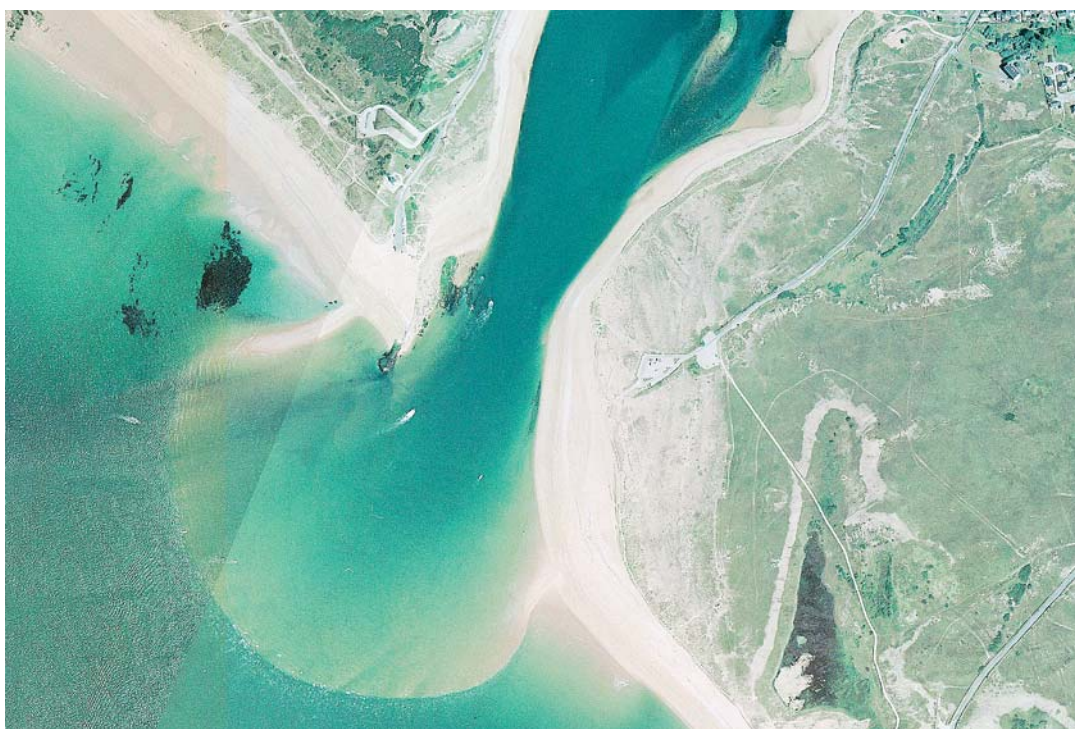




LA SURVEILLANCE DU LITTORAL

ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE : DU SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES À LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

réalisée par Ronan JEGO

Décembre 2003

LA SURVEILLANCE DU LITTORAL

**ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE :
DU SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES
À LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL**

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

réalisée par Ronan JEGO

Conseil Scientifique de l'O.D.E.M. :

- > Jean-Jacques PERON : Président du Conseil Scientifique, Professeur des Universités, Laboratoire de chimie et biologie moléculaire, Université de Bretagne Sud
- > Laurence HUBERT-MOY : Maître de Conférences en Télédétection, Laboratoire COSTEL, université de Rennes 2
- > Jean-François INSERGUET : Maître de Conférences en Droit Public, Laboratoire d'Études et de Recherches en Sciences Sociales, Université de Rennes 2
- > Pierre JEGOUZO : Maître de Conférences en Géologie, Laboratoire de Tectonique - Géosciences, Université de Rennes 1
- > Roger MAHÉO : Maître de Conférences en Écologie et Biologie des populations, Université de Rennes 1
- > Jean-Michel HERVIEUX : Secrétaire du Conseil Scientifique, Architecte DPLG, Urbaniste

Décembre 2003

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Marc Robin, directeur de l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes, pour la relecture et l'intérêt porté à ce document.

Je remercie également les membres du Conseil Scientifique de l'Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan, Jean-Jacques Peron son Président, Laurence Hubert-Moy, Jean-François Inserguet, Pierre Jegouzo, Roger Mahéo et Jean-Michel Hervieux pour leur accueil au sein de leur structure. En outre, ce travail n'aurait pu se réaliser dans de bonnes conditions sans la contribution de l'équipe permanente de l'O.D.E.M., Jean-Louis Belloncle, Franck Daniel et Marie-Odile Hubaud.

Enfin ma reconnaissance va à tous ceux qui, par leurs conseils et leur aide, m'ont permis de réaliser ce travail.

AVANT-PROPOS

Le présent rapport a été établi sur la base de sources bibliographiques essentiellement régionales et nationales.

En complément, la bibliographie anglo-saxonne sur le sujet pourra utilement être consultée, par exemple via le site internet américain de la FEMA.

ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE : DU SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES À LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL

LISTE DES SIGLES	2
INTRODUCTION.....	3
1 LE SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES : MÉTHODES, EXPÉRIENCES ET OUTILS DÉVELOPPÉS	4
11 LES APPROCHES SCIENTIFIQUES IDENTIFIQUES	4
111 L'ÉVOLUTION DU RIVAGE : MÉTHODES D'ACQUISITION DE DONNÉES	4
112 LES MESURES <i>IN-SITU</i> INDISPENSABLES À L'ÉTUDE DE LA MORPHODYNAMIQUE CÔTIÈRE	12
113 LES APPORTS DE LA MODÉLISATION À L'ANALYSE PRÉVISIONNELLE	14
12 LES PROCÉDURES DE SUIVI APPLICABLE PAR LES GESTIONNAIRES LOCAUX	16
121 LES OBSERVATIONS DE TERRAIN	16
122 LES RELEVÉS DE TERRAIN	17
123 LA COMPARAISON DE PHOTOGRAPHIES ET DE DOCUMENTS ANCIENS.....	17
124 LES ENTREVUES AUPRÈS DES RIVERAINS	17
2 LA SURVEILLANCE DU TRAIT DE CÔTE ET LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL.....	18
21 LA COLLECTE ET LA PRODUCTION DE DONNÉES : AMÉLIORER LA CONNAISSANCE	18
211 LA DISPARITÉ DES INFORMATIONS SUR LE LITTORAL	18
212 LA MISE EN PLACE DE RÉSEAUX DE SURVEILLANCE : LES BASES DE DONNÉES	19
213 VERS UN RÉFÉRENTIEL GÉOGRAPHIQUE COMMUN EN MILIEU LITTORAL	20
22 LA GESTION DES DONNÉES LITTORALES : CAPITALISER ET PARTAGER L'INFORMATION.....	22
221 LES POTENTIALITÉS DES SIG EN DOMAINE LITTORAL	22
222 L'ORGANISATION ET LA STRUCTURATION DES DONNÉES.....	22
23 L'EXPLOITATION DES DONNÉES : ÉTABLIR DES ÉTATS DES LIEUX ET IDENTIFIER LES ENJEUX	25
231 L'INTÉRÊT DE LA GÉOMATIQUE DANS L'ÉLABORATION DE DESCRIPTEURS.....	25
232 LE DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL.....	27
24 LA VALORISATION DES DONNÉES : METTRE EN ŒUVRE DES ACTIONS ...ET LES ÉVALUER.....	30
241 LA MISE EN PLACE D'OBSERVATOIRES DU LITTORAL	30
242 LES PROGRAMMES D'ACTIONS ET LES PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT	31
243 EUROSION	32
CONCLUSION	34
BIBLIOGRAPHIE.....	35
LISTE DES FIGURES.....	40
LISTE DES TABLEAUX	40
TABLE DES MATIÈRES	41

LISTE DES SIGLES

AIZT	: Aménagement Intégré des Zones Côtières
BOSCO	: Base d'Observation et de Suivi des Côtes
BRGM	: Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CANDHIS	: Centre d'Archivage National des Données de Houles In-Situ
CEC	: Corine Érosion Côtière
CELM	: Cellule Environnement Littoral et Marin
CETMEF	: Centre d'Études Techniques Maritimes Et Fluviales
CIADT	: Comité Interministériel pour l'Aménagement et le Développement du Territoire
CIM	: Comité Interministériel de la Mer
CNIG	: Conseil National de l'Information Géographique
CERC	: Coastal Engineering Research Center
CPER	: Contrat de Plan État/Région
CVI	: Coastal Vulnerability Index
EADS	: European Aeronautic Defense and Space company
ENR	: Espace Naturel Régional
EUCC	: European Union for Coastal Conservation
GENESIS	: Generalized model for Simulating Shoreline change
GPS	: Global Positioning System
GT Littoral	: Groupe de Travail Littoral
IFEN	: Institut Français de l'Environnement
IFREMER	: Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IGN	: Institut Géographique National
ISP	: Indice de Sensibilité Potentielle
IST	: Information, Science et Technology
LIDAR	: Light Detection And Ranging
LNH	: Laboratoire National d'Hydraulique
MES	: Matière en Suspension
METL	: Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
ONF	: Office National des Forêts
PLAGE	: Plan Littoral d'Action pour la Gestion de l'Érosion
RGE	: Référentiel à Grande Échelle
RGL	: Référentiel Géographique Littoral
RIZK	: National Institute for Coastal and Marine Management
RMC	: Rhône-Méditerranée-Corse
SDAGE	: Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
SHOM	: Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIG	: Système d'Information Géographique
SMNLR	: Services Maritimes et de Navigation du Languedoc-Roussillon
SMVM	: Schéma de Mise en Valeur de la Mer

INTRODUCTION

L'évolution du trait de côte est un phénomène naturel engendré par la conjonction d'un certain nombre de processus dynamiques (marins, continentaux et biologiques) et dépendant des caractéristiques géomorphologiques des systèmes littoraux (les plages sont plus sensibles à l'érosion, la vitesse de recul des falaises dépend de la nature du substrat et les rivages limono-vaseux sont plutôt en accrétion). Mais ces phénomènes naturels sont exacerbés par des actions anthropiques qui perturbent l'équilibre dynamique des milieux littoraux (Daniel & Hubaud, 1996). La compréhension de la cinétique côtière est primordiale dans l'aménagement du littoral car cet espace, convoité mais fragile, concentre une grande part de la population et des activités économiques.

L'érosion du trait de côte est un phénomène significatif à l'échelle planétaire comme le démontre la mise en place de nombreux programmes de lutte contre l'érosion menés par différents organismes. Le phénomène touche également la France puisque, selon le programme européen Corine Érosion Côtière, près du quart du linéaire côtier est en recul (Thorette et al, 1995).

Le littoral du Morbihan, à l'image de la région Bretagne, est dans son ensemble peu touché par l'érosion. En effet d'après les statistiques de l'IFEN, 9 % du linéaire côtier de ce département est en recul. Néanmoins, à l'échelle du 25 000^e, cela représente près de 55 km de côte qui évolue négativement (Anonyme, 1997), constituant donc localement un problème important.

Cette synthèse bibliographique, intégrant essentiellement des références récentes, traite dans un premier temps des méthodes, des techniques et des expériences menées et mises au point pour observer et mesurer les évolutions du trait de côte, étudier et analyser les processus dynamiques sous-jacents en vue de prévoir les évolutions futures. Puis, dans un second temps, sont exposés les outils de valorisation des données collectées lors de campagnes d'études de l'érosion notamment à travers la mise en place de programmes de surveillance et des plans de gestion du littoral.

1 LE SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES : MÉTHODES, EXPÉRIENCES ET OUTILS DÉVELOPPÉS

Dans un contexte de généralisation des phénomènes d'érosion sur les franges côtières (Paskoff, 1993), les différents acteurs impliqués dans la gestion du littoral se montrent souvent impatients de protéger leurs biens ou leur territoire. En matière de protection, la prudence devrait être de rigueur : sans connaissance précise de la dynamique d'un site, il est illusoire de vouloir mettre en place des ouvrages, quelle que soit leur nature puisque leur impact ne peut être évalué.

11 LES APPROCHES SCIENTIFIQUES

L'étude de la dynamique côtière est indispensable à la gestion de la frange littorale (Grenier et Dubois, 1990). En effet, les mesures et les analyses des changements observés sur la côte permettent une évaluation précise et globale de la morphodynamique littorale. D'autant que les coûts de la surveillance représentent une part minime dans la programmation d'aménagements côtiers (Muños-Perez et al, 2001).

111 L'ÉVOLUTION DU RIVAGE : MÉTHODES D'ACQUISITION DE DONNÉES

Les données images sont les principales sources utilisées pour étudier l'évolution de la cinématique côtière. L'apport de la télédétection est sans commune mesure dans la précision des phénomènes observés pour une étude à l'échelle contemporaine. Néanmoins, il ne faut pas pour autant négliger l'apport des autres sources de données (cadastres, cartes anciennes) dans les analyses historiques.

Nos propos se limiteront à ces deux échelles temporelles et plus particulièrement aux sources iconographiques du XXe siècle compte tenu de la précision des informations observées. On peut noter cependant que la cinématique côtière peut être étudiée à une échelle temporelle beaucoup plus grande en s'appuyant sur des témoignages géologiques et géomorphologiques (Morzadec-Kerfourn, 1974), ces études prennent tout leur sens dans le contexte des cycles de glaciation et de réchauffement climatique et dont la variation du niveau marin est l'une des conséquences premières.

1111 *La généralisation des études de cinématique côtière*

L'étude de la mobilité du trait de côte a souvent été abordée sous l'angle qualitatif : érosion, engraissement ou stabilité du linéaire côtier. Ces études de cinématique côtière ont recours à la photo-interprétation, aux cartes topographiques et aux plans cadastraux, leur utilisation variant suivant le milieu étudié.

* Sur les littoraux meubles :

L'utilisation de la **photographie aérienne verticale** est bien adaptée à l'analyse de la cinématique côtière des littoraux meubles à l'échelle de plusieurs décennies car elle offre la plus grande précision (Suanez et Simon, 1997 ; Durand, 2000). Mais l'analyse de la mobilité du trait de côte repose sur la définition précise de cette ligne de référence, souvent floue dans les analyses et qui varie en fonction du milieu géomorphologique étudié (Shoshany & Degani, 1992). Robin (2002 b) a ainsi répertorié les différentes lignes de référence utilisables pour les études de cinématiques (**fig. 1**) :

- Les lignes intertidales (ligne de rivage instantané, ligne d'humectation d'estran, ligne de végétation intertidale)
- Les lignes supratidales (ados de plage, ligne de crête supratidale, contour de plage...)
- Les lignes infra-, inter-, supratidales (mise en relation d'une ligne de référence brute avec un niveau topographique ou bathymétrique)

Leurs comparaisons successives permettront de se prononcer sur l'évolution du rivage dans l'espace et dans le temps à l'échelle contemporaine.

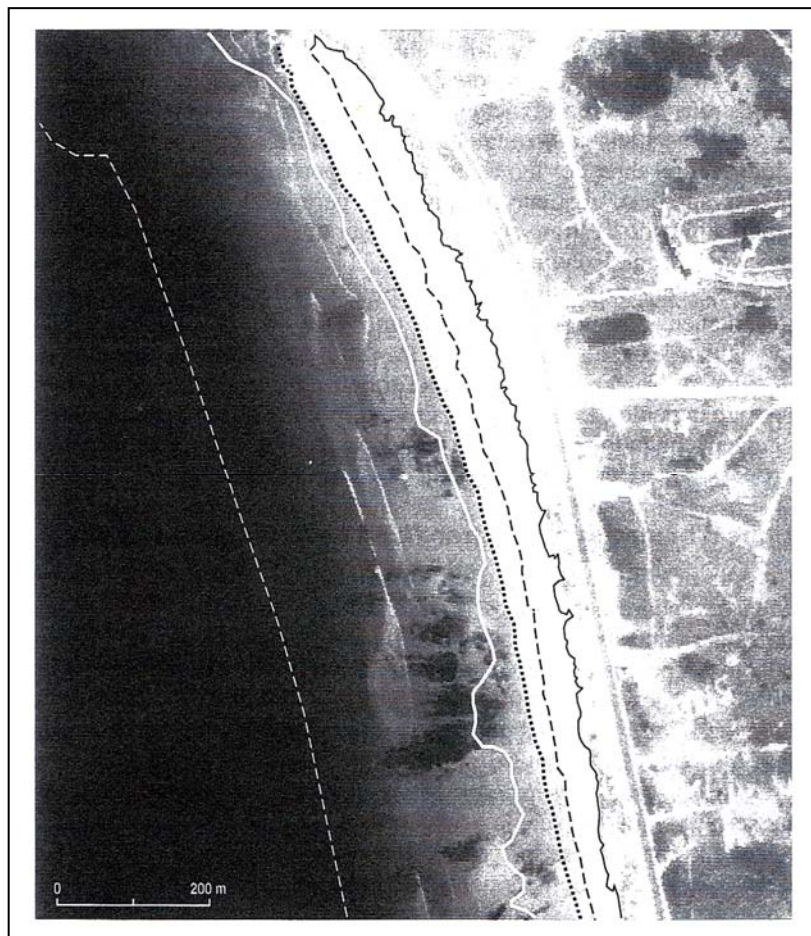
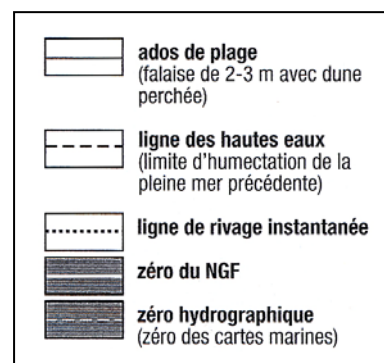


Figure 1 :

**Quelques lignes de références,
Plage de Fort-Bloqué
(Photographie aérienne de
l'IGN, 1984)**

(Source : Robin, 2002 b)



Si les traitements des photographies aériennes peuvent être manuels (Saffache, 1998 ; Saffache et al, 2002), ceux numériques sont pratique courante avec le développement des logiciels de SIG (**fig. 2**). Ils assurent une précision plus fine de l'interprétation, néanmoins ils comportent des risques d'erreur (Cazes-Duvat et al, 2002). L'analyse par photo-interprétation repose sur trois principes fondamentaux (Durand, 1999) :

- L'utilisation du plus grand nombre possible de missions aériennes
- La correction et le géoréférencement systématique de tous les clichés
- L'estimation d'une marge d'erreur (en dépend la fiabilité de l'analyse)

L'identification des changements (recul/engraissement) est plus aisée pour les secteurs où l'évolution est supérieure à la marge d'erreur préalablement définie (Durand, 1998). Le traitement informatique, dans l'état actuel de la technique, laisse subsister une marge d'erreur incompressible de ± 6 m (Durand, 1999). Mais des études menées sur les littoraux à faible évolution ont montré malgré tout l'intérêt de la photo-interprétation qui permet, par la classification géomorphologique, en fonction des vitesses d'évolution, d'élaborer une politique d'aménagement et de gestion des littoraux (Gaillot & Chaverot, 2001).

La cinématique côtière peut également s'appréhender par le biais des **cartes anciennes** qui permettent de définir une tendance, une évolution historique du rivage, sur plus d'un siècle avec l'utilisation notamment des cartes des Ingénieurs du Roi (XVIIIe) ou de Beutemps-Beaupré (XIXe) (Hallégouët et al, 1989 ; Pinot, 1989). Néanmoins, leur précision discutable (Bousquet-Bressollier & Bonnot-Courtois, 1998) ne permet pas une comparaison avec des sources de données plus récentes et leur intégration au sein d'une base de donnée cartographique comme les SIG.

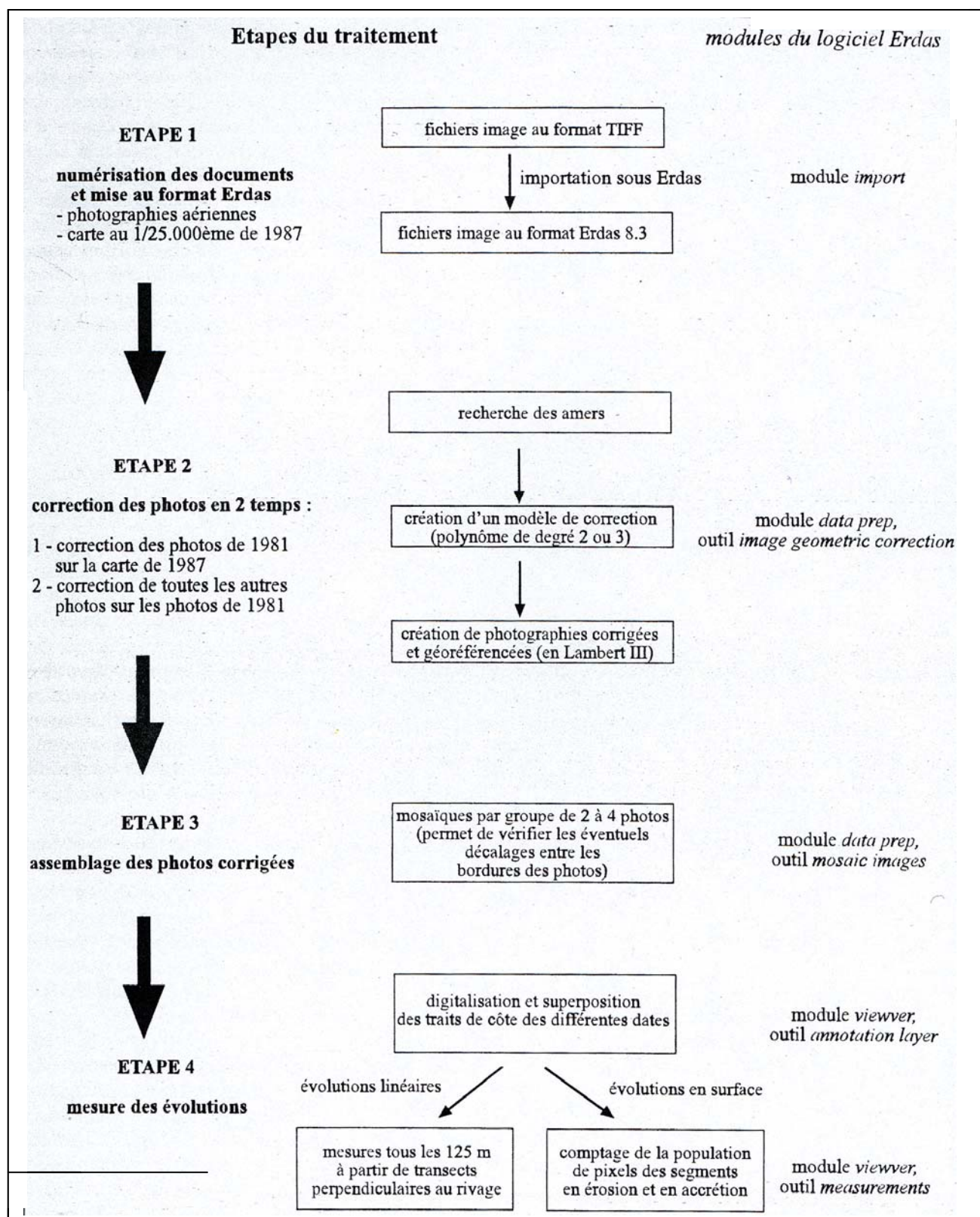


Figure 2 :

Un exemple de traitement numérique :
Schématisation du processus de traitement des photographies aériennes
 (Source : Durand, 1998)

Dans le Morbihan...

... à l'échelle du département, l'association Ptolémée a déterminé l'évolution du trait de côte par la superposition de la carte d'État Major de 1820-1840 avec celui de l'orthophotoplan de 2000 (Yoni, 2001). Cette méthode a été utilisée pour évaluer une tendance à long terme ; les résultats ne sont donc pas influencés par des épisodes paroxysmiques ou des périodes de calme qui peuvent modifier ponctuellement l'évolution du trait de côte sans refléter une évolution sur une longue durée. Mais la précision de l'étude est altérée par la difficulté de superposition des deux documents et de la fiabilité du tracé du trait de côte sur la carte ancienne en milieu estuarien et des marais (**ANNEXE 1**).

* Sur les littoraux à falaise :

Le recul historique des falaises ne peut se mesurer qu'à partir des **plans cadastraux (fig. 3)** (Albinet, 2000). En effet, la précision et l'exactitude du recalage après traitement informatique des plans cadastraux dits napoléoniens sur les plans contemporains font de cette méthode la plus appropriée pour l'étude de ces milieux (Albinet, 2001 ; Hénaff et al, 2002). Les photographies aériennes sont, dans ce contexte de côte à falaise, plus approximatives en raison des fortes déformations optiques qui les caractérisent.

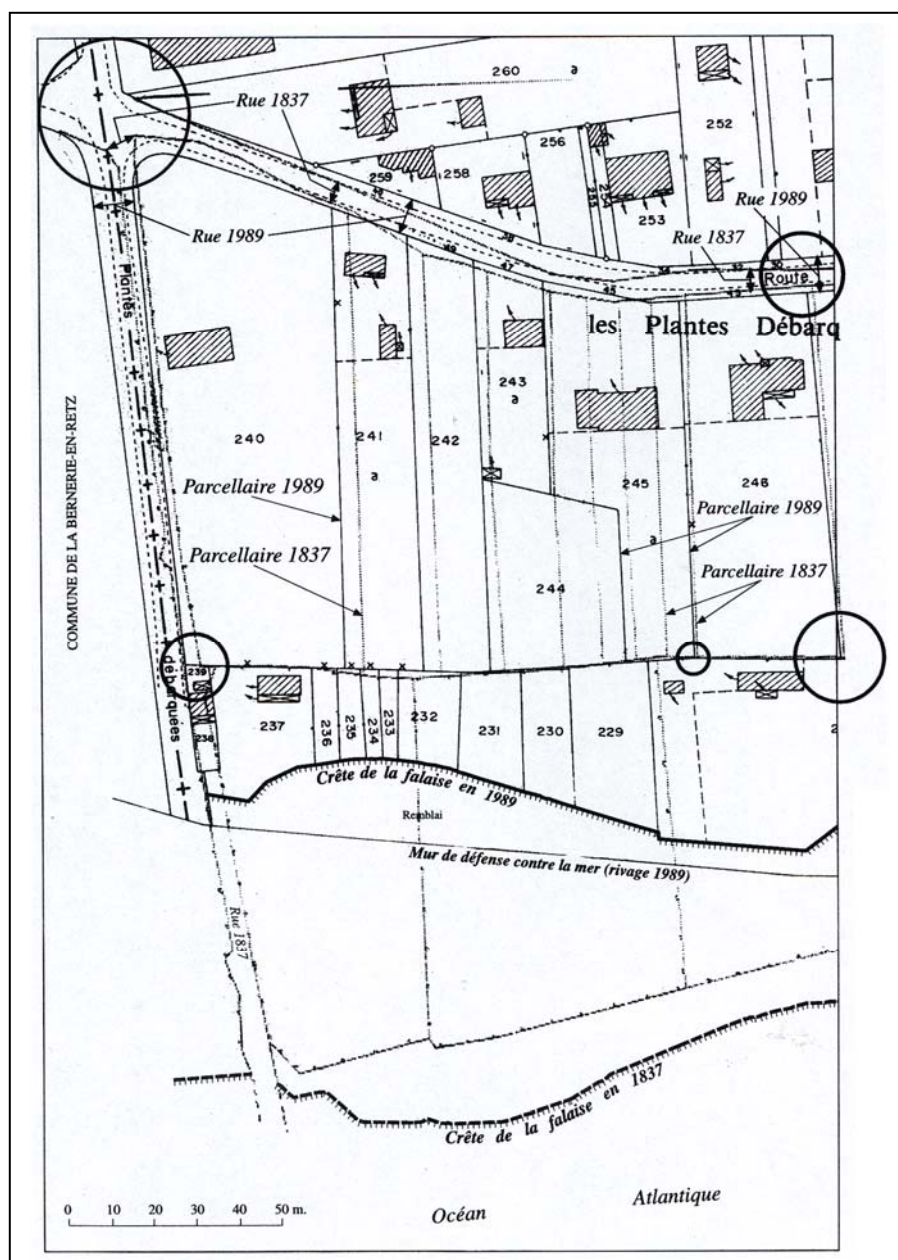


Figure 3 :

Superposition des plans cadastraux napoléonien et actuel faisant apparaître le recul de la falaise dans les dépôts meubles tertiaires au Caillou Blancs (Les Moutiers en Retz)

Les cercles indiquent quelques-uns des points d'encrage principaux de la superposition

(Source : Albinet, 2001)

1112 Les apports de la télédétection satellitaire

L'apparition des **images satellitaires** depuis 1972 (Collectif, 2002) a bouleversé la conception de l'espace terrestre en permettant d'identifier de minuscules détails. Mais ce n'est qu'à partir des années 80, avec l'augmentation de la résolution spatiale (maximum 1 m. avec IKONOS - Robin, 2002 c), que la télédétection spatiale a démarré dans les études d'aménagement et de suivis environnementaux.

* Intérêts et limites des images satellitaires

La télédétection est un moyen efficace pour étudier les milieux difficiles d'accès et mobiles comme le sont les littoraux (Verger, 1996). C'est donc un instrument de surveillance des phénomènes naturels observés (évolution géomorphologique, études des régimes côtiers...)

Les images de télédétection fournissent trois types de données (Verger, 1989) :

- L'approche statique permet la description de formes et de paysages à un moment donné et à une échelle régionale ; 4 images SPOT suffisent pour étudier la dynamique littorale de l'Archipel des Bijagos (Guinée-Bissau) au lieu de 200 photographies aériennes (Pennober, 1999).
- L'approche cinématique, la répétitivité des images permet l'étude de la dynamique parfois rapide des formes littorales.
- L'approche dynamique permet l'étude des agents qui modifient la forme des littoraux notamment les houles.

Le caractère récent des données ne permet pas de mettre en avant des évolutions à long terme (Grenier & Dubois, 1990), excepté en associant la démarche à d'autres sources de données pour une plus grande profondeur historique (Trépanier et al, 2002). Si la télédétection satellitaire à haute résolution, en cours de développement, permet de concurrencer le traditionnel cliché aérien en matière d'analyse spatiale, son coût d'acquisition est encore dissuasif (Proisy et al, 2003). Enfin, le géoréférencement d'une image, par rééchantillonnage, entraîne des effets de lissage et des modifications qui peuvent gêner des analyses spatiales à grande échelle en altérant ses propriétés en terme de fréquence spatiale (Robin, 1997).

* Les différents types de données et leurs applications

La télédétection peut se définir comme l'enregistrement à distance des rayonnements de toute nature émis par la surface de la Terre puis son traitement afin d'en obtenir une image (Cattin, nd.).

Les images acquises dans le visible (ou l'optique : le spectre électromagnétique est compris entre le bleu et le proche infrarouge) permettent d'analyser les composants dynamiques du littoral et suivre leur évolution (Cuq et al, 2002) ; c'est la **télédétection passive**.

En milieu océanique par exemple des images SPOT ont été utilisées pour l'interprétation des effets de surface comme les panaches turbides et la propagation des trains de houle (Saffache et al, 2002), pour la détermination de la dérive littorale (Robin, 1997). Sur le littoral, certaines études ont montré l'intérêt de la télédétection optique pour mettre en avant l'évolution du trait de côte en milieu intertropical, après géoréférencement et traitement des images par classification (Thomas & Diaw, 1997 ; Gardel et al, 2002).

Malgré l'amélioration de la qualité radiométrique et des résolutions spatiale et spectrale, l'interprétation des résultats issue de l'imagerie optique se heurte à la sensibilité des capteurs, aux perturbations atmosphériques (notamment en milieu équatorial) et à la nature des interactions entre le rayonnement électromagnétique et le milieu (rugosité subrésolution - Forget & Cauneau, 1995). Dès lors le développement de l'imagerie radar, la **télédétection active** (le capteur est émetteur et récepteur de l'énergie rétrodiffusée), permet de fournir des informations de nature différente et insensible aux couvertures nuageuses.

En milieu marin, l'imagerie-radar permet l'étude des plans de houle (Jaspar et al, 1998 ; Cuq et al, 2002), de la morphologie sous-marine (**fig. 4**). En milieu littoral, elle fournit des informations spécifiques pour l'analyse géomorphologique de la zone intertidale : transport sédimentaire –transit des MES– (Le Hindre & Howa, 1999), cinématique côtière (Marghany, 2001), formation des massifs dunaires (Cuq et al, 2002).

L'imagerie radar est une bonne source d'information malgré la lourdeur des prétraitements pour l'exploitation des images, son utilisation peut être combinée avec les images acquises dans le visible afin d'analyser les processus dynamiques et le suivi des littoraux meubles (la baie du Mont-Saint-Michel : Marchand, 1998 ; Marchand *et al*, 1998).

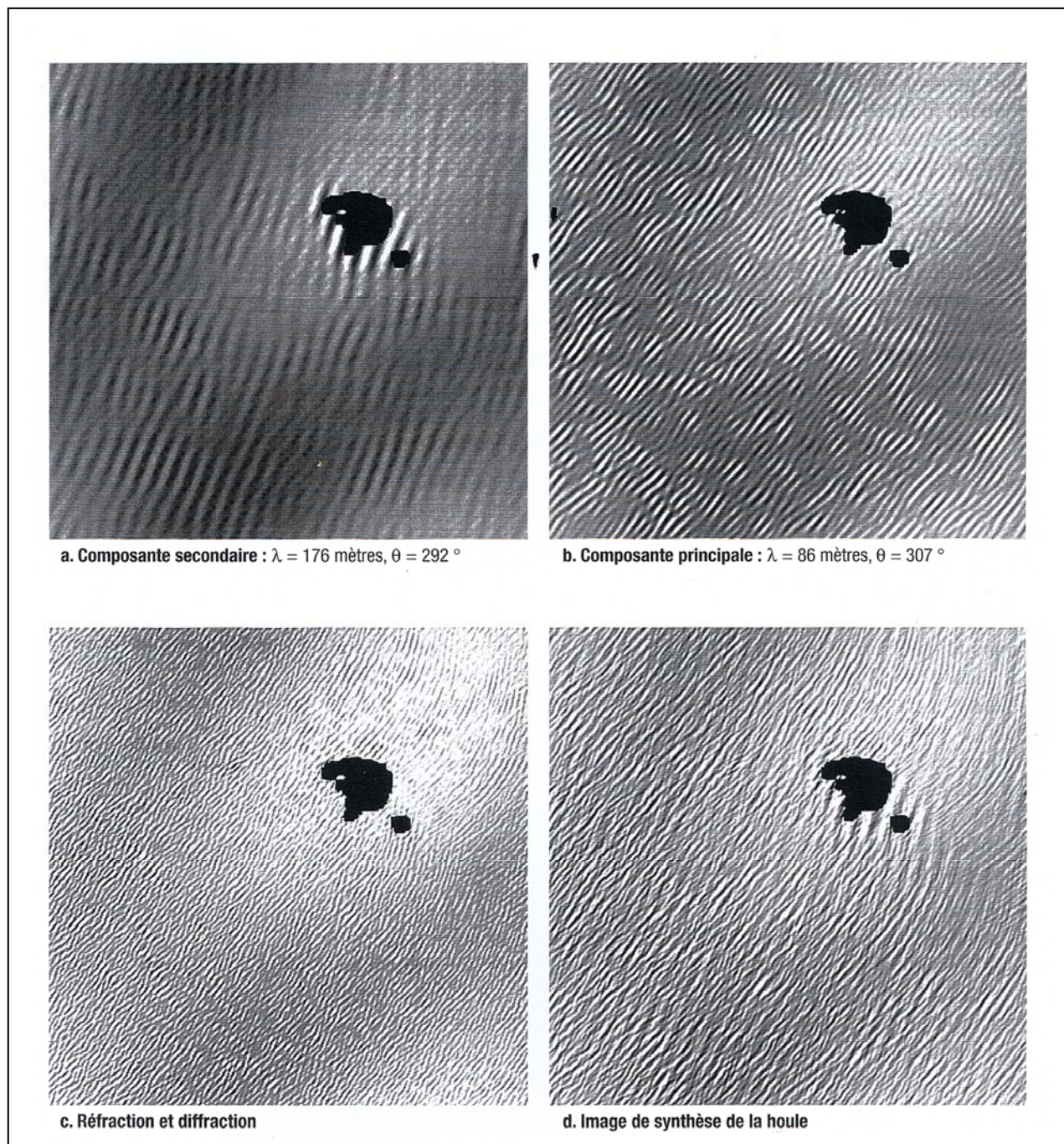


Figure 4 :

Filtrage de la houle par extraction de chaque composante harmonique (transformation de Fourier inverse) et recomposition finale d'une image de synthèse (Cuq *et al*, 2002)

1113 *Les approches quantitatives des phénomènes littoraux*

À partir de données iconographiques, il est possible de quantifier les transports sédimentaires avec la réalisation de modèles numériques de terrain (MNT) construits à différentes dates.

* Les **MNT d'estran**

Le MNT d'estran est obtenu à partir d'une seule image dont une ligne de référence (la ligne de rivage instantanée) est extraite sous forme de courbe qui peut avoir une valeur approchée d'une courbe de niveau sur une étendue restreinte, mais elle peut être étendue par calcul à partir de modèle de marée. L'établissement d'un modèle précis est possible en disposant d'un nombre de lignes suffisamment élevé et enregistré pendant un cours laps de temps (à chaque heure de marée par exemple) (Robin, 2002 c).

* La **photogrammétrie**

La photogrammétrie détermine la position en altimétrie et planimétrie des éléments topographiques à partir de photographies aériennes spécifiques (elles contiennent plus d'information, leurs taux de recouvrement sont supérieurs à ceux des clichés traditionnels). Performante, mais exigeante en moyens matériels et en logiciels, elle est la plus aboutie pour permettre la correction des déformations d'images.

Cette technique est utilisée pour quantifier le recul des falaises car elle apporte une importante précision métrique (Catalão et al, 2002) bien au-delà des comparaisons cadastrales et des études diachroniques de photographies aériennes (Lahouse et al, 2000, Lahouse & Pierre, 2003). Elle est également utilisée pour étudier la topographie d'estran où la précision de restitution des photographies prises au 1/8000^{ème} sur une carte au 1/2000^{ème} est de l'ordre de 0,15 m en altitude et en planimétrie (Laurentin, 2002) et donc conforme à la prescription de l'instruction ministérielle du 28/01/1980 relative aux tolérances applicables aux levers cartographiques à grandes échelles.

Les étapes de la photogrammétrie :

- La stéréopréparation (mesure de terrain en coordonnées xyz de points repérables sur les clichés)
- La prise de vue aérienne
- La numérisation des clichés
- L'aérotriangulation (permet le géoréférencement en coordonnées xyz de toutes les images à partir des recouvrements qu'elles ont en commun et des coordonnées des points reconnus sur le terrain)
- La production de MNT

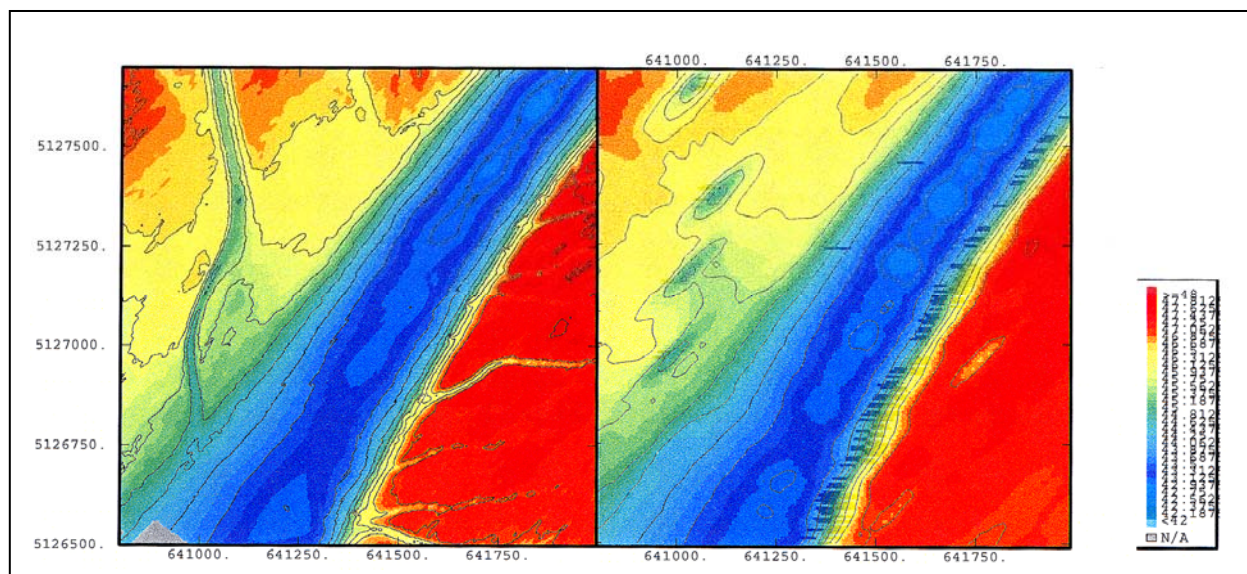
Aux Pays-Bas, le haut de plage et le massif dunaire sont reconnus annuellement depuis 1994 par stéréophotogrammétrie (Rieb & Walker, nd.). Le suivi des massifs dunaires est également entrepris par cette technique d'observation sur les côtes belges afin de déterminer, par l'élaboration de cartes différentielles, l'évolution en altimétrie de la dune et de sa couverture végétale à partir de classes de végétation définies selon les capacités de rétention du sable (Fransaer & Van Heuvel, 1999).

* La **technique LIDAR** (Light Detection and Ranging)

Ce système de mesure aéroporté, en 3 dimensions, utilise le laser et des capteurs à haute technologie qui permettent d'acquérir une télémessure précise en altitude d'un point du sol (Populus, 2002). Son intérêt en zone côtière est important :

- Il permet de connaître les structures sédimentaires à grande échelle et d'aboutir à une topographie fine des estrans (les étendues de sables et les rochers sont propices à la réflexion sous l'impulsion laser) (**fig.5**).
- Les mesures sont très rapides (50 km²/jour) favorisant l'analyse des évolutions à très court terme comme le relief côtier sous l'impulsion de la marée.

Cette méthode est fréquemment appliquée pour étudier la bathymétrie aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et dans les régions où les eaux ont une faible teneur de sédiments en suspension (Fransaer & Van Heuvel, 1999). Elle a également été testée dans l'Anse de l'Aiguillon par l'Ifremer pour déterminer la topographie d'estran (Populus, 2002) et pour quantifier l'évolution des volumes sédimentaires de massif dunaire (Woolaard & Colby, 2002). La méthode LIDAR offre une meilleure précision sur les estrans sableux nu comparativement à la méthode photogramétrique, mais son coût est encore important (Laurentin, 2002).

**Figure 5 :**

À gauche, MNT mixte Lidar-sondes à maille de 5 mètres, à droite, MNT de sondes seules à maille de 20 mètres (Populus, 2002)

Tableau 1 : Récapitulatif des procédés d'études de la cinématique côtière

MÉTHODES	MILIEUX ÉTUDIÉS	DONNÉES	PRÉCISION (en X,Y)	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Photo- interprétation	- littoraux meubles	- mesure variation du trait de côte - quantification des surfaces en érosion/accrétion	- ± 6 m	- coûts d'acquisition des données - offre la plus grande précision à l'échelle de plusieurs décennies	- imprécision dans l'exactitude des données (erreurs de jugement du photo-interprète, distorsion topographique, limite de l'instrumentalisation utilisée...) - qualité des photographies
Cartes anciennes	- littoraux meubles et à falaise	- tendance de l'évolution du trait de côte	- décimétrique	- mise en avant des évolutions historiques	- imprécision des mesures - difficulté de superposition avec d'autres sources de données
Plans cadastraux	- littoraux à falaise	- mesure variation du trait de côte - quantification en volume de l'érosion	- métrique	- traitement informatique simple - coût d'acquisition des données	- difficulté de superposition des données
Données satellitaires	- littoraux meubles, à falaise, estuariens ; océanographie	- évolution du trait de côte - plans de houle - transport sédimentaire	- métrique à décimétrique	- répétitivité des images - prise de vue synoptique - précision des données	- coût d'acquisition des données - lourdeur des traitements informatiques (imagerie radar) - faiblesse de la profondeur historique - sensibilité des capteurs (imagerie optique)
MNT d'estran	- estran	- topographie d'estran	- métrique (en X,Y,Z)	- nécessite une seule image	- implique des calculs de hauteur de marée
Photogrammétrie	- littoraux meubles et à falaises	- topographie d'estran, de dunes, de falaise	- décimétrique (en X,Y,Z)	- précision des mesures - correction des déformations d'images	- exigeant en moyens matériels et en logiciels
Lidar	- estran	- données bathymétrique et topographique	- centimétrique (en X,Y,Z)	- précision des mesures - rapidité d'acquisition des données	- coût des missions - exigeant en moyens matériels et en logiciels

112 LES MESURES *IN-SITU* INDISPENSABLES À L'ÉTUDE DE LA MORPHODYNAMIQUE CÔTIÈRE

Les flux hydrodynamiques et sédimentaires ainsi que les processus dynamiques qu'ils génèrent sont difficiles à percevoir, néanmoins le progrès de l'instrumentation scientifique a facilité les mesures en qualité comme en quantité.

1121 Les données de morphologie

* Les mesures bathymétriques

Des profils bathymétriques sont régulièrement réalisés pour étudier les fonds marins. Les analyses historiques prennent en compte les minutes bathymétriques conservées par le SHOM à partir de levés manuels réalisés au plomb suifé. Néanmoins, leur comparaison avec des données récentes se heurte à plusieurs limites : précision des mesures, hétérogénéité de la couverture des sondes (Caroff, 1998) ; les campagnes de mesures sont ciblées sur la sécurité en matière de navigation maritime, ainsi les données sur la bathymétrie des chenaux sont plus nombreuses que celles sur les platiers limon-vaseux.

Les études plus récentes prennent en compte des **mesures acoustiques** des fonds marins, techniques développées à partir des années 70 (Augris & Gourmelon, 2002), par sonars à balayage latéral, sondeurs multifaisceaux et le développement récent de la sismique réflexion. Ces systèmes permettent la détection des variations à la précision décimétrique (Cohen et al, 2002 ; Idier et al, 2002) et la description par reconstitution géométrique bidimensionnelle (Suanez et al, 1998) ou tridimensionnelle des entités sédimentaires sous marines (Walker & Garland, nd. ; Gourmelon et al, 1998 ; Chaumillon et al, 2002).

Dans le Morbihan...

> ... la sédimentation de l'estuaire externe de la Vilaine a été étudiée lors d'une mission de sismique à très haute résolution afin de déterminer la nature, la géométrie et l'évolution spatiale et temporelle de la couverture sédimentaire (Meunier et al, nd).
> Une analyse des variations bathymétriques des zones infra-littorales a été entreprise dans le Golfe du Morbihan (Caroff, 1998) ; elle met l'accent sur les difficultés de compréhension des phénomènes observés liées aux nombreux facteurs naturels et anthropiques qui interviennent dans le Golfe ainsi que sur les difficultés méthodologiques liées à l'utilisation de cartes de Beaupré-Beautemps dans un secteur où seuls les chenaux sont navigables. (**ANNEXE 2**).

* Les mesures topographiques

Les levés topographiques d'estran et de plage sont réalisés le plus souvent à l'aide de **tachéomètre** et **théodolite** et raccordés à un point dont les coordonnées sont connues (borne IGN par exemple). L'analyse diachronique des profils obtenus permet de mettre en avant les évolutions saisonnières ou annuelles des profils de plages et de les quantifier (Chagnaud et al, 1989 ; Bonnot-Courtois & Lafond, 1994, Levoy et al, 1998 ; Durand, 1999 ; Thomalla & Vincent, 2003).

Les levés topographiques peuvent aboutir à la réalisation de MNT construits par interpolation d'un semis de points obtenus par tachéomètre (Hénaff et al, 1999 ; Bosser et al, 2000) et dont la précision, sub-centimétrique, autorise l'étude de fines évolutions topographiques (Fagot et al, 2001).

Le recours au GPS (Global Position System : système de positionnement par satellite permettant de connaître la position géographique et la vitesse d'un objet ou d'une personne en temps réel – Rollet, 2002) facilite la collecte de données suffisantes en densité pour une étude en 3D de la morphodynamique côtière.

L'utilisation du **GPS différentiel** permet une précision centimétrique en mode dynamique voire millimétrique en mode statique (Morton et al, 1993). Des relevés réguliers permettent de suivre les évolutions saisonnières, annuelles et à long terme de plage comme celle des Sables d'Olonne (Pacaud & Fattal, 2003) en dressant des cartes de courbes de niveau et la construction de MNT (**fig. 6**). La précision du GPS a également été prouvée pour mesurer l'évolution, en volume de sédiment, du recul des falaises crayeuses en Seine-Maritime (Anonyme, 2002 a).

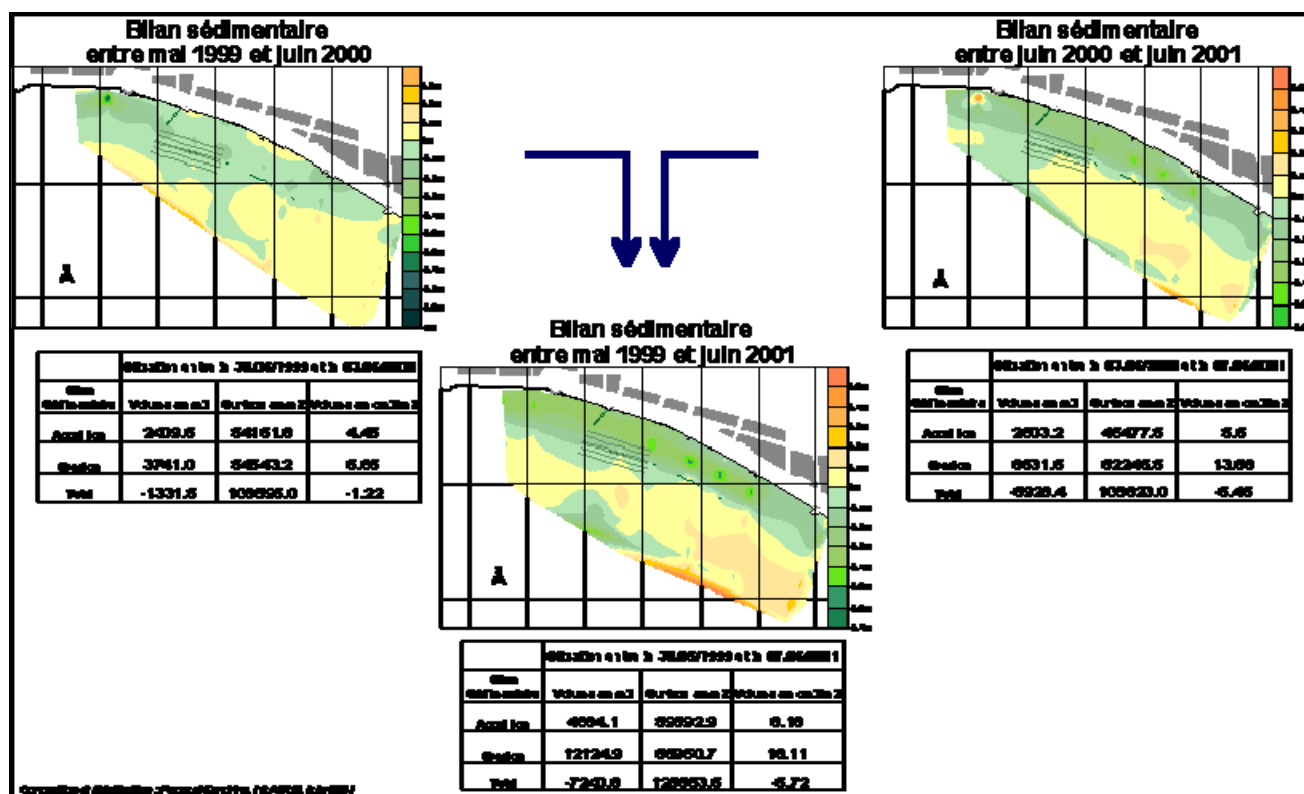


Figure 6 : Calcul de cubatures - Plage des Sables d'Olonne (Pacaud & Fattal, 2003)

1122 Les mesures hydrodynamiques

L'intégration des données hydrodynamiques dans les études de géomorphologie côtière provient de deux types de sources. D'une part, elles sont accessibles auprès des organismes qui sont chargés de collecter l'information à partir de points de mesure fixes, le SHOM pour la courantologie, la marégraphie (Simon, 1994) et les houles, Météo-France pour la situation météorologique (vent, pression). D'autre part, certaines études nécessitent des données précises ; des instruments temporaires seront alors utilisés pour enregistrer des mesures locales (Castaing et al, 1989 ; Levoy et al, 1998 ; Dolique & Anthony, 1999 ; Bosser et al, 2000)

1123 Les mesures de flux sédimentaires

* Les **capteurs électro-optiques**

Ces capteurs mesurent la turbidité des zones côtières en utilisant l'influence des particules en suspension sur la propagation de la lumière. Ce procédé ne peut donc pas s'appliquer aux études de transport par charriage et en saltation. Cette technique intrusive modifie les flux sédimentaires et doit donc être opérée sur une courte période (Levoy & Monfort, nd.)

* Les **traceurs**

Les traceurs permettent l'étude quantitative du transport sédimentaire à proximité des fonds dans l'espace et dans le temps. On distingue le traçage radioactif (Caillot, 1992) mais l'utilisation des procédés nucléaires tend à disparaître pour des raisons écologiques, de manipulation et de coût (Avoine, 1991) au profit du traçage fluorescent qui emploie des particules marquées pour suivre la direction et l'intensité du transit sableux (Le Hindre & Howa, 1999). Cette alternative fiable est utilisée pour des études de courte durée, de quelques heures à quelques jours (sur des cycles de marée par exemple) au lieu d'études saisonnières permises par les traceurs radioactifs.

* Les *pièges à sédiment*

Les pièges à sédiment permettent le piégeage de sédiments en mouvements dans la zone intertidale, dans la zone de déferlement et sur les plages. Cette technique permet d'appréhender et de quantifier le transport éolien des sédiments en saltation basse (piégeage horizontal) et haute (piégeage vertical). Ces capteurs fréquemment utilisés perturbent néanmoins les filets d'air et peuvent induire des affouillements néfastes aux analyses quantitatives (Meur-Ferec & Ruz, 2002).

Les mesures de transports sédimentaires fiables sont difficiles à obtenir et à mettre en parallèle avec les facteurs hydrodynamiques responsables. Les techniques intrusives modifient le flux sédimentaire (incidence sur les écoulements) ce qui n'a pas lieu avec les traceurs. La définition de formules de transports est rendu aléatoire (différence importante entre les mesures *in-situ* et les résultats des formules), néanmoins elles permettent de définir des ordres de grandeur de l'intensité et de la direction des mouvements sédimentaires.

Tableau 2 : Récapitulatif des techniques de mesures in-situ

MÉTHODES	MILIEUX ÉTUDIÉS	DONNÉES	PRÉCISION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Mesures acoustiques	- fonds marins	- bathymétrie - nature des sédiments - architecture des fonds marins	- décimétrique	- cartographie précise des fonds marins - mesure des transports de matériaux	- nécessite des moyens matériels importants - ne différencie pas les vases des sables, des graviers donc implique des prélèvements (sonar latéral)
Tachéomètre / théodolite	- estran, plage, dunes	- topographie	- centimétrique à millimétrique (tachéomètre laser)	- précision des données	- temps de mesure relativement long
GPS différentiel	- plage, estran, dunes, falaise	- topographie	- centimétrique	- précision des données en mode statique - densité des mesures en mode dynamique	- précision insuffisante pour les études fines (micro-forme) en mode dynamique
Capteurs électro- optique (O.B.S)	- avant côte	- turbidité des zones côtières	- modérée	- études sur des courtes durées	- modification des flux sédimentaires (limite les études de transport par charriage ou saltation)
Pièges à sédiments	- avant côte et plage	- dynamiques sédimentaires	- modérée	- données ponctuelles et instantanées	
Traceurs	- transport sédimentaire de fond	- dynamiques sédimentaires	- modérée	- absence d'effet induit sur le milieu - étude temporelle et spatiale	- difficulté des expérimentations de terrain - repose sur des hypothèses de traitement qui doivent être affinées

113 LES APPORTS DE LA MODÉLISATION A L'ANALYSE PRÉVISIONNELLE

Le développement d'instruments scientifiques de mesure ainsi que l'ensemble des données collectées par le biais de la télédétection notamment ont autorisé le développement de la modélisation des agents dynamiques et des flux sédimentaires. Ces différents procédés permettent l'analyse des interactions entre les agents dynamiques et les formes du relief côtier : la morphodynamique littorale. Et la connaissance prospective des tendances évolutives prend tout son sens dans le domaine de l'aménagement littoral (Paskoff, 1994). Trois types d'approches peuvent être distinguées : la modélisation historique, la modélisation numérique (Durand, 1999) et la modélisation physique.

1131 La **modélisation "historique"**

Cette méthode fait référence à l'approche historique et empirique du trait de côte. Par l'intermédiaire du comportement passé de l'évolution du littoral, il est possible d'appréhender la situation actuelle et l'évolution future (Durand, 2001). Plusieurs méthodes existent dont les plus usuelles sont :

- La méthode des points extrêmes : extrapolation dans le futur du taux d'évolution passée du trait de côte entre deux dates
- La méthode de la régression linéaire : calcul et extrapolation dans le futur d'une tendance qui prend en compte toutes les données d'évolution passée du trait de côte au cours d'une période déterminée

Pour les études où la variation du rivage est constante, toutes les méthodes aboutissent à des résultats identiques, mais lorsque la variation n'est pas linéaire, elles ne peuvent qu'approcher les modifications du rivage à long terme (Dolan et al, 1991).

Certaines études aboutissent à des analyses prévisionnelles à plus de cent ans en associant les processus à court terme (tempêtes, orages) et les facteurs à long terme (élévation du niveau de la mer) dans les calculs (Leont'yev, 2003).

1132 La **modélisation numérique** :

La modélisation numérique est aujourd'hui fréquente avec la mise au point de logiciels performants permettant de décrire, de comprendre et de prédire par simulation le transport sédimentaire, l'évolution du trait de côte ou l'hydrodynamisme côtier.

Le transport sédimentaire a fait l'objet de nombreuses études en milieu estuarien, pour appréhender la diffusion des contaminants ((Bassoulet & Le Hir, 1991 ; Le Hir et al, 1991 : Le Hir et al, 1997) ou en milieu côtier pour étudier le transport sédimentaire sous l'action de la houle et des courants (Bellessort, 1994).

Il est également possible de déterminer l'évolution de la ligne de rivage par modélisation numérique, le modèle GENESIS (Generalized model for simulating shoreline change) développé par le CERC aux Etats-Unis est le modèle le plus abouti (Cohen et al, 2002). Il permet de simuler des changements à moyen terme et long terme du trait de côte ; malgré la prise en compte de nombreux facteurs interagissant au sein des systèmes littoraux, il est soumis à de nombreuses critiques (Durand, 2001). D'autres modèles numériques ont récemment été mis en place pour étudier l'évolution de profils de plage (Spielman et al, 2001) ou l'évolution des rivages de Guyane (Gardel et al, 2002 ; Proisy et al, 2003).

L'Ifremer met au point des programmes de simulation de processus océanographiques afin de prédire l'hydrodynamisme côtier en Atlantique et en Méditerranée (Garreau, 1999).

Dans le Morbihan...

> ... le L.N.H. a réalisé un modèle numérique destiné à étudier la diffusion des polluants rejetés dans le Golfe du Morbihan dans le cadre du pré-contrat de baie et à la demande du Conseil Général du Morbihan. Cette étude a nécessité la modélisation de l'hydrodynamisme, notamment les courants de marée, afin de simuler l'évolution des polluants (Marcos et al, 1996).

> L'ERAMM a réalisé pour le compte de l'Institution d'Aménagement de la Vilaine la modélisation numérique de l'évolution des fonds de l'estuaire de la Vilaine entre 1960 et 1994 afin d'étudier le phénomène d'envasement suite à la construction du barrage d'Arzal (Anonyme, 1995 a).

> Le bureau d'études DHI Eau & Environnement a réalisé pour le compte de la Communauté d'Agglomération du Pays de Lorient la modélisation de la houle entre la Laïta et la presqu'île de Quiberon afin de déterminer en volume, le transport sédimentaire occasionné par la dérive littorale.

1133 La **modélisation physique**

La connaissance de la dynamique côtière peut passer par des techniques lourdes et coûteuses à mettre en œuvre : la maquétisation. Ces techniques sont généralement réservées aux études préalables à d'importants travaux d'ingénieries côtières (Miossec, 1995). Elles reposent sur la reproduction schématique des phénomènes complexes en hydrologie et ses relations avec les transports sédimentaires. Ainsi, des modèles réduits ont été réalisés pour déterminer l'évolution de la ligne de rivage sur le site de Criel-sur-Mer (Lafond, 1994), pour préciser les grands mécanismes de l'évolution sédimentaire en baie de Somme (Desprez et al, 1997) ou sur le site du Mont Saint Michel (Anonyme, 2001 a).

Tableau 3 : Récapitulatif des processus de modélisation

MÉTHODES	MILIEUX ÉTUDIÉS	DONNÉES	PRÉCISION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Modélisation "historique"	- littoral	- évolution du trait de côte	- fiabilité moyenne	- donne ordres de grandeur d'une évolution	- non prise en compte des épisodes paroxysmiques pour déterminer des évolutions à court terme - écart d'évaluation de 1 à 5 suivent la méthode utilisée
Modélisation numérique	- milieux côtiers, marins	- évolution trait de côte, courantologie, simulation de houle, sédimentation	- bonne à court terme	- évaluation précise à court terme (1 an) - visualisation de simulation	- manque de fiabilité car ne prend pas en compte tous les facteurs dynamiques d'un milieu
Modélisation physique	- milieux estuarien et côtier	- hydrodynamisme côtier	- bonne à long terme	- permet précision des grands mécanismes sédimentaires - simulation à long terme	- vision simpliste de la réalité (représentation humaine d'un milieu naturel de façon schématique) - coûts importants

12 LES PROCÉDURES DE SUIVI APPLICABLE PAR LES GESTIONNAIRES LOCAUX

Le suivi des érosions côtières et de l'ensemble des processus morphodynamiques agissant sur la frange littorale nécessite des compétences et une technicité particulière. Mais il existe d'autres procédés moins ambitieux et moins coûteux qui permettent de déterminer, d'évaluer et de diagnostiquer l'évolution d'un littoral à l'échelle locale sans formation scientifique préalable.

121 LES OBSERVATIONS DE TERRAIN

1211 La *checklist de vulnérabilité*

Cette méthode mise au point par des universitaires français et britanniques (Bodéré et al, 1994) est une technique de collecte de données, naturelles (géomorphologie, sédimentologie, végétation...) et anthropiques (usages, fréquentation, mesures de protection), permettant d'évaluer la vulnérabilité des milieux dunaires.

Son caractère "universel" voulu par ses concepteurs permet de comparer des sites à des échelles variées, au niveau européen par exemple (Williams et al, 2001) mais aussi au niveau local comme à l'échelle communale (Bourdeau & Jegou, 2002).

Son recours est intéressant dans la mesure où l'évaluation des milieux est indispensable avant toute intervention, sa procédure est rapide et facile d'application car elle est destinée aux gestionnaires dont les connaissances requises des paramètres agissant en milieu littoral ne sont pas maîtrisées. Seules des données observables sur les sites ou interprétables à partir de photographies sont relevées.

1212 La *tenue d'un cahier de terrain*

Cette technique repose également sur des observations de terrain. Il s'agit de consigner les changements que l'on peut remarquer sur les sites lors de passages réguliers (au sortir de l'hiver, après la saison estivale...) . Un bon sens de l'observation est requis pour cette analyse afin de discerner l'état d'un massif dunaire au niveau du profil de la dune (pente abrupte ou douce), de la végétation (densité, dégradation) et des usages que l'on peut inventorier. Sur les falaises, on peut noter la localisation de zones d'éboulement, le ravinement des sentiers, l'état de la végétation et des ouvrages de protection existants (Anonyme, 2002 b).

122 LES RELEVÉS DE TERRAIN

Des techniques simples de mesures de la topographie à l'aide d'un topofil peuvent être mises en œuvre afin de discerner les zones en érosion, celles qui sont en voie de stabilisation ou bien encore en accrétion.

Il s'agit de mesurer la distance séparant des points de repères fixes (borne, bâtiment, route...) à la ligne de rivage (sommet de falaise ou de dune, limite de la végétation, rochers remarquables, laisses de haute mer...) afin de réaliser des croquis qui permettront de visualiser rapidement les secteurs érodés ou d'accumulation.

Le suivi du trait de côte a ainsi été effectué sur un site de l'Office National des Forêts en Charente-Maritime avec plus d'une trentaine de relevés annuels (Prat & Salomon, 1997).

123 LA COMPARAISON DE PHOTOGRAPHIES ET DE DOCUMENTS ANCIENS

Il peut être utile d'associer les observations de terrain et les campagnes de mesures à des photographies prises en plusieurs points de vue du site (voie d'accès, rochers caractéristiques ouvrage de protection...) et toujours selon une orientation donnée permettant de conserver le même angle de vue. La comparaison de clichés peut montrer des phénomènes remarquables.

Il est possible d'établir des évolutions historiques à partir d'autres clichés plus anciens, de photographies aériennes obliques ou de cartes postales anciennes. Cette méthode permet d'affiner et de compléter les analyses sur le long terme (Paxion & Cohen, 2002).

124 LES ENTREVUES AUPRÈS DES RIVERAINS

C'est une méthode d'analyse très simple qui s'effectue par des entretiens auprès des riverains de longue date. Il ne s'agit pas d'une méthode rigoureusement scientifique et qui en matière de précision de l'évolution du littoral est approximative (exagération de phénomènes, validation des témoignages). Mais elle peut permettre de corroborer les résultats obtenus par les autres techniques sur la cinématique côtière en précisant par exemple des épisodes paroxysmiques.

2 LA SURVEILLANCE DU TRAIT DE CÔTE ET LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL

À partir de la fin des années 1980, il y a eu une prise de conscience collective de l'enjeu de la préservation des littoraux. Ces milieux se caractérisent par leur fragilité : il s'y concentre d'importantes activités humaines mais également de nombreux processus naturels (physique, chimique et biologique).

Les actions anthropiques et naturelles qui agissent sur la frange littorale sont conflictuelles. La compréhension détaillée de ces processus actifs est nécessaire. Les résultats regroupés en une base de données, sont le préalable à une bonne gestion d'un secteur côtier (Baily & Nowell, 1996).

21 LA COLLECTE ET LA PRODUCTION DE DONNÉES : AMÉLIORER LA CONNAISSANCE

L'analyse de l'évolution du trait de côte s'appuie sur la connaissance des processus agissant sur le milieu. Il existe de nombreuses données sur le milieu littoral (physique, biologique et socio-économique) néanmoins elles sont souvent inadaptées au traitement de la problématique voire absente sur le site étudié (Robin, 2002 a).

211 LA DISPARITÉ DES INFORMATIONS SUR LE LITTORAL

2111 *L'hétérogénéité des données de référence*

La complexité liée à l'établissement d'une base de données cohérente et homogène sur la frange littorale réside dans la multiplicité des acteurs qui interviennent sur ce territoire à des échelles diverses : administrations centrales d'État, établissements publics, services techniques de l'Équipement, collectivités locales, observatoires, associations...

L'exemple le plus frappant est la disparité de représentation d'une limite (le trait de côte par exemple - Cf. **fig. 1**) inhérente aux gestionnaires de la source d'information. La représentation cartographique des milieux littoraux est rendue difficile par l'existence de deux systèmes géodésiques différents (Chartrain, 2001).

Côté terrestre, l'Institut Géographique National (IGN) travaille avec le système géodésique "Nouvelle Triangulation Française" et en projection Lambert. En domaine marin, le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) établit les cartes marines dans le système Europe 50 en projection Mercator.

De plus, les références altimétriques diffèrent : le SHOM mesure la bathymétrie par rapport au niveau des plus basses mers théoriques (zéro hydrographique) tandis que l'IGN se réfère au niveau moyen mesuré par le marégraphe de Marseille (IGN 69). La différence entre ces deux références n'est pas constante le long du linéaire côtier mais dépend de la marée locale.

2112 *L'hétérogénéité des données thématiques*

Le suivi scientifique des érosions côtières comme de l'ensemble des paramètres agissant sur les milieux littoraux, par des techniques de collecte de données de plus en plus automatisées (télédétection, mesures acoustiques...), augmente de manière significative le volume de données disponibles. Cependant, compte tenu de leur forme et leur contenu, ces dernières sont souvent hétérogènes.

La disparité des informations provient de la difficulté d'étudier certains milieux, le problème d'hétérogénéité des données étant récurrent en milieu marin. Le recueil des données est réalisé localement et à faible fréquence, à l'exception des zones faisant l'objet d'un suivi approfondi en raison de leur intérêt prioritaire d'un point de vue économique ou écologique. La qualité des données disponibles se trouve alors altérée sur le plan de leur densité, de leur exhaustivité ou de leur actualité (Le Berre et al, 2002).

L'acquisition et la gestion de données sont du ressort de quelques organismes publics ou privés et le mode de structuration des données est dicté par leur mission respective (sécurité maritime pour le SHOM...) favorisant le plus souvent leur numérisation anarchique pour un besoin immédiat (Anonyme, 2003 a). Le résultat aboutit à l'adoption de référentiels, de typologies et de formats de données qui diffèrent d'une structure à une autre comme nous venons de le voir précédemment. La difficulté d'utilisation d'une donnée comme support d'aide à la décision est donc problématique (Cuq, 2000) d'autant que les états d'avancement des projets de collecte d'informations ne sont pas identiques et les produits numériques finalisés ne sont pas toujours exploitables par les consommateurs de données (Le Berre et al, 2000).

212 LA MISE EN PLACE DE RÉSEAUX DE SURVEILLANCE : LES BASES DE DONNÉES

Compte tenu de la disparité des producteurs de données et donc de l'éparpillement des sources d'information, des réseaux de production ou de collecte se sont mis en place permettant de fournir aux acteurs de l'aménagement littoral, par l'intermédiaire de ces banques de données, des informations communes et homogènes sur un territoire.

2121 Corine Érosion Côtière

Sous projet du programme Corine Land Cover mené par la Communauté Européenne entre 1985 et 1990, Corine Érosion Côtière (CEC) est une base de données à l'échelle européenne concernant la nature et l'évolution du trait de côte dans les différents pays européens. Coordonné par le BRGM entre 1987 et 1990, le trait de côte européen a été découpé en 17 037 segments homogènes auxquels on a adossé des codes (Thorette et al, 1995). Les trois types de données contenus dans ce programme sont :

- Le trait de côte
- Les coordonnées géographiques des extrémités des 17 037 segments côtiers
- Les codes des 3 attributs de chacun des segments (morpho-sédimentologie, présence d'ouvrage de défense, tendance d'évolution)

Les opérations de codage ont été réalisées sur des cartes à des échelles variant du 1/25 000ème au 1/200 000ème (Espagne). Ce projet a permis d'élaborer des statistiques sur les côtes européennes et de disposer d'un outil fournissant des données uniformes donc comparables aux différentes unités scalaires (local, régional, national).

Un appel d'offre européen (juillet 2001) a été lancé afin de mettre à jour la base de donnée Corine Érosion côtière, de l'étendre à l'ensemble des pays européens et en y incluant d'autres données (cf. programme EUROSION, § 243).

Dans le Morbihan...

... la base de données CEC précise pour le littoral du Morbihan les chiffres suivants (Anonyme, 1997):

Linéaire côtier (1/25 000^e) : 604 km

Stabilité : 75 %

Érosion : 9 %

Engraisissement : 5 %

Autres (indéfinis) : 13 %

2122 BOSCO

Initié par le BRGM et le CETMEF, BOSCO (Base d'Observation et de Suivi des Côtes) constitue un système d'information sur la zone littorale à l'échelle nationale, via le réseau Internet [<http://www.bosco.tm.fr>], à destination des administrations de l'État, des collectivités locales, des établissements publics, des instances de recherche scientifique et technique et des bureaux d'études. Sa mission est centrée sur les connaissances en matière de suivi de l'évolution du milieu physique (érosion, sédimentation) et des caractéristiques dynamiques et sédimentaires du littoral.

Cette initiative doit assurer gratuitement le porté à connaissance des données existantes (métadonnées) sur l'évolution du trait de côte ou s'y référant et l'hébergement de certaines données spécifiques à la demande des fournisseurs.

Le système BOSCO fournit trois niveaux d'informations :

- Les métadonnées renseignant sur les données existantes, disponibles directement ou non depuis le site. Elles suivent les recommandations de normalisation européenne sous la référence PR ENV 12657.
- Les données sont réparties en huit thèmes : géomorphologie, bathymétrie et topographie, hydrodynamique, hydrologie continentale, sédimentologie et géologie, météorologie et climatologie, ouvrages côtiers et autres aménagements, contraintes et enjeux terrestres et maritimes. Elles peuvent être détenues exclusivement par le fournisseur ou être mises à disposition sur le serveur BOSCO.
- Les références bibliographiques.

Dans le Morbihan...

... les données disponibles ou renseignées sur le serveur Internet BOSCO sont à titre indicatif :

- Bathymétrie et topographie :
 - Concordance des zéros maritimes et terrestres (SHOM)
 - Les épaves des Côtes de France (SHOM)
 - Reproduction de cartes anciennes du SHOM (SHOM)
 - Trait de côte et isobathes de France métropolitaine (SHOM)
- Géomorphologie :
 - Cartes sédimentologiques, dites cartes G (SHOM)
 - Cartes sédimentologiques maillées (SHOM)
- Hydrodynamique :
 - Atlas des courants de marée (SHOM)
 - Atlas des courants de marée numériques (SHOM)
 - Base de données CANDHIS (CETMEF)
 - Prédiction de marée sur Internet (SHOM)
- Sédimentologie et géologie :
 - Banque de données du sous-sol (BRGM)
- Ouvrages de défense et autres aménagements
 - Photographies aériennes obliques (SHOM)
- Météorologie et climatologie
 - néant
- Contraintes et enjeux terrestres et maritimes
 - néant
- Hydrologie continentale
 - néant

Traiter de l'érosion du trait de côte ou plus généralement de l'aménagement du littoral à partir de données existantes est rendu difficile par la pluralité des producteurs de l'information. Longtemps les acteurs de l'aménagement littoral se sont adaptés aux imperfections (incertitudes de positionnement, échelles et projections différentes suivant les supports-papier utilisés), ils intervenaient de manière sectorielle dans la gestion de l'espace côtier. Aujourd'hui, l'intégration de données au sein de base de données et de système d'information géographique nécessite une organisation plus rigoureuse de l'information (Guillaumont & Durand, 2000) dans une approche de gestion intégrée du littoral.

2131 *Les premières initiatives*

L'information géographique, primordiale dans la gestion de l'espace littoral, nécessite une définition spécifique par rapport aux données nationales de référence. Plusieurs études à l'échelle nationale ont été réalisées dans ce sens.

* L'étude SHOM – IFREMER sur les données de référence sur le littoral

Cette étude dresse un inventaire très complet et détaillé sur les données du domaine marin (Allain et al, 2000) :

- Adoption d'un vocabulaire permettant d'établir une définition commune des objets et de lever les ambiguïtés.
- Bilan des données existantes.
- Hiérarchisation des besoins en données de référence, en allant au-delà des applications usuelles.
- Mise à plat de la structure des données de référence qui n'obéit plus à des contraintes strictement cartographiques mais à celles de bases de données géoréférencées organisées typologiquement.
- Réflexion sur la cohérence entre les données maritimes et terrestres à l'interface du trait de côte.

* L'orthophotoplan littoral

Les photographies aériennes constituent un fond de plan pertinent et offrent une représentation continue de l'interface terre/mer. L'État, dans le cadre du CIADT du 28 février 2000, a commandé à l'IGN la réalisation d'une orthophotographie aérienne des côtes de la Manche, de l'Atlantique (aujourd'hui étendue à la Méditerranée) sur une bande de 6 km. Sa particularité réside dans les conditions de prise de vue (pendant

les coefficients de marée les plus forts afin de couvrir l'estran à marée basse), mais elle conserve les mêmes caractéristiques techniques de la BD Ortho (composante image du RGE de l'IGN) : prise de vue couleur, échelle au 1/25 000ème et pixel de 50 cm).

La gratuité de l'orthophotographie littorale a été retenue pour faciliter l'information du public néanmoins la diffusion via Internet de lots de données est rendue difficile par l'étendue de l'information et la lenteur des processus informatiques (Anonyme, 2003 a)

* BOSCO

L'outil de catalogage BOSCO des données relatives à l'érosion côtière développé par le BRGM et la CETMEF, présenté précédemment, constitue une approche intéressante de collecte des données disponibles. Ces données sont définies de manière spécifique par rapport aux données nationales de référence.

Ces initiatives qui soulignent le rôle primordial de l'information dans une logique de gestion intégrée des espaces littoraux restent cependant dans une vision non partagée de ces milieux par les différents acteurs du littoral.

2132 Le Référentiel Géographique Littoral (RGL)

L'inscription d'une étude dans une vision partagée par les acteurs littoraux a été reconnue et le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) a créé le groupe de travail "littoral", chargé d'élaborer un langage commun entre tous les acteurs et de définir les modalités de son entretien.

Les études engagées au sein du GT "Littoral" ont abouti récemment (début 2003) à recommander la création d'un dispositif nouveau et cohérent de structuration des données littorales. Les propositions s'organisent autour de trois axes principaux (Anonyme, 2003 a) :

- L'élaboration d'une politique de données s'appuyant sur la mise en place d'un Référentiel Géographique Littoral (RGL) qui reprend partiellement certaines composantes du RGE (réseaux, limites administratives...) et d'autres lui étant spécifiques (orthophotographie littorale, altimétrie continue terre/mer...).

Le RGL est un ensemble de données (94 au total réparties en 12 thématiques et 3 domaines – cf. *liste complète dans l'annexe 5 du rapport du GT Littoral*), nécessaires et suffisantes pour proposer à tout utilisateur les éléments d'information pour produire ses données et les échanger avec ses partenaires **(ANNEXE 3)**.

- La production de données du RGL est essentielle et constitue un préalable incontournable au développement de SIG côtiers. Elle participe à la mise en œuvre d'un cadre géographique littoral sur le plan national, sur lequel tous les acteurs auront la possibilité de créer et d'échanger leurs données thématiques.
- Leur accès financier doit être aisé et en aucun cas constituer un obstacle à leur acquisition par un acteur du littoral ; Les droits d'usage doivent être adaptés aux exigences de l'information numérique.
- La mise en place d'un dispositif technique comprenant le catalogage et la création d'un portail Internet littoral.
Ce site permettra à chaque acteur de trouver l'information de référence disponible sur le littoral où seront accessibles le catalogage des métadonnées (relatives au RGL mais aussi aux données thématiques géographiques) et un support de l'activité du réseau national géographique (travaux, recommandations...)
- La mise en place d'un réseau national littoral géographique, d'une maîtrise d'ouvrage pour assurer le pilotage et le financement du dispositif et d'un maître d'œuvre.

Le Comité Interministériel de la Mer (CIM) du 29 avril 2003 a décidé de constituer le RGL et le définit comme la "*superposition de couches cohérentes d'information qui seront régulièrement mises à jour et accessibles à tous les acteurs de la gestion intégrée des zones côtières. Le RGL assurera la jonction entre l'information terrestre, produite pour l'essentiel par l'IGN, et l'information marine, produite pour l'essentiel par le SHOM, ces deux organismes s'associeront pour étudier les manières de produire ce RGL.*"

22 LA GESTION DES DONNÉES LITTORALES : CAPITALISER ET PARTAGER L'INFORMATION

Le préalable à une bonne gestion de l'espace littoral est la constitution de bases de connaissances qui se réfèrent à une grande variété de données à rassembler et à gérer rationnellement pour qu'elles soient utiles à la prise de décision. La gestion du trait de côte, comme de l'ensemble du littoral, requiert la connaissance d'un nombre important d'informations sur les processus agissant au sein d'un système complexe (facteurs naturels et anthropiques...). La gestion de l'espace côtier implique la mise en œuvre d'une banque de données informatisée et d'un système d'information géographique qui permet, en termes d'analyses spatiales, la production de cartes thématiques nécessaires à la prise de décision.

221 LES POTENTIALITÉS DES SIG EN DOMAINE LITTORAL

Les différents acteurs de l'aménagement littoral s'accordent à faire du Système d'Information Géographique l'un des outils le plus adapté à la gestion des milieux côtiers (Augris & Gourmelon, 2002). En effet, le SIG est un outil d'information qui permet :

- De faire un état des connaissances sur le milieu en capitalisant les informations nécessaires à la démarche et produites par les différents organismes
- De gérer ces données de sources (terrain, télédétection), d'échelle (locale, régionale...) et de nature (rapports, photographie...) différentes au sein de bases de données géoréférencées
- D'analyser les processus environnementaux
- De produire des éléments cartographiques qui représentent des outils de communication synthétiques de premier choix
- D'aider à l'expertise, c'est-à-dire d'aider à la décision

Leur utilisation est devenue courante pour la gestion des zones côtières et marines (aménagement, érosion côtière, lutte antipollution...) néanmoins leur développement reste le plus souvent cantonné à des études sectorielles et non dans une approche de gestion globale du littoral (Johnson et al, 2002). Or les SIG offrent un cadre conceptuel, méthodologique et opérationnel adapté pour l'aide à la gestion intégrée des zones côtières (Cuq, 2000).

Dans le Morbihan...

... dans le cadre de l'élaboration du Schéma de Mise en Valeur de la Mer du Golfe du Morbihan, une convention partenariale (Services de l'État, Collectivités Territoriales, Établissements Publics, organismes professionnels, ODEM...) en cours de finalisation vise à la mise en place d'un dispositif d'échange de données localisées sur l'aire couverte par le SMVM. L'objectif du dispositif d'échange *Golfe du Morbihan* est d'être le support de l'étude du SMVM – Natura 2000 et un outil de gestion de l'espace et des milieux. Le référentiel commun choisi dans le cadre de la mise en place de ce système d'information est l'orthophotographie du littoral.

222 L'ORGANISATION ET LA STRUCTURATION DES DONNÉES

2221 L'organisation de la base de données

La mise en œuvre de SIG repose dans un premier temps dans l'inventaire de données qui permettent d'identifier les thèmes d'information qui doivent être pris en compte par le concepteur et les utilisateurs du SIG (**fig. 7**).

Deux grands types d'informations peuvent être distingués au sein d'une base de données informatique : les données spatiales (ou géographiques) et les données attributaires (ou descriptives) (Audren et al, 2003). Les premières sont fonction des caractéristiques propres à l'objet représenté sous forme de polygones, d'arcs, de points ; Les secondes décrivent les premières par des données alphanumériques ou graphiques. Les données peuvent être produites en interne, elles sont le produit de l'activité de la structure, ou en externe (données brutes ou valorisées) échangées par la mise en place de partenariats.

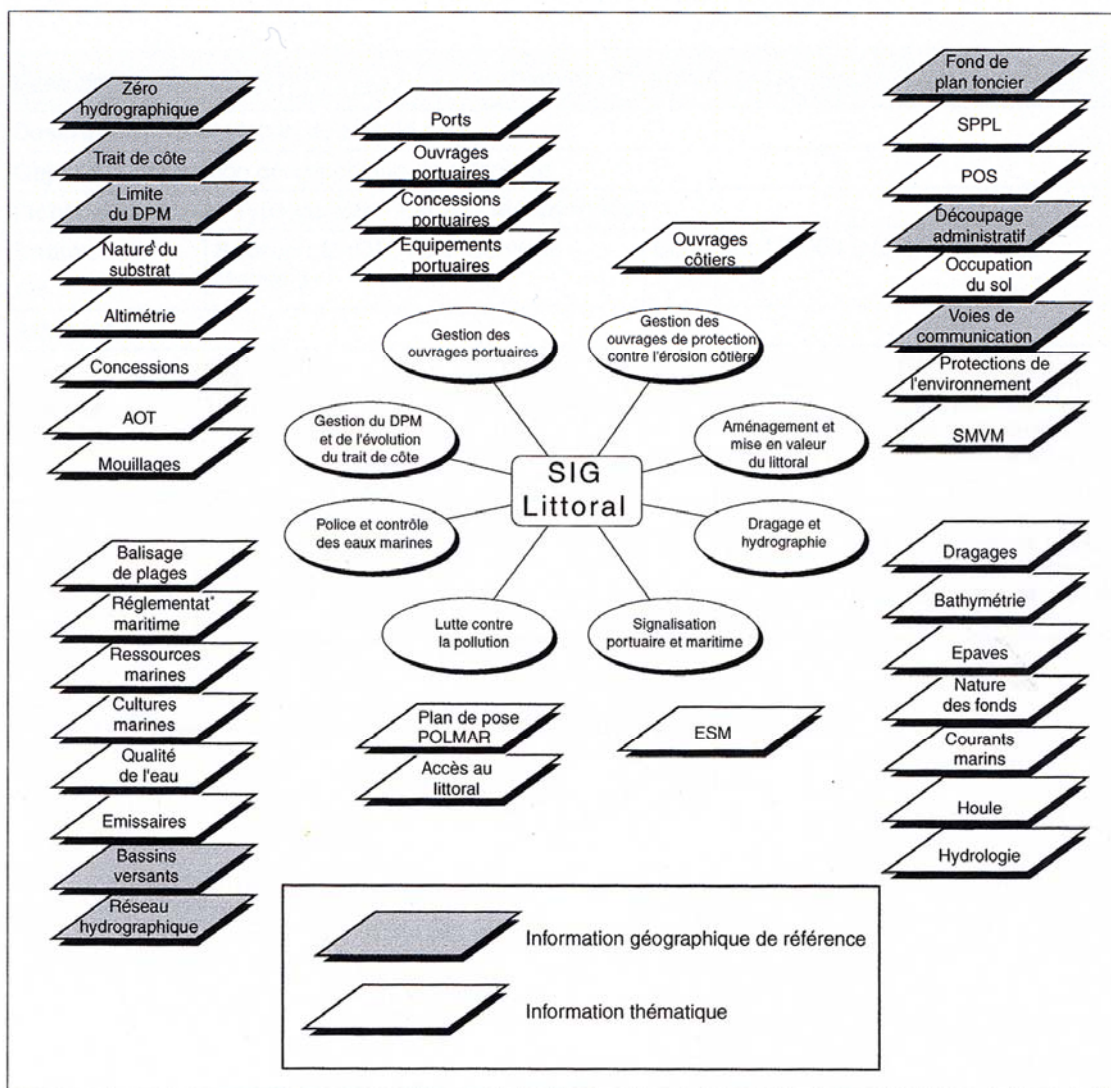


Figure 7 :

Schéma général du SIG du METL sur le littoral (Le Berre et al, 2002) conçu sous une forme "modulaire" permettant à chaque structure des Services Maritimes de se focaliser sur ses priorités d'action et de gestion du littoral.

La réflexion menée sur la mise en œuvre de référentiels géographiques communs sur le littoral est primordiale dans une conception d'uniformisation de la production de donnée (cf. description et définition des données de référence – Étude du SHOM-IFREMER). L'uniformisation des données via la mise en place du RGL favorisera l'échange des informations et leur comparaison.

2222 La structuration

La structuration des données est une nécessité pour assurer une cohérence de l'ensemble des informations récoltées. Cette organisation résulte de la confrontation de plusieurs éléments (Guillaumont & Durand, 2000) :

- La facilité d'accès aux entités fonctionnelles que l'on souhaite privilégier, mais ce choix doit être déterminé le plus souvent par une confrontation élargie à l'ensemble des acteurs)
- La difficulté de génération et de gestion cohérente
- Les capacités techniques des utilisateurs pour résoudre leurs propres besoins

La structuration de l'information repose sur deux étapes fondamentales :

* Le catalogage des données

Le catalogage des données, à partir d'un catalogue de données présentant une description des différentes tables (structure des données attributaires de chaque couche), assure la fiabilité et la cohérence d'un système d'information (Audren et al, 2003). Le Ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement a développé un outil destiné à la saisie, au catalogage et à la diffusion de métadonnées (REPORTS) conforme à la norme européenne simplifiée selon les directives du CNIG puis, sous une seconde version du logiciel, conforme à la norme européenne finalisée (Le Berre et al, 2002).

Cet outil de saisie a été utilisé par le BRGM et le CETMEF dans la création du géorépertoire BOSCO. Les données sont structurées autour de huit thèmes :

- Géomorphologie
- Bathymétrie et topographie
- Hydrodynamique
- Hydrologie continentale
- Sédimentologie et géologie
- Météorologie et climatologie
- Ouvrages côtiers et autres aménagements
- Contraintes et enjeux terrestres et maritimes

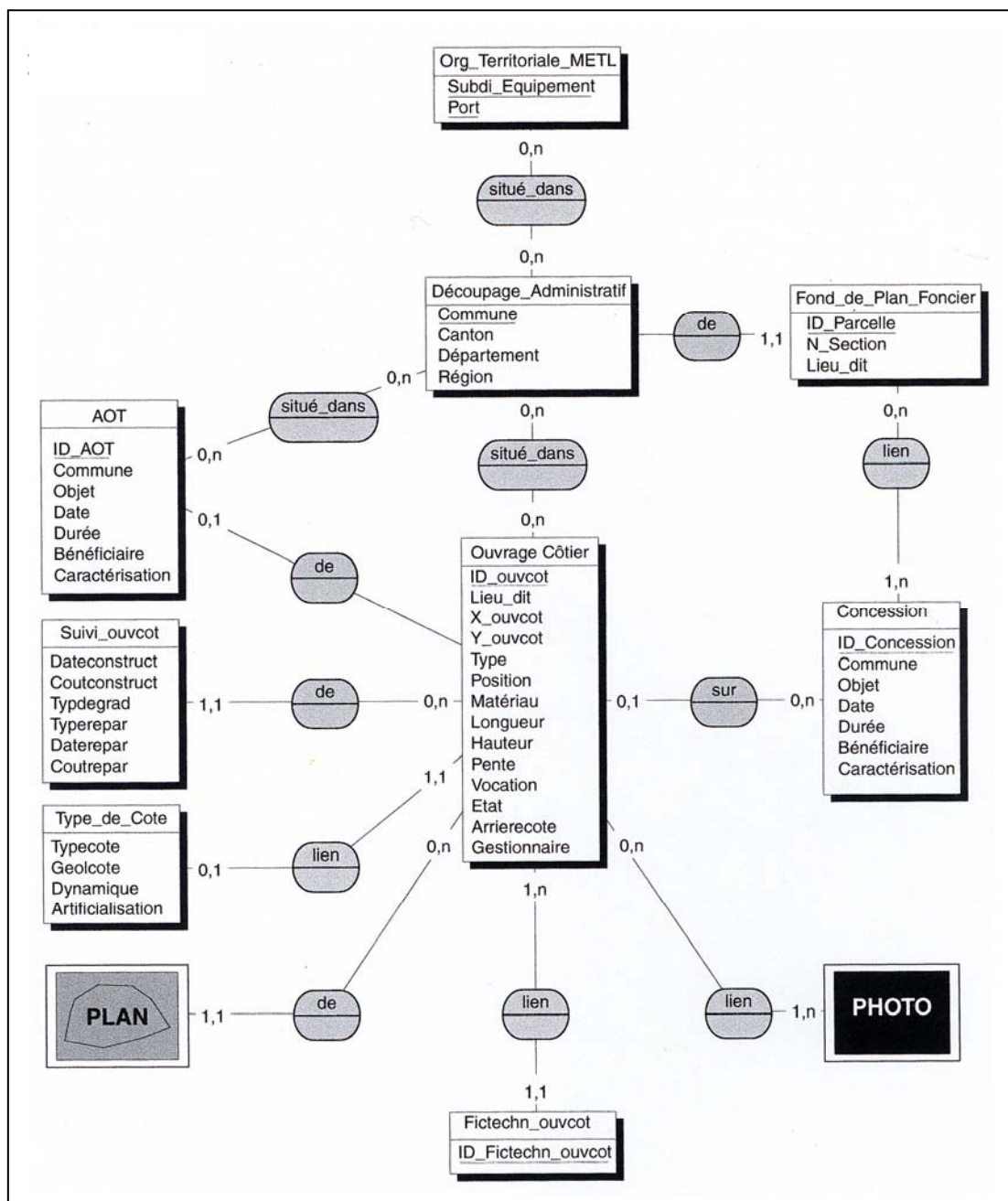
Les descriptions de données (métadonnées) sont normalisées, précises et complètes (établies selon les recommandations de la norme européenne PR ENV 12 657) :

- Identification, résumé, domaine d'utilisation...
- Système Géographique de Référence
- Informations sur la qualité
- Extension spatiale
- Extension temporelle
- Informations administratives
- Règles de diffusion

L'initiative européenne CoastBase co-financée par la Communauté Européenne dans le cadre du programme IST (Information, Science and Technology) a permis l'élaboration d'un outil facilitant les échanges d'informations et de données entre les différents intervenants des zones côtières. Il se présente comme un catalogue de données côtières et marines sur le réseau Internet où l'on peut consulter les métadonnées standardisées suivant la norme européenne. L'évolution côtière est l'un des thèmes abordés par cet outil de catalogage comme le sont également l'AIZC (Aménagement Intégré des Zones Côtières), la pollution et la qualité des eaux, l'eutrophisation, la biodiversité, les pêcheries et la planification (Choppin, 2001).

* Le modèle conceptuel de données

L'établissement du modèle conceptuel de données est une étape indispensable à la prise en compte des problèmes de gestion et de cohérence des données. Il vise à organiser, à hiérarchiser les couches de données thématiques au sein de la base d'information géographique. Il est présenté selon le mode *entité-relation* dans lequel les objets spatialisés, définis en tant qu'entités, sont associés à leurs attributs thématiques (Le Berre et al, 2002) (**fig.8**).

**Figure 8 :**

Modèle conceptuel du module "Gestion des ouvrages de protection contre l'érosion côtière"

(Le Berre et al, 2002)

23 L'EXPLOITATION DES DONNÉES : ÉTABLIR DES ÉTATS DES LIEUX ET IDENTIFIER LES ENJEUX

231 L'INTÉRÊT DE LA GÉOMATIQUE DANS L'ÉLABORATION DE DESCRIPTEURS

L'exploitation de données pour extraire une information sur un segment côtier par l'intermédiaire des SIG est décrite par Robin (2002 a) dans une démarche géomatique de l'étude du risque.

2311 La réalisation de cartographie thématique

L'élaboration de cartes thématiques de base est le moyen le plus communément employé pour faire passer un message auprès du public et des décideurs locaux. Elle s'appuie sur l'utilisation de données existantes produites par des organismes ou en interne.

Des SIG ont été mis en place par des observatoires du littoral locaux ; certains d'entre eux font référence aux données issues de Corine Érosion Côtière pour traiter du phénomène d'érosion du trait de côte (Cellule Environnement Littoral Marin – CELM [<http://www.chez.com/celm>]).

Le rassemblement des données récoltées peut aboutir à la réalisation d'atlas du littoral qui par exemple pour celui de la Côte d'Opale en 1996 rassemblait des cartes évolutives sur différents thèmes (occupation du sol, axes et flux de communication, géographie physique dont l'érosion, ...). Cet outil était une première démarche dans la planification de l'espace littoral en définissant les zones aptes à recevoir un aménagement touristique structurant (Oliveros & Leroi, 1999). D'autres s'appuient sur des traitements de données quantitatives issues de nombreuses bases de données et d'études de terrain pour dresser un état des lieux par une représentation cartographique des différentes thématiques rencontrées dans l'aménagement littoral dont l'érosion (Collectif, 2001).

2312 *La notion d'indice de risque dans l'évaluation du recul côtier* (Robin, 2002 a)

Ce descripteur est fondé sur une "distance simple" ; une zone est caractérisée à risque en fonction de sa distance du trait de côte et de la vitesse d'évolution de la ligne de rivage. Les étapes de la création de l'indice :

- cartographie du recul du trait de côte à plusieurs dates
- extrapolation du recul du rivage de façon linéaire
- intersection du résultat obtenu par une cartographie de l'occupation du sol

À terme, chaque classe de l'occupation du sol reçoit une valeur en fonction de sa distance au trait de côte et détermine sa vulnérabilité par rapport à sa localisation au sein de la bande à risque.

Une seconde démarche consiste à élaborer l'indice en fonction de plusieurs variables ("approche multicritère") et suit la procédure suivante :

- formalisation du problème à résoudre (évaluation du risque liée au recul côtier)
- identification des critères (distance du trait de côte, extrapolation spatiale du recul, présence/absence d'ouvrage de protection nature des formations superficielles, topographie fine, occupation du sol, ...)
- standardisation des critères
- pondération des critères (suivant ordre d'importance)
- combinaison des critères pour créer l'indice de risque multicritère

Les indices de risques permettent d'identifier des segments côtiers homogènes face à l'élévation du niveau de la mer par exemple. Ces démarches sont intéressantes car elles prennent en compte un nombre important de variables physiques (Coastal Vulnerability Index - CVI) mais aussi socio-économiques (Indice de Sensibilité Potentielle - ISP).

2313 *La synthèse spatiale par agrégation* (Robin, 2002 a)

Cette approche permet d'avoir une vision synthétique du risque sur un territoire étudié. La démarche consiste à affecter à un espace une probabilité de risque local conditionnée par différents critères.

Ainsi, il a été réalisé une cartographie synthétique des risques sur l'île d'Yeu, la carte d'aléas prenant en compte les paramètres érosion, submersion et tempête, a été croisée à celle de la vulnérabilité qui est fonction de critères socio-économiques. Ce croisement cartographique permet de synthétiser le risque en fonction de niveaux prédéfinis.

2314 *La modélisation*

Des passerelles sont en cours de constitution entre les SIG et les outils de simulation afin d'explorer la dynamique des écosystèmes et de quantifier les processus en intégrant en grande partie les interactions entre les différents comportements (Le Berre & Gourmelon, 2002).

Il est possible de récupérer des résultats de simulation et de les intégrer au sein du SIG comme les résultats de la simulation hydrodynamique MARS d'IFREMER et le SIG ArcView (Robin, 2002 a) afin de superposer ces résultats aux données déjà intégrées dans le SIG.

Des outils permettant d'activer une simulation au sein d'un SIG sont en cours de développement et permettront d'établir des scénarios à risques. La simulation peut porter sur la prédiction de houle et des courants associés, le transport par dérive littorale, l'évolution du trait de côte... Des recherches récentes ont établi des modèles de réalité reposant sur la prise en compte des interactions entre l'homme et la nature à différentes échelles de temps et d'espace. Cet ultime modèle de simulation des usages permet le développement d'un système d'aide à la gestion intégrée des zones côtières (Cuq, 2000).

232 LE DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL

La mise en place de programmes de surveillance du littoral s'appuie dans un premier temps sur la constitution d'une base de données dont l'objectif est de collecter et d'organiser des données environnementales fiables, homogènes, rapidement accessibles et facilement mises à jour pour disposer d'une base d'information de référence pour l'aide à la décision.

À partir de ces données, les organismes chargés de la surveillance côtière suivent l'évolution du trait de côte en établissant un état des lieux de l'environnement, en identifiant les tendances cinématiques, les enjeux pour aboutir à la définition d'actions.

2321 L'exemple des Pays-Bas

La gestion de la côte aux Pays-Bas est une priorité nationale par souci de sécurité depuis les inondations catastrophiques de 1953 et la mise en place du "Plan Delta" (Fransaer & Ven Heuvel, 1999). Si depuis 1840 des profils de plage furent effectués, les mesures se sont intensifiées à partir de 1963 (mesures annuelles de la bathymétrie et de l'altimétrie). En 1990, les pouvoirs publics hollandais ont opté pour une politique de maintien "dynamique" du trait de côte à partir d'une situation normale (1^{er} janvier 1990) qui est déduite des relevés effectués lors de la période 1980-1989. Cette ligne de rivage de référence est considérée comme la norme dans la gestion du maintien dynamique.

L'acquisition numérique des relevés annuels permet d'établir des "cartes de rivages" produites à l'aide d'un SIG et couvrant une surface de 8 km². Les informations contenues sont :

- Les lignes de profils le long desquelles les mesures sont effectuées
- La ligne de rivage de référence
- La tendance locale de l'évolution du rivage
- La différence entre la ligne de rivage actuelle et celle de référence ; lorsque la norme est dépassée, des réensablages sont opérés.

2322 Quelques exemples de descripteurs

La mise en place de descripteurs n'est pas d'un usage courant dans la gestion des côtes françaises. La définition des secteurs à risques repose certes sur des études scientifiques mais pas sur la mise en place de descripteurs *in-fine*.

Des approches scientifiques de la gestion du trait de côte ont abouti à la mise en place d'indices, mais leur utilisation n'est pas encore usuelle car les méthodes nécessitent d'être affinées ou ne sont pas généralisables à l'ensemble d'une façade maritime.

* Les indices de vulnérabilité

> La checklist de vulnérabilité (Bodéré et al, 1994)

Présentée dans les méthodes de mesure de l'érosion (§1211), cette liste de contrôle est une approche méthodique selon les concepteurs dans la collecte de données de base destinée à l'évaluation des milieux dunaires à partir de relevés de terrains et par photo-interprétation.

Son principe repose sur une série de questions à choix multiples. Ces dernières concernent un large éventail de facteurs environnementaux répartis en grandes rubriques, chacun étant susceptible d'accentuer la vulnérabilité des systèmes dunaires. Les paramètres d'ordre physique ou biologique (géomorphologie, sédimentologie, végétation...) et d'ordre humain (usages, fréquentation et mesures de protection) sont quantifiés suivant une notation précise. À chaque question, correspond 3 à 5 réponses qui sont cotées de 0 à 4. La somme des points obtenus est transcrite en pourcentage et permet d'aboutir à un constat (l'indice de vulnérabilité) et à un degré d'interventionnisme (indice de protection) (**ANNEXE 4**).

Néanmoins, les résultats sont à manier avec précaution car ils sont le reflet d'une évaluation personnelle de la vulnérabilité des systèmes dunaires à un instant donné, l'interprétation étant propre au recenseur et cela malgré les recommandations prescrites. La pertinence des questions sur un site peut s'avérer douteuse dans la mesure où elle peut induire certaines aberrations en limitant l'influence de certains paramètres ou en l'accentuant. (Bourdeau & Jégo, 2002).

> L'indice de vulnérabilité (Cazes-Duvat, 2001)

Dans le cadre d'une réflexion globale sur la protection des plages aux Seychelles, l'élaboration d'un indice de vulnérabilité était l'une des actions pour évaluer le degré d'érosion des plages. Cet indice est basé sur des paramètres physiques et humains, chacun étant noté suivant un des trois niveaux de vulnérabilité (0, 1, 2) :

- évolution de la plage et état sédimentaire
- niveau de l'abondance des sédiments sur l'avant côte
- fonctionnement morphodynamique
- résilience (degré de vulnérabilité par rapport au rythme et au volume de rechargement naturel des plages)
- niveau de prélèvement anthropique
- présence d'ouvrage de défense

L'évaluation du niveau de vulnérabilité globale est basée sur l'addition des différents niveaux de vulnérabilité (de 0 à 12) qui détermine au final 4 degrés de vulnérabilité. Une cartographie synthétique des plages permet d'orienter les différentes stratégies de développement touristique (**Tab. 4**).

VULNÉRABILITÉ

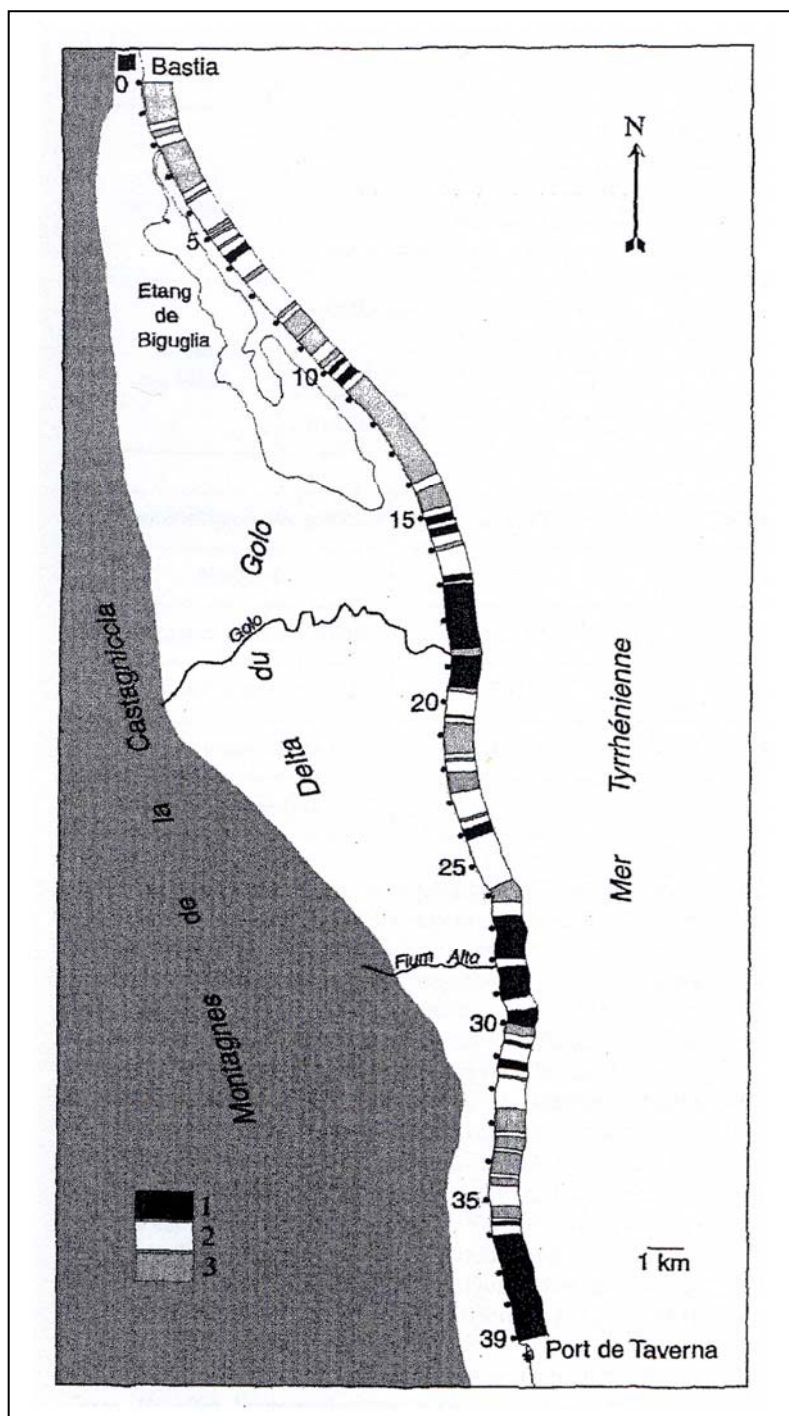
	NIVEAU 0 Plages très peu ou pas vulnérables	NIVEAU 1 Plages relativement vulnérables	NIVEAU 2 Plages vulnérables	Niveau 3 Plages très vulnérables	
C A R A C T È R E S	Caractéristiques	Plages larges, grasses ; stocks sédimentaires importants sur l'avant-plage ; fonctionnement favorable à la recharge ; bonne résilience, peu d'impacts	Plages assez étroites ; petits stocks mobiles sur l'avant plage ; recharge partielle après les crises et impacts anthropiques négatifs localisés	Plages étroites ; sites abrités à l'écart du transit côtier ; recul par à-coups lors de crises et aggravation de l'érosion par des équipements et/ou aménagements inadaptés	Érosion importante au cours des dernières décennies ; plage réduite ou temporaire à l'écart du transit ; fortes dégradations lors de crises ; forts impacts anthropiques négatifs
	Intérêt spécifique et contraintes	Patrimoine naturel à conserver ; baignade difficile ; paysages remarquables du littoral, sites tests des dynamiques sédimentaires	Valeur touristique ; baignade possible ; paysages remarquables dans certains cas ; forte concentration hôtelière	Infrastructures majeures (routes, jetées...) ; faible valeur paysagère ; routes côtières et murs de protection	Forte dégradation ; faibles possibilités de valorisation
	Recommandations spécifiques	Sites à surveiller et à protéger ; éviter les constructions sur le rivage ainsi que l'extraction de sable	Ne pas aggraver les impacts anthropiques ; respecter la distance de retrait fixée pour le bâti ; entretenir la végétation et éviter l'extraction de sable	Ne pas aggraver les impacts anthropiques ; ne plus construire ; entretenir les ouvrages de défense pour protéger les routes et les constructions ; tenter de stabiliser le haut de plage par la plantation de végétaux adaptés	Ne pas construire ; entretenir la protection lourde dans l'immédiat ; imposer un recul des constructions pour pouvoir engager une réhabilitation du littoral et limiter les coûts d'entretien des structures existantes

Tableau 4 :

Caractérisation et recommandations pour l'aménagement des plages selon leur niveau de vulnérabilité (Source : Cazes-Duvat, 2001)

* La classification géomorphologique de littoraux

Une démarche intéressante a été utilisée pour classer les littoraux suivant leur vitesse d'évolution, paramètre peu souvent pris en compte dans les classifications géomorphologiques de littoraux (Gaillot et Chaverot, 2001). La méthode proposée est basée sur l'utilisation de photographies aériennes pour déterminer les secteurs de côtes à faible évolution des segments côtiers à forte évolution en fonction de la marge d'erreur. Les auteurs expriment la marge d'erreur (± 6 m), inhérente aux procédés de suivi de la cinématique côtière par l'intermédiaire de la photo-interprétation, en terme de vitesse-seuil d'évolution (12 m/le nombre d'années sur lequel se base l'étude). Le rapport des bilans surfaciques (avec et sans prise en



considération de la marge d'erreur) permet de déterminer la vitesse d'évolution du littoral (faible évolution, évolution indéterminée ou accrétion).

L'exclusion des données comprises dans la marge d'erreur permet d'affiner les calculs des bilans surfaciques et de mieux caractériser les différents types de segments côtiers. Ces descripteurs plus élaborés de l'évolution du trait de côte peuvent être intégrés comme outil d'aide à la décision dans l'élaboration d'une politique d'aménagement et de gestion du trait de côte (**fig. 9**).

Figure 9 :

État des secteurs le long du littoral du delta du Golo (Corse)

- 1 : érosion
- 2 : indéterminé
- 3 : accrétion

(Gaillot & Chaverot, 2001)

Dans le Morbihan...

... la Communauté d'Agglomération du Pays de Lorient a lancé un programme de surveillance côtière reposant sur une base de donnée cartographique au 1/5 000^e. Il a permis de définir 5 "séquences littorales" en fonction de critères physiques, historiques et bibliographiques, lesquelles ont été découpées en 176 "segments littoraux" (cette classification reposant sur la morphologie, les interventions humaines et l'occupation de l'arrière côte). Les tendances d'évolution des segments côtiers regroupés au sein de 34 "unités de gestion" cohérentes d'un point de vue morphologique et dynamique ont permis de déterminer le degré de sensibilité de chacune des unités et les priorités d'intervention. Cette action en cours aboutira à la création prochaine d'un observatoire du littoral (Anonyme, 2001 b) (**ANNEXE 5**).

24 LA VALORISATION DES DONNÉES : METTRE EN OEUVRE DES ACTIONS ...ET LES ÉVALUER

241 LA MISE EN PLACE D'OBSERVATOIRES DU LITTORAL

2411 *Le principe des observatoires*

Le concept d'observatoire s'est développé à partir de plusieurs constats. L'abondance, la complexité, l'hétérogénéité et la dispersion des informations à caractère scientifique et technique, le besoin d'une vision globale de l'aménagement et le développement de politiques environnementales ont nécessité la mise en place d'outils de connaissance sous forme d'observatoire qui permet de concentrer les informations et de les rendre accessibles aux acteurs de l'aménagement (Belloncle et al, 2002). Dans un contexte de généralisation des érosions côtières, plusieurs façades maritimes se sont dotées de telles structures afin de préparer, de piloter, de programmer des mesures en faveur du suivi de l'évolution du littoral.

La première structure à être créée en France sur le thème du littoral fut l'Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin de la Manche et de la Mer du Nord en 1994 (Anonyme, 1995 b). Selon le découpage régional de l'analyse statistique du programme Corine Érosion Côtière, la région Nord-Pas-de-Calais est la plus sensible à l'érosion en France, 75 % du linéaire côtier étant marqué par le recul du rivage (Thorette et al, 1995). Des programmes de suivi des érosions côtières se sont également mis en place sur d'autres façades maritimes, en Méditerranée notamment, à l'échelle locale (structure intercommunale - CELM), régionale (Languedoc-Roussillon, Corse), voire à l'échelle du bassin versant méditerranéen (réseau de surveillance du littoral coordonné par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse). Sur la façade atlantique, le projet LITTORA de la Côte Aquitaine est également un exemple.

2412 *L'exemple aquitain : l'observatoire de la Côte Aquitaine*

Dans le cadre de stratégie de développement durable du littoral, il a été décidé d'intégrer les évolutions du trait de côte de la région Aquitaine dans les documents de planification. En effet d'après l'analyse statistique de l'érosion côtière par région (Thorette et al, 1995), 39 % du littoral aquitain est en érosion.

Afin de connaître, de quantifier et d'anticiper les mouvements de la côte aquitaine, un programme d'analyse et de suivi fut inscrit au Contrat de Plan État/Région (CPER) qui s'est déroulé de 1996 à 2000. Cette étude associait le Conseil Régional, le BRGM, l'IFREMER et l'ONF. L'objectif était de reconstituer l'évolution historique de la bande sableuse, d'analyser le fonctionnement global du littoral et de définir une méthodologie de suivi. Les 3 orientations du programme portaient sur :

- La réalisation d'une synthèse bibliographique
- La réalisation de mesure de terrain (profils topographiques réguliers réalisés à partir du réseau de bornes de l'ONF)
- La classification des plages :
 - en fonction de leur morphologie (BRGM)
 - en fonction de leur sensibilité (IFREMER)

Ce suivi du littoral a débouché sur l'élaboration d'une synthèse de vulgarisation (en cours de préparation) à destination des élus locaux.

Dans le cadre du nouveau CPER 2001/2006, il a été décidé de mettre en place un Observatoire de la Côte Aquitaine pour permettre un suivi de terrain permanent de la cinématique côtière. Ses fonctions sont d'assurer la continuité des mesures topographiques, l'intégration des données au sein de deux SIG (en cours de constitution). L'un sera destiné au grand public avec notamment la production de cartes thématiques, le second sera réservé aux experts de l'aménagement littoral et permettra l'accès aux données scientifiques. Un journal de l'Observatoire est en cours de préparation, son rôle est de présenter les actions partenariales en cours sur la côte aquitaine. Enfin, l'observatoire, par l'intermédiaire des différents partenaires qui le composent, assurera la fonction d'expertise (d'aide à la décision) lorsqu'une collectivité locale décidera d'aménager, de protéger son littoral.

Dans le Morbihan...

... plusieurs projets d'observatoires de l'environnement littoral sont envisagés: l'Observatoire du Pays de Lorient et l'Observatoire du Pays de Vannes. Les collectivités souhaitent en effet engager une politique locale de l'environnement notamment en élaborant des Chartes de l'Environnement à partir desquelles la démarche de création d'observatoire est programmée. Ils permettent d'aborder les différentes problématiques environnementales de manière transversale. Le suivi des érosions sera l'une des priorités de la structure du Pays de Lorient, quant à celle du Pays de Vannes une thématique littorale est également envisagée (Belloncle et al, 2002).

242 LES PROGRAMMES D'ACTIONS ET LES PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT*2421 L'ENR/Environnement Littoral et Marin et la côte Manche/Mer du Nord*

La démarche novatrice de la région Nord-Pas-de-Calais porte sur l'adoption d'un Schéma de Gestion et de Conservation du trait de côte. Ce document se doit d'apporter aux collectivités locales touchées par les problèmes d'érosion des éléments de réponse qui les impliquent dans l'aménagement futur du littoral en se référant aux préconisations décrites dans cet outil de planification (Quinette, 2001).

La mise en place d'un SIG dans le cadre de la démarche de gestion intégrée du littoral de la Côte d'Opale a permis (Morsetti & Tricoire, 2002) :

- *De définir les "unités géographiques" au sein desquelles il s'agit d'organiser une gestion cohérente du phénomène "érosion".*
Ainsi, la Côte d'Opale se décompose en 5 unités de gestion qui se superposent aux cellules sédimentaires.
- *D'évaluer les risques liés à l'évolution du trait de côte :*
 - en cartographiant la position future du trait de côte : à partir d'une évaluation du recul moyen du trait de côte, une projection de sa position future a été calculée par une extrapolation linéaire (fonctionnalité "buffer" du SIG)
 - en cartographiant les zones inondables par submersions marines : à partir de l'évaluation des volumes d'eau susceptibles de franchir les dunes et les ouvrages de protection (digues, perrés) les zones à risque ont été cartographiées par traitement du modèle numérique de terrain (MNT BD Topo)
 - en contribuant à l'évaluation des risques : le calcul de la surface des zones bâties et du linéaire routier dans les zones à risques a permis d'évaluer les risques littoraux susceptibles d'être engendrés par le recul de la côte ou par les submersions marines.
- *De proposer des orientations et des solutions de gestion adaptées aux problématiques locales.*
Le P.L.A.G.E. (Plan Littoral d'Action pour la Gestion de l'Érosion) en cours de diffusion est le document technique qui a pour vocation d'aider à la décision. Il prescrit la solution d'aménagement la plus adaptée parmi celles qui ont été identifiées en fonction des enjeux socio-économiques (fixation du trait de côte, libre évolution ou composé avec son évolution en ayant recours à l'expropriation) (Anonyme, 2003 b).

La méthode employée pour déterminer les zones à risques s'appuie sur la description du trait de côte en fonction d'études scientifiques. Ces dernières ont permis de déterminer l'intensité des phénomènes d'érosion à partir desquels une évaluation du littoral a été effectuée par rapport à l'évolution du trait de côte. La typologie du trait de côte ne repose pas sur la mise en place de descripteurs à proprement parler et à l'heure actuelle aucun indicateur ne permet d'évaluer les actions en cours.

2422 Le littoral méditerranéen

D'après les résultats du programme européen Corine Érosion Côtière, 22 % du linéaire côtier du Languedoc-Roussillon est en recul (Thorette et al, 1995). Devant l'ampleur du phénomène d'érosion qui touche notamment les zones bâties, le CIADT de Limoges du 09 juillet 2001 a mandaté la mise en place de la Mission *Littoral* dont l'objectif est "d'élaborer une stratégie de développement durable et un cadre de référence pour l'ensemble des partenaires. La réflexion menée a pris en compte l'ensemble des problématiques littorales : urbanisation, tourisme, milieux naturels et l'érosion côtière (Anonyme, 2002 c).

Un diagnostic du littoral a été réalisé afin de comprendre le fonctionnement économique, social et environnemental du territoire côtier languedocien et du Roussillon. Les actions programmées dans le cadre du Contrat de Plan État/Région et portant sur la gestion du trait de côte sont :

- Évaluation, amélioration et gestion des connaissances
- Définition d'un Schéma Directeur Régional de Gestion de l'Évolution
- Soutien aux démarches globales et intégrées à l'échelle territoriale appropriée
- Développement des recherches et mise en œuvre de procédés techniques nouveaux

Ce programme se doit de compléter les différents programmes d'études en cours qui visent à la détermination d'orientations stratégiques déclinées sur différentes unités sédimentaires du littoral.

➤ Le SDAGE de l'Agence de l'Eau RMC

Dans le cadre des travaux menés par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse portant sur la mise en place du SDAGE, un outil de suivi des orientations du document de planification sous forme de tableau de bord "le panoramique RMC 2000" a été élaboré [<http://www.eaurmc.fr>]. Un module spécifique concerne le littoral dont l'érosion du trait de côte mais aucun indicateur n'a pour le moment vu le jour. Néanmoins, la mise en place d'un groupe de travail "littoral" au sein du Comité de bassin a permis la rédaction d'un guide technique "Gestion physique du Littoral" (prochainement diffusé). À destination des élus, ce guide a pour objectif de faire comprendre le fonctionnement des systèmes littoraux en définissant notamment des échelles de travail cohérentes, les cellules hydrosédimentaires, à partir desquelles les interventions en matière de lutte contre l'érosion sont préconisées.

➤ Les travaux du Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon

Le SMNRL élabore une stratégie globale de gestion durable du littoral. Ce document a pour objectif de fournir et d'approfondir les connaissances du phénomène d'érosion et des risques associés, d'analyser les enjeux socio-économiques et patrimoniaux, de fournir un outil d'aide à la décision, de proposer une stratégie et une hiérarchisation des priorités d'intervention à l'échelle de la région, et de prévoir un outil pérenne d'observation et d'évaluation.

Il est difficile de proposer des indicateurs dans le suivi des érosions côtières, l'impossibilité de mettre en place des indices tenant aux données récoltées (nature, échelle, temporalité). Cela nécessite la réalisation de mesures fiables, généralisables et pérennes pour être comparables dans le temps. Des études sédimentaires sont en cours de réalisation par réflexion sismique dans le Golfe du Lion (Barusseau & Certain, 2002) mais elles ne concernent que des petits secteurs, ces études n'étant pas généralisables à l'ensemble du littoral méditerranéen pour des raisons humaines, techniques et financières.

243 EUROSION

Le programme EUROSION est un projet qui émane de la Direction Générale de l'Environnement de la Commission Européenne et qui est piloté par l'Agence Européenne de l'Environnement.

L'objectif est d'élaborer des recommandations sur la politique et l'aménagement des espaces soumis à l'érosion côtière. Les recommandations sont basées à partir d'un état des lieux du trait de côte et de la mise à jour de la base de données Corine Érosion Côtière, elles doivent aboutir (fin 2003) à la proposition d'options d'aménagement que doivent prendre les différents acteurs intervenant sur le littoral (Anonyme, 2002 d).

L'appel d'offre lancé fin 2001 a abouti à la création d'un Consortium Européen. Il regroupe le National Institute for Coastal and Marine Management of the Netherlands (RIZK) ainsi que l'Eucc (données océanographiques), l'Université Autonome de Barcelone (évaluation des sites pilotes), le groupe européen EADS (architecture informatique) et les établissements français : l'IGN France International (aspects cartographiques), l'IFEN (modélisation des apports sédimentaires terrestres) et le BRGM (renseignement sur le trait de côte).

La stratégie adoptée par le Consortium repose sur 4 principes :

- L'érosion des côtes est un phénomène naturel qu'on ne peut pas stopper mais qui doit faire l'objet de mesures d'aménagement compatibles avec les différentes politiques déjà mises en place (pêche, tourisme, industrie, environnement).
- L'aménagement littoral est de la responsabilité d'organismes qui se situent à différentes échelles administratives mais qui doivent mettre en place de manière coordonnée des politiques d'aménagement, de sauvegarde, de gestion du trait de côte, de recherche et de sensibilisation du public.
- Le regroupement de l'ensemble des données disponibles sur la thématique érosion côtière pour les rendre publiques et accessibles via les nouvelles technologies.
- L'homogénéisation des données disponibles afin de pouvoir établir des évaluations comparables entre différents sites en reposant sur les mêmes bases à l'échelle européenne.

Le projet Eurosion dont la mise à jour de la base de données de Corine Érosion Côtière est très complet et aboutira à l'acquisition d'une vision globale de l'érosion à l'échelle européenne à partir d'un SIG côtier incluant des données terrestres et marines :

- L'altitude et la bathymétrie : limites de marées basses et hautes, position du trait de côte, marnage
- La géologie, la géomorphologie et l'évolution du trait de côte : érosion/accrétion, ressources en sédiments, données sur le courant et la houle, nature de l'avant plage (sable, galet, vase...), nature de la plage (dune, falaise...)
- L'occupation des sols et les infrastructures (ouvrages de protection...)
- La biodiversité
- Les limites administratives
- Les pressions liées aux activités anthropiques

Le SIG sera compatible avec une utilisation au 1/ 100 000^e et délivré sous format Arc Info, les données spatiales seront exprimées en coordonnées ellipsoïdes (système ETRS89) et les métadonnées sous la norme Dublin Core (Choppin, 2001).

CONCLUSION

Dans un contexte de généralisation et d'accélération du recul du trait de côte, l'étude de la cinématique côtière est un préalable indispensable à la gestion des espaces littoraux, milieux convoités mais fragiles.

En effet, l'aménagement littoral exige avant toute intervention, la compréhension des processus naturels et anthropiques qui agissent sur le milieu. Des suivis scientifiques de l'érosion côtière par l'intermédiaire de la télédétection notamment et des campagnes de mesures permettent d'appréhender les phénomènes à différentes échelles scalaires et temporelles. Par le biais de la modélisation, ces études aboutissent à l'analyse prévisionnelle de l'évolution du trait de côte.

Dans le cadre de la mise en place d'actions spécifiques de gestion des systèmes littoraux, l'enjeu aujourd'hui est d'élaborer des plans de gestion du milieu côtier à travers la mise en œuvre de programmes de gestion intégrée du littoral. Dans ce contexte, l'apport des systèmes d'information est indéniable, l'élaboration de bases de données et de systèmes d'information géographique permettent de gérer les données collectées, d'analyser les processus environnementaux, de produire des éléments cartographiques indispensables à la prise de décision.

La mise en place progressive d'observatoires du littoral et de réseaux de surveillance montre bien qu'en France le recul du trait de côte, problème récurrent à l'ensemble des façades maritimes, devient une problématique de plus en plus prise en compte dans la gestion de la frange côtière. Il s'agit du premier maillon visant à la mise en place d'une véritable politique volontariste de gestion des risques côtiers.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBINET V., 2000, *Géomorphologie et gestion des falaises sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche*, Résumé de thèse de doctorat d'Université, Lyon, np.
- ALBINET V., 2001, Recul des falaises et alimentation de l'estran en sédiments : essai d'évaluation volumétrique pour la côte de la Bernerie et des Moutiers-en-Retz, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, pp. 41-46
- ALLAIN S., GUILLAUMONT B., LE VISAGE C., LOUBERSAC L., POPULUS J., 2000, Données géographiques de référence en domaine littoral, *CoastGIS'99* - Brest les 9, 10 et 11 septembre 1999, pp. 67-79
- ANONYME, 1995 (a), *Étude de l'envasement de l'estuaire de la Vilaine*, Rapport de synthèse, Institution d'Aménagement de la Vilaine, 22p.
- ANONYME (b), 1995, *LARUS*, Bulletin de l'Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin Manche et Sud Mer du Nord, Wimereux, 39p
- Anonyme, 1997, *L'environnement littoral et marin*, IFEN, 117 p.
- ANONYME, 2001 (a), Les études hydrosédimentaires : démarches et solutions, *suppl. La Baie*, Syndicat Mixte pour le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel, 23 p.
- ANONYME, 2001 (b), Dossier érosion côtière, un chantier en perpétuelle démolition (1^{er} volet), *Mer et Littoral*, n° 45, SUBECO, La Croix-Valmer, pp.22-35
- ANONYME, 2002 (a), *Beach Erosion in the Rives Manche*, Final report, Universités de Caen, Rouen et Brighton (RU), np.
- ANONYME, 2002 (b), *Garde : gestion de l'espace littoral*, CELRL, Paris, np.
- ANONYME, 2002 (c), *Proposition de Plan de développement durable du littoral*, Avant Projet, Mission Interministérielle d'Aménagement du Littoral Languedoc – Roussillon, 59 p.
- ANONYME, 2002 (d), *Eurosion news, the newsletter of the EUROSION project*, n°1, Eurosion, 7 p.
- ANONYME, 2003 (a), *Groupe de Travail Littoral – Rapport Final et Annexes*, CNIG, 29 p + ann.
- ANONYME, 2003 (b), Le P.L.A.G.E. ... Qu'est-ce que c'est ?, *Lettre de l'Érosion côtière de la Côte d'Opale*, n° 5, 4 p.
- AUDREN C., JEGOUZO P., BELLONCLE J.L., DANIEL F., 2003, *Système d'Information sur la Géologie du Morbihan*, Rapport final, ODEM/géosciences Rennes, 56 p.
- AUGRIS C., GOURMELON F., 2002, La cartographie des fonds marins côtiers, *Mappemonde*, n°65 (2002.1), pp. 39-42
- AVOINE J., 1991, Utilisation des traceurs fluorescents pour l'étude des mouvements sédimentaires en milieu subtidal, 3^{ème} *Congrès Français de Sédimentologie* - Brest 18,19,20 novembre 1991, pp. 17-18
- BAILY B., NOWELL D., 1996, Techniques for monitoring coastal change : a review and case study, *Ocean & Coastal Management*, vol. 32, n° 2, pp. 85-95
- BARRUSEAU J.P., CERTAIN R., 2002, Contrôles météo-marins et géologiques du bilan sédimentaire des prismes littoraux sableux - Conséquences en matière d'aménagement, *CIESM Workshop Series n°18*, Tanger, 18-21 septembre, 2002, pp. 25-29
- BASSOULET P., LE HIR P., 1991, Dynamique des sédiments cohésifs dans un estuaire macrotidal : approches par mesures *in-situ* et modélisation mathématique, 3^{ème} *Congrès Français de Sédimentologie* - Brest 18,19,20 novembre 1991, pp. 23-24
- BELLESSERT B., 1994, L'ingénieur et les études d'aménagement du littoral. Les moyens d'études : de la nature aux modèles physiques et numériques, *In Défense des côtes ou protection de l'espace littoral - quelles perspectives ? Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 205-213
- BELLONCLE J.L., HUBAUD M.O., DANIEL F., 2002, *Projet d'observatoire de l'environnement de la Communauté d'Agglomération du Pays de Vannes*, Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan, 56 p.
- BODÉRÉ J.C., CRIBB R., CURR R., DAVIES P., HALLÉGOUET B., MEUR C., PIRIOU N., WILLIAMS A.T., YONI C., 1994, Vulnérabilité des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation, *In Défense des côtes ou protection de l'espace littoral - quelles perspectives ? Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 197-203
- BONNOT-COURTOIS C., LAFOND L.R., 1994, Dynamique sédimentaire du littoral des Sables d'Or Les Pins (Côtes d'Armor), *In Défense des côtes ou protection de l'espace littoral - quelles perspectives ? Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 106-115
- BOURDEAU D., JEGO R., 2002, *Aménagement littoral au Pays Pagan : de l'évolution de la ligne de rivage à la gestion de la frange côtière* - Commune de Kerlouan, Mémoire de MST Aménagement, IGARUN, Nantes, 272 p.
- BOSSER K., LEVOY F., FLAGEOLLET J.C., 2000, Évolution morphodynamique d'une plage soumise à des épisodes de renforcement des alizés en Martinique, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, pp. 75-86
- BOUSQUET-BRESSOLIER C., BONNOT-COURTOIS C., 1998, Reconstitution historique de l'évolution d'un littoral depuis la fin du XVIII^{ème} siècle : la baie de Saint-Brieuc, *Norais*, Poitiers, t. 45, n° 177, pp. 33-49
- CAILLOT A., 1992, *Les apports des techniques nucléaires la sédimentologie dynamique*, C.E.A/D.T.A, 12 p.
- CAROFF, V., 1998, *Contribution à l'étude de l'évolution de la bathymétrie dans le Golfe du Morbihan : exploitation de données historiques disponibles*, Mémoire de MST, IGARUN/ODEM, Nantes, 104 p.

- CASTAIND P., COLLINS M., DE RESSEGUIER A., TASTET J.P., VINCENT C., VOULGARIS G., WEBER O., 1991, Stratégie d'étude du transport global de ses sables (suspension et charriage) dans la zone littorale, 3^{ème} Congrès Français de Sédimentologie - Brest 18,19,20 novembre 1991, pp. 67-68
- CATALAO J., CATITA C., MIRANDA J., DIAS J., 2002, Analyse photogrammétrique de l'érosion côtière en Algarve (Portugal), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, pp. 119-126
- CATTIN R., nd, *Apport des données satellitaires à l'étude de la dynamique de la Terre*, École Normale Supérieure, 12 p.
- CAZES-DUVAT V., 2001, Évaluation de la vulnérabilité des plages à l'érosion : application à l'archipel des Seychelles, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, pp. 31-40
- CAZES-DUVAT V., PASKOFF R., DURAND P., 2002, Évolution récente des deux îles coralliennes du banc des Seychelles (Océan Indien Occidental) : Denis et Bird, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°3, pp. 211-222
- CHARTRAIN V., 2001, *Contribution à l'amélioration des connaissances de l'espace côtier - Nord-Pas-de-Calais*, Espace Naturel Régional/ Observatoire de l'Environnement Littoral et Marin, np.
- CHOPPIN L., 2001, *Systèmes d'Information Géographique et données de référence dans les zones côtières européennes*, BRGM/RP-51250-FR, 69 p.
- CHAGNAUD M., FROIDEFOND J.M., GALLISSAIRES J.M., 1989, Variations topographiques avec la marée dans la zone du jet de rive, *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS*, n° 36, Caen, pp. 17-20
- CHAUMILLON E., GILLET H., WEBER N., TESSON M., 2002, Évolution temporelle et architecture interne d'un banc sableux estuarien : la Longe de Boyard (littoral atlantique, France), *C.R. Géoscience*, Acad. Sci., Paris, 334, pp. 119-126
- COHEN O., DOLIQUE F., ANTHONY E.J., HÉQUETTE A., 2002, L'approche morphodynamique en géomorphologie littorale, *In Le littoral : regards, pratiques et savoirs*, éd. Rue d'Ulm/Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp. 191-214
- COLLECTIF, 2001, *Atlas permanent de la mer et du littoral*, CNRS - Géolittomer - LETG UMR 6554/Infomer, Nantes, 67 p.
- COLLECTIF, 2002, La télédétection, données pratiques, *Géochronique*, n° 81, éd. SGF/BRGM, Paris, pp. 19-42
- CUQ F., 2000, Systèmes d'information géographique et gestion intégrée des zones côtières, *In CoastGIS'99 : geomatics and coastal environment*, IFREMER, Plouzané, pp. 18-29
- CUQ F., BONNAFOUX G., BLÉRARD C., 2002 Analyse radar de l'environnement littoral, *Le littoral : regards, pratiques et savoirs*, éd. Rue d'Ulm/Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp. 117-133
- DANIEL F., HUBAUD M.O., 1996, *Érosion côtière des systèmes littoraux sableux*, ODEM, 21 p.
- DESPREZ M., OLIVESI R., DUHAMEL S., LOQUET N., RYBARCZYK H., 1997, L'ensablement en baie de Somme. Évolution physique, conséquences biologiques et perspectives d'aménagements, *In les estuaires français : évolution naturelle et artificielle*, IFREMER, Plouzané, pp. 279-287
- DOLAN R., FENSTER M.S., HOLME S.J., 1991, Temporal analysis of shoreline recession and accretion, *Journal of Coastal Research*, vol. 7. n° 3, Fort Lauderdale, Florida, pp. 723-744
- DOLIQUE F., ANTHONY E.J., 1999, Influence à moyen terme (10-100 ans) d'un estran sableux macrotidal sur la stabilité d'un cordon de galets : la flèche de Cayeux (Picardie, France), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°1, pp. 23-38
- DURAND P., 1998, Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès-Plage à Saint Cyprien (Roussillon, France), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°2, pp. 155-166
- DURAND P., 1999, *L'évolution des plages de l'ouest du golfe du Lion au XXème siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle*, Résumé de thèse de doctorat d'Université, Lyon, np.
- DURAND P., 2000, Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photo-interprétation, *Photo-Interprétation*, 2000/1-2, ESKA, Paris, pp. 3-18
- DURAND P., 2001, Érosion et protection du littoral de Valras-Plage (Languedoc, France). Un exemple de déstabilisation anthropique d'un système sableux, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°1, pp. 55-68
- FAGOT C., SOURNIA A., TRIPLET P., DESPREZ M., DOLIQUE F., SALIOU P., 2001, *Projet de protocole d'expérimentation du contrôle de la spartine en Baie de Somme*, Document de travail, Syndicat Mixte pour l'Aménagement de la Côte Picarde, 20 p.
- FRANSAER D., VAN HEUVEL T., 1999, Surveillance des côtes, *In Le littoral : Problèmes et pratiques de l'aménagement*, Manuel et méthodes n° 32, Ed. BRGM, Orléans, pp. 187-202
- FORGET P., CAUNEAU F., 1995, L'imagerie radar en milieu marin côtier et littoral : état de l'art et perspectives, *Bulletin – Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, n° 138 (1995-2), pp. 73-79
- GAILLOT S., CHAVEROT S., 2001, Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (pas-de-Calais) en France, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2001, n°1, pp. 47-54
- GARBEL A., PROISY C., GRATIOT N., POLIDORI L., COLIGNY F. de, 2002, Du banc de vase à la mangrove : apport d'une série d'images SPOT 1986-2001 pour le suivi de la dynamique du littoral guyanais, *Actes du VI Workshop Ecolab, 22-29 septembre 2002*, Bélem, Brésil, np
- GARREAU P., 1999, *Modélisation des courants côtiers méditerranéens*, Rapport IFREMER, Plouzané, 9 p.
- GOURMELON F., AUGRIS C., DI NOCERA L., BESLIN H., 1998, Un système d'information géographique en milieu marin (Dieppe - Le Tréport, Seine-Maritime), *Noréis*, t. 45, n° 177, Poitiers, pp. 75-79
- GRENIER A., DUBOIS J.M., 1990, Evolution littorale récente par télédétection : synthèse méthodologique, *Photo-Interprétation*, vol 29, n°6, pp. 3-7
- GUILLAUMONT B., DURAND C., 2000, Intégration et gestion de données réglementaires dans un SIG : analyse appliquée au cas des côtes françaises, *CoastGIS'99* - Brest les 9, 10 et 11 septembre 1999, np

- HALLEGOUET B., MEUR C., TANGUY M., 1989, Évolution du littoral de la baie d'Audierne (Finistère) : la brèche de Trunvel, *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS*, n° 36, Caen, pp. 13-16
- HÉNAFF A., MOREL V., VAN WAERBEKE D., 1999, Suivi de plage par comparaison de MNT - Plage de Corn ar Gazel (Finistère), *Littoraux entre nature et environnement*, Les documents de la MRSN, n° 10, Caen, pp. 241-248
- HÉNAFF A., LAGEAT Y., COSTA S., PLESSI E., 2002, Le recul des falaises crayeuses du Pays de Caux : détermination des processus d'érosion et quantification des rythmes d'évolution, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 2, pp. 107-118
- IDIER D., EHRHOLD A., GARLAN T., 2002, Morphodynamique d'une dune sous-marine du détroit du pas de Calais, *C.R. Géoscience*, Acad. Sci., Paris, 334, pp. 1079-1085
- JASPAR A., RISACK S., OZE A., 1998, *Apport des images SAR à l'étude du plan de houle et cartographie des zones d'érosion dans la baie de Hai phong (Vietnam) par télédétection satellitaire*, Laboratoire de Géomorphologie et de Télédétection, Université de Liège, <http://phypc9.geo.ulg.ac.be>, np.
- JOHNSON D., BLIVI A., HOUEDAKOR K., KWASSI A., SENA N., 2001, Le littoral du Togo : données et gestion intégrée, *In CoastGIS'01 Gestion des interfaces*, 18-20 juin 2001, Halifax, Canada, 13 p.
- LAFOND L.R., 1994, Le réaménagement du littoral haut-normand à Criel-sur-Mer (Seine-Maritime), *In défense des côtes ou protection de l'espace littoral - quelles perspectives ? Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 235-245
- LAHOUSSE P., PIERRE G., 2003, The retreat of chalk cliffs at Cape Blanc-Nez (France) : Autopsy of erosional crisis, *Journal of Coastal Research*, 19 (2), Fort Lauderdale (Florida), pp. 431-440
- LAHOUSSE P., PIERRE G., LANOY-RATEL P., 2000, Quantification par analyse photogrammétrique du recul des falaises du Blanc-Nez depuis 1944 (Pas-de-Calais, France), *Photo-Interprétation*, 2000/3-4, ESKA, Paris, pp. 3-8
- LAURENTIN A., 2002, *Étude de faisabilité de topographie d'estran par photogrammétrie*, IFREMER, RST.DEL/AO/BREST, n° 02-05, 57p.
- LE BERRE I., GOURMELON F., 2002, De l'application scientifique au SIG institutionnel : le cas du SIGIroise, *In CoastGIS'01 Gestion des interfaces*, 18-20 juin 2001, Halifax, Canada, np.
- LE BERRE I., METZLER N., GOURMELON F., 2002, Mise en œuvre de SIG opérationnels sur le littoral : la démarche des Services Maritimes du Ministère de l'Équipement en France, *CoastGIS 2001*, 12 p.
- LE HIR P., BASSOULET P., SALOMON J.C., 1991, Modélisation du transport sédimentaire. Application au suivi simultané de contaminants dissous et particulaires, *3^{ème} Congrès Français de Sédimentologie - Brest* 18,19,20 novembre 1991, pp. 187-188
- LE HIR P., BRENON I., THOUVENIN B., 1997, Modélisation du transport de sédiments fins en estuaire. Application du logiciel Sam aux estuaires de la Seine, de la Loire et à la Gironde, *In les estuaires français : évolution naturelle et artificielle*, IFREMER, Plouzané, pp. 272-274
- LE HINDRE Y.M., HOWA H., 1999, Les sédiments du littoral et leur mobilité, *In Le littoral : Problèmes et pratiques de l'aménagement*, Manuel et méthodes n° 32, Ed. BRGM, Orléans, pp. 17-58
- LEVOY F., MONFORT O., nd, Les transports sédimentaires sur les côtes sableuses : retour d'expérience sur la fiabilité des principales techniques de mesures, *Géologues - mesure et représentativité*, n° 129, pp. 65-70
- LEVOY F., ANTHONY E., BARUSSEAU J.P., HOWA H., TESSIER B., 1998, Morphodynamique d'une plage macrotidale à barres, *Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences*, C.R. Acad. Sci., Paris, 327, 811-818
- LEONT'YEV I.O., 2003, Modeling erosion of sedimentary coasts in the western Russian Arctic, *Coastal Engineering*, n° 47, pp. 413-429
- MARCHAND Y., 1998, Élaboration de spatio-cartes sédimentologiques et morphologiques en milieu littoral à partir de données satellitaires : un exemple en baie du Mont-Saint-Michel, *Noroi*, Poitiers, t. 45, n° 177, pp. 51-62
- MARCHAND Y., AUFFRET J.P., DEROIN J.P., 1998, Dynamique sédimentaire de la baie du Mont-Saint-Michel (Ouest-France) depuis 1986, à partir de données satellitaires, *Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences*, C.R. Acad. Sci., Paris, 327, pp. 155-159
- MARCOS F., JANIN J.M., LA SAUX J.M., 1996, Modélisation hydrodynamique du Golfe du Morbihan, EDF-DER, 131 p.
- MARGHANY M.M., 2001, TOPSAR wave spectra model and coastal erosion detection, *JAG*, Vol. 3, issue 4, pp. 357-365
- MEUNIER D., GOUBERT E., LE CORRE C., nd, *L'estuaire de la Vilaine : Paléoenvironnement et dynamique actuelle ; imagerie acoustique*, rapport mission bingolaine, Université de Bretagne Sud/ L.A.U.B.S., 80 p.
- MEUR-FERREC C., RUZ M.H., 2002, Transports éoliens réels et théoriques en haut de plage et sommet de dune (Wissant, Pas-de-Calais, France), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°4, pp. 321-334
- MIOSSEC A., 1995, Le traitement du recul de la ligne de rivage en France : pratiques sociales autour d'un problème de nature, *Noroi*, t. 42, n° 165, Poitiers, pp. 153-172
- MORSETTI V., TRICOIRE O., 2002, *L'utilisation d'un Système d'Information Géographique pour une gestion intégrée du trait de côte*, Espace Naturel Régional/Environnement Littoral et Marin, Wimereux, np
- MORTON R.A., LEACH M.P., PAINE J.G., CARDOZA M.A., 1993, Monitoring beach changes using GPS surveying techniques, *Journal of Coastal Research*, 9(3), Fort Lauderdale (Florida), pp. 702-720
- MORZADEC-KERFOURN, M.T., 1974, *Variations de la ligne de rivage armoricaine au quaternaire*, Mémoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, n° 17, Rennes, 218 p.
- MUNOZ-PEREZ J.J., SAN ROMAN-BLANCO B.L. de, GUTIERREZ-MAS J.M., MORENO L., CUENA G.J., 2001, Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadix (SW Spain), *Coastal Engineering*, 42 (2001), pp. 143-153
- OLIVEROS C., LEROI E., 1999, Aléas et risques, *In Le littoral : Problèmes et pratiques de l'aménagement*, Manuel et méthodes n° 32, Ed. BRGM, Orléans, pp. 203-256

- PACAUD S., FATTAL P., 2003, *Le GPS : outil de suivi des côtes en danger et de découvertes archéologiques*, 15^{ème} rencontres européennes de la géomatique, 4-6 mars 2003, Paris, np.
- PAXION K., COHEN O., 2002, La baie de Wissant : cent ans d'évolution en images, *Mappemonde*, n° 67 (2002.3), pp. 24-27
- PASKOFF R., 1993, *Côtes en danger*, Masson, Paris, 250 p.
- PASKOFF R., 1994, La cartographie prospective de l'évolution du trait de côte : un instrument indispensable pour l'aménagement des espaces littoraux. In *défense des côtes ou protection de l'espace littoral - quelles perspectives ? Cahiers Nantais*, n° 41-42, pp. 291-297
- PENNOBER, 1999, Apport des outils d'analyse spatiale à l'étude de la dynamique littorale de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau), *Littoraux entre nature et environnement*, Les documents de la MRSH, n° 10, Caen, pp. 205-215
- PINOT J.P., 1989, L'évolution des côtes du Trégor et du Léon depuis le XVIII^{ème} siècle, *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS*, n° 36, Caen, pp. 9-12
- POPULUS J., 2002, *Altimétrie par Lidar aéroporté et Modèles Numériques de Terrain*, IFREMER, RST.DEL/AO/BREST, n° 02-09, 28 p.
- PRAT M.C., SALOMON J.N, 1997, L'évolution récente du littoral charantais, lignes de rivages et systèmes dunaires, *Quaternaire*, 8, (1), pp. 21-37
- PROISY C., SOUZA FIHO P.M., FROMARD F., PROST M.T., MENDES A.C., DE COLIGNY F., 2003, Monitoring the dynamic of the amazon coast (Pará, Brasil and French Guyana) using a common methodology based on a spatial analysis coupled to a simulation tool, *Proceeding of the Mangrove 2003 conference*, 20-24 mai 2003, Salvador, Bahia, Brazil, np.
- QUINETTE M., 2001, Érosion littorale : un schéma de gestion globale du trait de côte, *Le Moniteur*, septembre 2001, pp. 53
- RIEB G., WALKER P., nd, Suivi morphologique du littoral, *Géologues - Mesure et représentativité*, n° 129, pp. 75-79
- ROBIN M., 1997, Détermination de l'énergie des houles et de leur capacité à générer une dérive littorale à l'aide d'une image SPOT par transformation de Fourier, *Cahiers Nantais*, n° 49, Nantes, pp. 127-137
- ROBIN M., 2002 a , Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique, *Annales de Géographie*, n° 627-628, Armand Colin, Paris, pp. 471-502
- ROBIN M., 2002 b, Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique, *Le littoral : regards, pratiques et savoirs*, éd. Rue d'Ulm/Presses de l'École Normale Supérieure, Paris, pp. 95-115
- ROBIN M., 2002 c, *La télédétection, des satellites aux systèmes d'information géographiques*, Nathan Université, Paris, 319 p.
- ROLLET C., 2002, *GPS : Mise en application et intégration dans un SIG*, IFREMER, RST/DEL/AO, n° 03-04, 31 p.
- SAFFACHE P., 1998, L'érosion du littoral nord-ouest de la Martinique entre 1955 et 1994 : influence des paramètres physiques et anthropiques, *Photo-Interprétation*, 1998/4, ESKA, Paris, pp. 172-177
- SAFFACHE P., THOMAS Y.F., BRITHMER R., 2002, Évolution du littoral septentrional de l'île de la Martinique par l'analyse cartographique diachronique et interprétation des effets de surface, *124^{ème} Congrès national des sociétés historiques et scientifiques*, Nantes, 1999, *Côtes et estuaires : milieux naturels*, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, CHTS, Paris, pp 385-399
- SHOSHANY M., DEGANI A., 1992, Shoreline detection by digital image processing of aerial photography, *Journal of Coastal Research*, 8 (1), Fort Lauderdale (Florida), pp. 29-34
- SIMON B., 1994, La marégraphie, *Élévation du niveau de la mer en France : mesures - impacts - réponses*, Séminaire Eaux-Environnement n°4, Paris, 6-7 décembre 1993, Ministère de L'Environnement, pp. 67-75
- SPIELMANN K., ASTRUC D., THUAL O., 2001, Modélisation de la morphodynamique d'un profil de plage, *Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences*, C.R. Acad. Sci., Paris, 333, pp. 669-675
- SUANEZ S., SIMON B., 1997, Utilisation de l'analyse diachronique dans l'étude de l'évolution du littoral oriental du delta du Rhône (France, Sud-Est), *Photo-Interprétation*, 1997/3-4, ESKA, Paris, pp. 147-154
- SUANEZ S., BRUZZI C., ARNOUX-CHIAVASSA S., 1998, Données récentes sur l'évolution des fonds marins dans le secteur oriental du delta du Rhône (plage Napoléon et flèche de la Gracieuse), *Géomorphologie : relief, processus environnement*, n° 4, pp. 291-312
- THOMALLA F., VINCENT C.E., 2001, Beach response to shore-parallel breakwaters at Sea Palling, Norfolk, UK, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56, pp. 203-212
- THOMAS Y.F., T.DIAW A., 1997, Suivi (1984-1993) de la rupture de la flèche de Sangomar, estuaire du fleuve Saloum, Sénégal, *Photo-Interprétation*, 1997/3-4, ESKA, Paris, pp. 199-204
- THORETTE J., DURAN H., MARCHAND M., 1995, Stabilité du trait de côte : exploitation de la base de données "Corinne Érosion Côtière, perspective pour l'intégration des bases sur le littoral, *Equinoxe*, n° 57, pp. 21-36
- TRÉPANIER J.M., DUBOIS M., BONN F., 2002, Suivi de l'évolution du trait de côte à partir d'images HRV (XS) de SPOT : application au delta du fleuve Rouge, Viêt-Nam, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, n° 5, pp. 917-937
- VERGER F., 1989, L'évolution de la télédétection satellitaire concernant les milieux littoraux, *Télédétection en francophonie*, ed. AUPLF-UREF, Paris, pp. 111-115
- VERGER F., 1996, La télédétection des domaines littoraux, In *Précis de télédétection*, vol. 2, "Applications thématiques", PUQ/AUPELF-UREF, pp. 325-343
- WALKER P., GARLAND T, nd, La mesure en sédimentologie côtière et sa représentativité, *Géologues - Mesure et représentativité*, n° 129, pp.61-65
- WILLIAMS A.T., ALVEIRINHO J., GARCIA NOVO F., GARCIA-MORA M.R., CURR R., PEREIRA A., 2001, Integrated coastal dune management : checklists, *Continental Shelf Research*, 21 (2001), pp. 1937-1960

WOOLLARD J.W., COLBY J.D., 2002, Spatial characterisation, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR : Cape Hatteras, North Carolina, *Geomorphology*, 48 (2002), pp. 269-287

YONI C., 2001, *Étude du comportement du littoral départemental ; Évaluation des risques et des enjeux*, Phase 2 : synthèse bibliographique, Ptolémée/DDE 56, 51 p.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1	: Quelques lignes de références, Plage de Fort-Bloqué (Photographie aérienne de l'IGN, 1984) (Source : Robin, 2002 b)	p. 5
FIGURE 2	: Un exemple de traitement numérique : Schématisation du processus de traitement des photographies aériennes (Source : Durand, 1998)	p. 6
FIGURE 3	: Superposition des plans cadastraux napoléonien et actuel faisant apparaître le recul de la falaise dans les dépôts meubles tertiaires au Caillou Blancs (Les Moutiers en Retz) (Source : Albinet, 2001)	p. 7
FIGURE 4	: Filtrage de la houle par extraction de chaque composante harmonique (transformation de Fourier inverse) et recombinaison finale d'une image de synthèse (Cuq et al, 2002)	p. 9
FIGURE 5	: À gauche, MNT mixte Lidar-sondes à maille de 5 mètres, à droite, MNT de sondes seules à maille de 20 mètres (Populus, 2002)	p. 10
FIGURE 6	: Calcul de cubatures - Plage des Sables d'Olonne (Pacaud & Fattal, 2003)	p. 13
FIGURE 7	: Schéma général du SIG du METL sur le littoral (Le Berre et al, 2002) conçu sous une forme "modulaire" permettant à chaque structure des Services Maritimes de se focaliser sur ses priorités d'action et de gestion du littoral.	p. 23
FIGURE 8	: Modèle conceptuel du module "Gestion des ouvrages de protection contre l'érosion côtière" (Le Berre et al, 2002)	p. 25
FIGURE 9	: État des secteurs le long du littoral du delta du Golo (Corse) (Gaillot & Chaverot, 2001)	p. 29

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1	: Récapitulatif des procédés d'études de la cinématique côtière	p. 11
TABLEAU 2	: Récapitulatif des techniques de mesures in-situ	p. 14
TABLEAU 3	: Récapitulatif des processus de modélisation	p. 16
TABLEAU 4	: Caractérisation et recommandations pour l'aménagement des plages selon leur niveau de vulnérabilité (Source : Cazes-Duvat, 2001)	p. 28

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
LISTE DES SIGLES	2
INTRODUCTION.....	3
1 LE SUIVI DES ÉROSIONS CÔTIÈRES : MÉTHODES, EXPÉRIENCES ET OUTILS DÉVELOPPÉS	4
11 LES APPROCHES SCIENTIFIQUES.....	4
111 L'ÉVOLUTION DU RIVAGE : MÉTHODES D'ACQUISITION DE DONNÉES	4
1111 <i>La généralisation des études de cinématique côtière</i>	4
* Sur les littoraux meubles :	4
* Sur les littoraux à falaise :	7
1112 <i>Les apports de la télédétection satellitaire</i>	8
* Intérêts et limites des images satellitaires	8
* Les différents types de données et leurs applications	8
1113 <i>Les approches quantitatives des phénomènes littoraux</i>	10
* Les MNT d'estran	10
* La photogrammétrie	10
* La technique LIDAR	10
112 LES MESURES <i>IN-SITU</i> INDISPENSABLES À L'ÉTUDE DE LA MORPHODYNAMIQUE CÔTIÈRE	12
1121 <i>Les données de morphologie</i>	12
* Les mesures bathymétriques	12
* Les mesures topographiques	12
1122 <i>Les mesures hydrodynamiques</i>	13
1123 <i>Les mesures de flux sédimentaires</i>	13
* Les capteurs électro-optiques	13
* Les traceurs	13
* Les pièges à sédiment	14
113 LES APPORTS DE LA MODÉLISATION A L'ANALYSE PRÉVISIONNELLE	14
1131 <i>La modélisation "historique"</i>	15
1132 <i>La modélisation numérique</i> :	15
1133 <i>La modélisation physique</i>	15
12 LES PROCÉDURES DE SUIVI APPLICABLE PAR LES GESTIONNAIRES LOCAUX	16
121 LES OBSERVATIONS DE TERRAIN.....	16
1211 <i>La checklist de vulnérabilité</i>	16
1212 <i>La tenue d'un cahier de terrain</i>	16
122 LES RELEVÉS DE TERRAIN	17
123 LA COMPARAISON DE PHOTOGRAPHIES ET DE DOCUMENTS ANCIENS.....	17
124 LES ENTREVUES AUPRÈS DES RIVERAINS	17
2 LA SURVEILLANCE DU TRAIT DE CÔTE ET LA GESTION INTÉGRÉE DU LITTORAL.....	18
21 LA COLLECTE ET LA PRODUCTION DE DONNÉES : AMÉLIORER LA CONNAISSANCE	18
211 LA DISPARITÉ DES INFORMATIONS SUR LE LITTORAL	18
2111 <i>L'hétérogénéité des données de référence</i>	18
2112 <i>L'hétérogénéité des données thématiques</i>	18
212 LA MISE EN PLACE DE RÉSEAUX DE SURVEILLANCE : LES BASES DE DONNÉES	19
2121 <i>Corine Érosion Côtière</i>	19
2122 <i>BOSCO</i>	19

213 VERS UN RÉFÉRENTIEL GÉOGRAPHIQUE COMMUN EN MILIEU LITTORAL	20
2131 <i>Les premières initiatives</i>	20
* L'étude SHOM – IFREMER sur les données de référence sur le littoral	20
* L'orthophotoplan littoral	20
* BOSCO	21
2132 <i>Le Référentiel Géographique Littoral (RGL)</i>	21
22 LA GESTION DES DONNÉES LITTORALES : CAPITALISER ET PARTAGER L'INFORMATION	22
221 LES POTENTIALITÉS DES SIG EN DOMAINE LITTORAL	22
222 L'ORGANISATION ET LA STRUCTURATION DES DONNÉES	22
2221 <i>L'organisation de la base de données</i>	22
2222 <i>La structuration</i>	23
* Le catalogage des données	24
* Le modèle conceptuel de données	24
23 L'EXPLOITATION DES DONNÉES : ÉTABLIR DES ÉTATS DES LIEUX ET IDENTIFIER LES ENJEUX	25
231 L'INTÉRÊT DE LA GÉOMATIQUE DANS L'ÉLABORATION DE DESCRIPTEURS	25
2311 <i>La réalisation de cartographie thématique</i>	25
2312 <i>La notion d'indice de risque dans l'évaluation du recul côtier</i>	26
2313 <i>La synthèse spatiale par agrégation</i>	26
2314 <i>La modélisation</i>	26
232 LE DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL	27
2321 <i>L'exemple des Pays-Bas</i>	27
2322 <i>Quelques exemples de descripteurs</i>	27
* Les indices de vulnérabilité	27
* La classification géomorphologique de littoraux	28
24 LA VALORISATION DES DONNÉES : METTRE EN OEUVRE DES ACTIONS ...ET LES ÉVALUER	30
241 LA MISE EN PLACE D'OBSERVATOIRES DU LITTORAL	30
2411 <i>Le principe des observatoires</i>	30
2412 <i>L'exemple aquitain : l'observatoire de la Côte Aquitaine</i>	30
242 LES PROGRAMMES D'ACTIONS ET LES PROPOSITIONS D'AMÉNAGEMENT	31
2421 <i>L'ENR/Environnement Littoral et Marin et la côte Manche/Mer du Nord</i>	31
2422 <i>Le littoral méditerranéen</i>	31
243 EUROSION	32
CONCLUSION	34
BIBLIOGRAPHIE	35
LISTE DES FIGURES	40
LISTE DES TABLEAUX	40
TABLE DES MATIÈRES	41