

NRS D1066/1-2



Délégation de Marseille
Immeuble le Noailles - 62, La Canebière
13001 MARSEILLE
Tél. 04 96 11 36 36 - Fax 04 96 11 36 00

Evolution du trait de côte du *Littoral varois*

Rapport définitif
Novembre 2004

CARTOGRAPHIE - SIG



Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable : en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations de *In Vivo* ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

Crédit photographique :

In Vivo, 2004

IGN, 1950, 1970, 1998

Auteurs et opérateurs :

Régis BIZIEN	Chargé d'études - Géologue sédimentologue
Eric DELORT	Chargé de projets - Océanologue biologiste
Roland GRUNCHEC	Chargé d'études - Cartographe SIG

IN VIVO MEDITERRANEE
Avenue de Saint-Jean
13 600 LA CIOTAT
Tel : 04.42.71.31.25
Fax : 04.42.08.04.65

IN VIVO ENVIRONNEMENT
ZA La grande Halte
29 940 LA FORET FOUESNANT
Tel : 02.98.51.41.75
Fax : 02.98.51.41.55

E-mail : info@invivo-environnement.com
Site web : www.invivo-environnement.com



TABLE DES MATIERES

1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE	8
1.1 L'EROSION COTIERE DU LITTORAL VAROIS	8
1.2 LA CONTRIBUTION DU DEPARTEMENT DANS LA GESTION DE L'EROSION	8
1.3 PHILOSOPHIE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	9
2. METHODOLOGIE ET MOYENS MIS EN ŒUVRE	10
2.1 DEFINITION DU CADRE GEOGRAPHIQUE	10
2.2 L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	11
2.2.1 <i>Synthèse des études existantes</i>	11
2.2.2 <i>Connaissance des procédures et opérations existantes</i>	12
2.3 LA MISE EN PLACE DU SIG « TRAIT DE COTE »	14
2.3.1 <i>Définition et principes du système</i>	14
2.3.2 <i>Moyens mis en œuvre</i>	15
2.3.3 <i>Méthodologie</i>	15
2.3.3.1 L'interopérabilité et ergonomie du système	15
2.3.3.2 Chaîne de traitement des photographies aériennes de l'IGN	16
Les missions aériennes retenues	16
Caractéristiques des photographies aériennes utilisées	17
La numérisation des clichés	18
Le calcul des modèles aériens	19
L'orthorectification	20
la correction radiométrique et le mosaïquage	21
2.3.3.3 La digitalisation du trait de côte	22
Rappel d'une question majeure, quelle est la définition du trait de côte ?	22
Doit-il y avoir une adaptation au contexte méditerranéen ?	25
Le choix d'In Vivo pour la méthode de digitalisation du trait de côte	26
2.3.3.4 La mise en évidence de secteurs sensibles	36
Les variations du trait de côte	36
Les variations des stocks sableux sur la plage sèche	38
2.3.3.5 La constitution d'une base de données sur le suivi du littoral varois	40
Principes de la base de données	40
Définition des secteurs à renseigner	40
Le contenu de la base de données	41
Les contraintes imposées	47
2.4 LA VALIDATION TERRAIN	48
2.4.1.1 Plage d'Agay / Saint-Raphaël	49
2.4.1.2 Plage du Débarquement / Saint-Raphaël	50
2.4.1.3 Plage de Saint-Aygulf / Fréjus	51
2.4.1.4 Plage de la Garonnelle / Sainte-Maxime	52
2.4.1.5 Plage de la Croisette / Sainte-Maxime	53
2.4.1.6 Plage de Pampelonne / Ramatuelle	54
2.4.1.7 Plage de Cavalaire / Cavalaire	55
2.4.1.8 Plage du Lavandou / Le Lavandou	56
2.4.1.9 Plage de la Favière / Bormes-les-Mimosas	57
2.4.1.10 Hyères Plage / Hyères	58
2.4.1.11 Plage des Sablettes / La Seyne-sur-Mer	59
2.4.1.12 Plage de Bonne Grâce / Six-Fours-les-Plages	60
2.4.1.13 Plage du Lido / Sanary-sur-Mer	61
2.4.1.14 Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer	62
2.5 LE DEVELOPPEMENT D'UNE APPLICATION INTERACTIVE : LA BASE DE DONNEES DE SUIVI LITTORAL SOUS ACCESS	63
2.5.1 <i>Principes du système</i>	63
2.5.2 <i>Elaboration de la base de données et des liens avec ArcView</i>	63
2.6 LES LIMITES DE LA METHODE	64

2.6.1	Limites de la photo-interprétation	64
2.6.2	Limites de la base ACCESS	66
2.6.3	Les limites du système : la mise à jour des données	67
3.	ANALYSE ET DESCRIPTION DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES	68
3.1	EVOLUTION DU TRAIT DE COTE A L'ECHELLE DEPARTEMENTALE ENTRE 1950 ET 1998	68
3.2	EVOLUTION DU TRAIT DE COTE SUR LES SITES SENSIBLES ENTRE 1950 ET 1998	68
3.2.1	Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer	69
3.2.2	Plage du Lido / Sanary-sur-Mer	70
3.2.3	Plage de Bonne Grâce / Six-Fours-les-Plages	71
3.2.4	Plage des Sablettes / La Seyne-sur-Mer	72
3.2.5	Hyères Plage / Hyères	73
3.2.6	Plage de la Favière / Bormes-les-Mimosas	74
3.2.6.1	Plage du Lavandou / Le Lavandou	75
3.2.7	Plage de Cavalaire / Cavalaire	76
3.2.8	Plage de Pampelonne / Ramatuelle	77
3.2.9	Plage de la Croisette / Sainte-Maxime	78
3.2.10	Plage de la Garonnette / Sainte-Maxime	79
3.2.11	Plage de Saint-Aygulf / Fréjus	80
3.2.12	Plage d'Agay / Saint-Raphaël	81
3.2.13	Conclusion	82
3.3	ANALYSES DES CAUSES DES MODIFICATIONS ET EVOLUTIONS PREVISIBLES	83
3.3.1	Tendance générale météo-océanographiques : relation avec l'érosion littorale	83
3.3.1.1	Evolution de la température et du niveau moyen des mers	83
3.3.1.2	Evolution météorologiques des dernières décennies	84
3.3.1.3	Evolution des conditions d'agitation depuis 1992	85
3.3.1.4	Les surcotes	87
3.3.2	Rappels sur l'anthropisation et constructions d'ouvrages	89
3.3.3	Causes de modification en secteur naturel (non anthropisé)	91
3.3.3.1	Modification sous l'action des fortes houles	91
3.3.3.2	Modifications sous l'action de vents forts	91
3.3.4	Evaluation des évolutions possibles	92
3.3.4.1	Impacts des ouvrages	92
3.3.4.2	Milieu naturel	93
3.4	DETERMINATION DES ZONES LITTORALES OU LE TRAIT DE COTE DOIT ETRE STABILISE OU PAS.	94
3.4.1	Zones à stabiliser	94
3.4.2	Zone ne nécessitant pas de stabilisation du trait de côte	94
3.4.3	Eléments de réponse pour les possibilités d'aménagements	95
3.4.4	Les différentes méthodes d'aménagement possibles	95
3.4.4.1	Description sommaire des méthodes passives (épis, digues...)	95
	Les ouvrages transversaux	95
	Les ouvrages longitudinaux de haut de plage	96
	Les ouvrages longitudinaux de bas de plage	97
3.4.4.2	Description des méthodes « douces »	98
	Les ouvrages transversaux	98
	Les ouvrages longitudinaux	99
3.4.4.3	Description d'une politique non-interventionniste	107
3.5	LES DIFFERENTS TYPES DE SUIVI	108
3.5.1	Objectifs	108
3.5.2	Méthodes	109
3.5.3	Les techniques de suivi	109
	L'utilisation du GPS	110
	Le traîneau marin	111
	Le laser aéroporté	111
	Caméra – vidéo (figure 56)	112
	Suivi photographique (figure 56)	112
	Suivi des aménagements et ouvrages	114
3.5.4	Suivi de l'efficacité des solutions proposées	115

Rechargements.....	115
Aménagements dunaires	116
4. CONCLUSIONS.....	118
5. ANNEXES	119
6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	120
7. FICHE SIGNALETIQUE ET DOCUMENTAIRE	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : "Sites sensibles" retenus pour l'étude	11
Tableau 2 : Codification des communes	44
Tableau 3: bilan évolutif des sites sensibles	82
Tableau 4: données permettant le calcul des surcotes (port de Toulon)	88
Tableau 5: récapitulatif des secteur à stabiliser	94

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Localisation des « points chauds » (de Saint-Cyr-sur-Mer à Toulon).....	11
Carte 2 : Localisation des « points chauds » (de Hyères à Cavalaire).....	11
Carte 3 : Localisation des « points chauds » (de Ramatuelle à Saint-Raphaël).....	11

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma simplifié des procédures liées au rechargement de plage	13
Figure 2: Photographie aérienne IGN, émulsion panchromatique.....	17
Figure 3 : Recouvrement des photographies aériennes IGN.....	18
Figure 4: scanner A3 utilisé pour la numérisation	18
Figure 5 : Exemples de défauts présents sur les clichés de la mission "La Ciotat / Cap Lardier"	19
Figure 6 : Les limites du MNT.....	21
Figure 7: chaîne de traitement des orthophotographies, du traitement radiométrique à la mosaïque.....	22
Figure 8 : Délimitation du trait de côte par JP. PINOT	23
Figure 9 : Plage du Lido (Sanary-sur-Mer)	25
Figure 10 : Plage de la Garonnette (Sainte-Maxime)	25
Figure 11 : Définition du trait de côte en zone sableuse	26
Figure 12 : Limite du trait de côte à l'interface plage / massif dunaire.....	27
Figure 13 : Limite du trait de côte à l'interface plage / haut de plage artificialisé	27
Figure 14 : Limite du trait de côte à l'interface plage / blocs bâtis gagnés sur le rivage	28
Figure 15 : Exemple de pocket beach	29
Figure 16 : Exemple de tombolo (Cap Lardier)	29
Figure 17 : Variations saisonnières du profil d'une plage	30
Figure 18 : Limite du trait de côte à l'interface partie émergée en permanence / ceinture d'organismes fixés.....	31
Figure 19 : Exemple de limite imposée par le couvert végétal.....	32
Figure 20 : Exemple de limite imposée par l'ombre portée	32
Figure 21 : Exemple de limite imposée par le couvert végétal et les ombres portées.....	33
Figure 22 : Limite du trait de côte à l'interface superstructure / mer (Cavalaire)	34
Figure 23 : Exemple de discontinuité à l'embouchure de l'Aren entre Bandol et Sanary-sur-Mer	34
Figure 24 : Caviardage de zones militaires sur la presqu'île de Saint-Mandrier	35
Figure 25 : Différences de précision des référentiels	35
Figure 26 : Exemple d'avancée du trait de côte (Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer)	38
Figure 27 : Comparaison entre le trait de côte et la ligne de contact mer / terre.....	39
Figure 28 : Organisation de la donnée spatiale et attributaire.....	40
Figure 29 : Principes de la codification des sites	42
Figure 30 : Exemple de formulaire de requête dans Access	64
Figure 31 : Difficultés de prises de points d'amers dues à l'évolution de l'urbanisation	65
Figure 32: évolution du niveau relatif de la mer.....	83
Figure 33: rose des vents entre 1981 et 2004 (cap Cépet)	84
Figure 34: position du houlographe.....	85
Figure 35 : histogramme de houle (hauteur/période) du houlographe de Porquerolles (source: CETMEF) ..	86

Figure 36: Propagation de la houle en provenance du large	87
Figure 37 : valeur de surcote dans le port de Toulon depuis 1961.....	89
Figure 38 : Déstabilisation d'un mur en limite de propriété (Hyères Plage)	90
Figure 39 : Affouillement en pied de dalle du poste de secours (Plage du Lido / Sanary)	90
Figure 40 : Déstabilisation d'une terrasse en béton (Cavalaire).....	90
Figure 41 : Menace de déstabilisation de la promenade littorale (Le Lavandou)	93
Figure 42 : Principaux types d'épis	96
Figure 43 : Enrochements (Plage de Saint-Aygulf)	97
Figure 44 : Exemple d'ouvrage longitudinal de bas de plage (Plage de Saint-Aygulf)	98
Figure 45 : Description du procédé Stabiplate	99
Figure 46 : Description du procédé GEOTUBE®	100
Figure 47 : Description du procédé STABILENKA®	101
Figure 48 : Le procédé Ecoplage®	102
Figure 49 : Les barrières à sédiments de type ganivelles.....	103
Figure 50 : Les filets de rétention en géotextile (Installation)	104
Figure 51 : Fonctionnement des filets de rétention en géotextile.....	104
Figure 52 : Principes de la gestion des accès	105
Figure 53 : Le rechargement de plage (apport par voie maritime)	106
Figure 54 : Le GPS ou le Seasled pour suivre l'érosion côtière	110
Figure 55 : Principes du laser aéroporté.....	112
Figure 56 : L'imagerie vidéo et le suivi photographique	113

1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE

1.1 L'EROSION COTIERE DU LITTORAL VAROIS

Comme une grande partie des côtes méditerranéennes, le littoral varois est affecté par le processus d'érosion côtière. Si les mécanismes érosifs sont relativement bien identifiés, les mesures de gestion du phénomène sont en revanche moins évidentes à déterminer et suivent des orientations parfois fluctuantes partagées entre :

- le maintien du trait de côte à tout prix induisant l'édification d'ouvrages de protection « passifs » (épis, digues...),
- les méthodes dites « douces », qui ne s'opposent plus aux éléments mais composent avec eux, (fixation des dunes par végétalisation ou géotextile, création de brise-vent, remodelage de l'estran, procédés Ecoplage® ou Stabiplate®...)
- et une politique non ou moins interventionniste favorisant davantage le libre court et le façonnage du littoral par la nature (espaces de liberté).

La gestion de l'érosion nécessite par conséquent une approche globale et rationnelle qui ne peut être possible que par une connaissance accrue du territoire sur laquelle elle agit.

La forte pression anthropique subie par la frange littorale ces trente dernières années conjuguée -entre autres- à la relative dégradation de certains herbiers de phanérogames (herbiers de posidonies), contribue à accélérer le phénomène d'érosion et pose d'ores et déjà de nombreuses questions quant à la viabilité et la pérennité des aménagements de protection mais aussi de loisir.

Les opérations de défense sont donc complexes à mettre en œuvre dans la mesure où il n'existe pas de solution standard.

1.2 LA CONTRIBUTION DU DEPARTEMENT DANS LA GESTION DE L'EROSION

En matière de protection du littoral, le Conseil général du Var a défini récemment sa nouvelle politique départementale d'aide aux communes pour la mise en valeur et la protection de la mer et du littoral. Cette politique participative donne au Département un rôle dépassant celui de simple financeur d'opérations.

Il s'agit en effet de garantir et d'animer une politique coordonnée sur le long terme avec l'ensemble des acteurs du littoral, afin de structurer la protection des secteurs urbanisés, aménagés ou naturels mais aussi de gérer le facteur 'Risque'.

Les subventions allouées aux communes par le Département en la matière, représentent des coûts très importants pour des résultats qui ne sont pas toujours satisfaisants. Il semble en effet, que pour compenser les effets de perte en matériaux sur les plages à haute valeur touristique, la solution du rechargement soit trop souvent adoptée. Cette opération, si elle comble le déficit de matériaux lors de la période estivale, engendre de lourds investissements (de l'ordre de 1€/Tonne/km pour le transport) et sous-entend dans la plupart des cas un renouvellement quasi annuel.

1.3 PHILOSOPHIE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La philosophie de la présente étude s'inscrit dans la démarche de l'Etat en terme de protection du littoral : *« favorisant les opérations qui s'inscrivent dans une logique globale, faisant l'objet d'une évaluation coût-avantage en démontrant la pertinence, permettant d'agir en premier lieu sur la prévention et où le maître d'ouvrage se sera engagé à mettre en place un suivi du trait de côte »*

Le but de cette démarche est par conséquent de rationaliser les investissements en optimisant les aménagements.

L'étude de l'évolution du trait de côte du littoral varois est une étude de cadrage qui doit s'inscrire dans une réflexion plus globale sur la gestion de l'érosion côtière à une échelle dépassant, à terme, le simple cadre départemental.

Les objectifs premiers sont donc multiples puisqu'il va s'agir :

- d'établir un diagnostic de l'évolution du trait de côte à l'échelle du département,
- de fournir un outil d'aide à la décision et à la gestion à la DEER.

L'étude a une vocation opérationnelle et doit permettre d'orienter les avis techniques de la Direction de l'Environnement et de l'Equipement Rural (DEER) sur les dossiers concernant les rechargements de plage ou les aménagements côtiers.

Elle comportera donc deux grands volets :

- un Système d'Information Géographique (SIG) représentant l'outil d'aide à la décision,
- Une synthèse bibliographique et une analyse de l'évolution du trait de côte de 1950 à nos jours, afin de déterminer les causes possibles de ces variations.

2. METHODOLOGIE ET MOYENS MIS EN ŒUVRE

2.1 DEFINITION DU CADRE GEOGRAPHIQUE

Comme défini dans le cahier des charges, *la limite supérieure d'étude de la zone terrestre est fixée à la frange littorale varoise, à proximité immédiate de la mer et sous son influence directe.*

Sera aussi analysé l'ensemble des phénomènes responsables de l'évolution géomorphologique du littoral, qu'ils soient d'origine marine ou continentale.

Il a été toutefois convenu avec le maître d'ouvrage que les délais d'exécution de l'étude ne permettant pas de livrer une analyse exhaustive du phénomène érosif sur la totalité du littoral varois, n'a été retenue pour un diagnostic approfondi qu'une série de sites sensibles, représentant les secteurs les plus problématiques.

Les critères de choix de ces sites sensibles ont été déterminés selon plusieurs paramètres :

- la sensibilité des sites au phénomène d'érosion ou d'accrétion, connue de la DEER ;
- la fréquence des opérations d'aménagement ou de rechargement sur un même site ;
- la sollicitation des communes au Conseil général en terme de participation financière et technique pour la protection des sites.

Ces sites sensibles ont donc été déterminés à partir des connaissances déjà acquises par la DEER, connaissances fondées sur une expérience et sur des interventions menées sur certains sites connus déjà qualifiés de sensibles.

Les sites sensibles sont disséminés sur l'ensemble de la frange littorale varoise, de façon à avoir une répartition géographique équilibrée et une représentativité des différents contextes littoraux varois.

Les sites retenus sont les suivants, ils ont tous fait l'objet d'une visite terrain par le sédimentologue de la société In Vivo :

Nom du site	Commune
Plage des Locques	Saint-Cyr-sur-Mer
Plage du Lido	Sanary-sur-Mer
Plage de Bonne Grâce	Six-Fours-les-Plages
Plage des Sablettes	La Seyne-sur-Mer
Hyères Plage	Hyères
Plage de la Favière	Bormes-les-Mimosas
Plage du Lavandou	Le Lavandou
Plage de Cavalaire	Cavalaire
Plage de Pampelonne	Ramatuelle
Plage de la Croisette	Sainte-Maxime
Plage de la Garonnette	Sainte-Maxime
Plage de Saint-Aygulf	Fréjus
Plage d'Agay	Saint-Raphaël

Tableau 1 : "Sites sensibles" retenus pour l'étude

L'ensemble de ces sites est localisé sur la carte désignée ci-après :

Cartes 1, 2 et 3 : Localisation des « points chauds »

Au final, il s'agit donc d'être capable de fournir une appréciation globale de l'évolution du trait de côte du littoral varois à l'échelle départementale, et une analyse plus fine de cette évolution sur les différents « points chauds » précédemment cités.

2.2 L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.2.1 Synthèse des études existantes

Dans le cadre de la présente étude, il a été effectué une recherche bibliographique large en s'adressant à l'ensemble des acteurs du littoral varois dont la majeure partie est commanditaire d'études : communes littorales, gestionnaires d'infrastructures portuaires, communauté urbaine, Agence de l'eau, CCI, Conservatoire du littoral, Entente interdépartementale de démoustication...

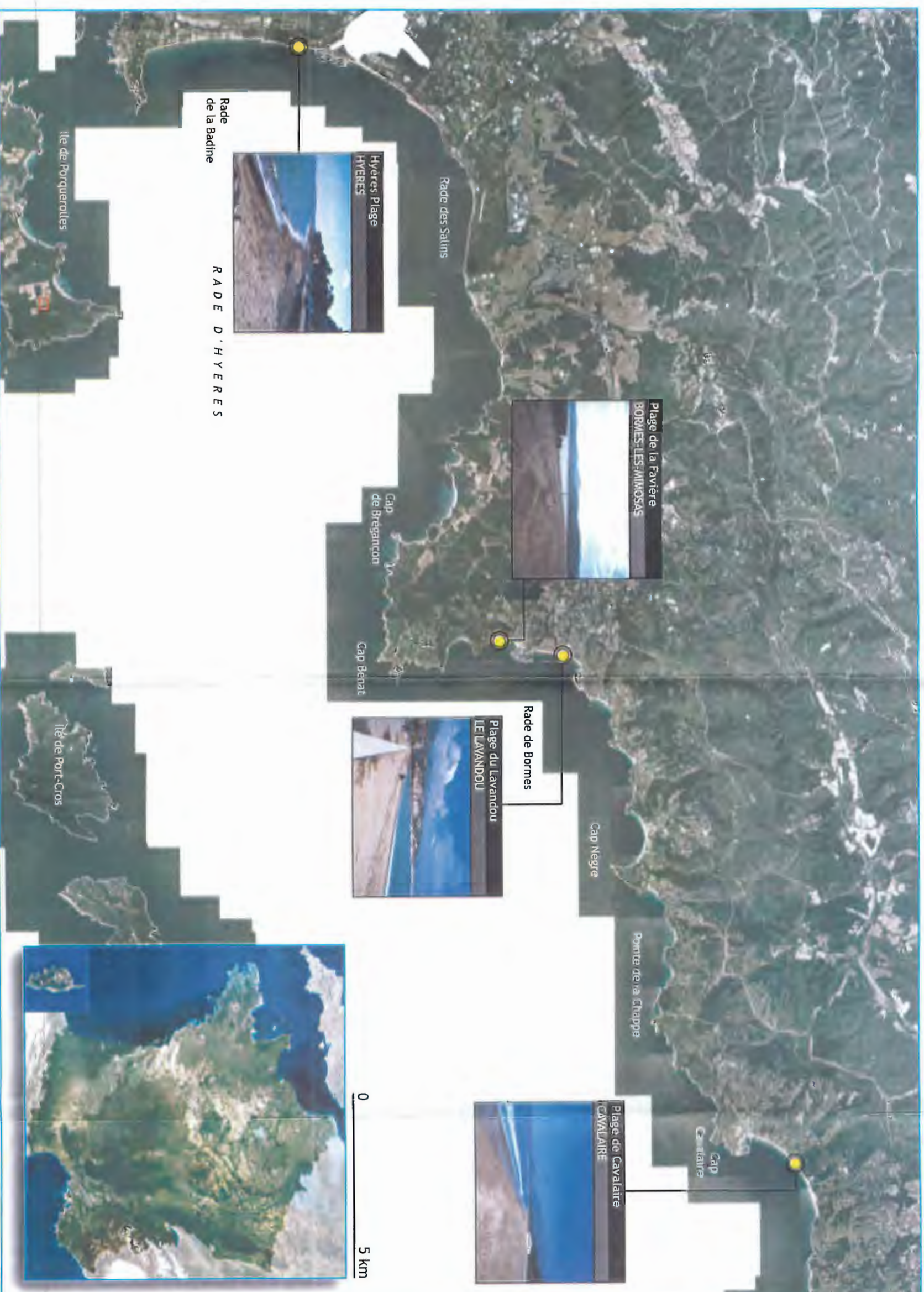
La synthèse bibliographique a permis d'appréhender l'ensemble des processus relatifs au fonctionnement des estrans et à la dynamique sédimentaire agissant sur le littoral varois. Cette synthèse bibliographique a permis également d'évaluer la sensibilité de certains sites à l'érosion côtière et de définir les grands traits du découpage du littoral en cellules hydrosédimentaires en s'appuyant sur des travaux déjà existants.

La recherche bibliographique a donné la possibilité d'incrémenter la base de données, notamment pour les « points chauds » du littoral.

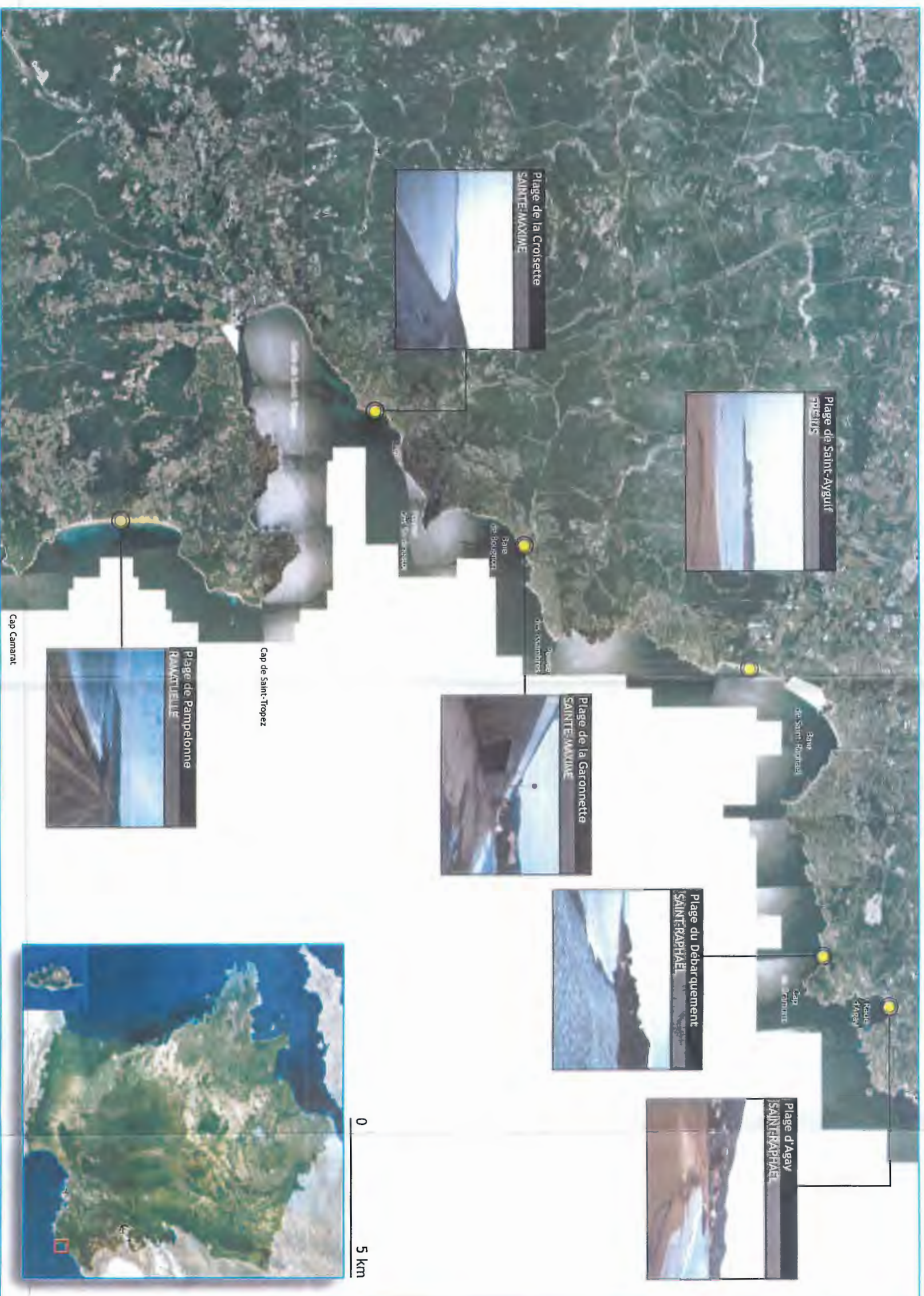
EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DU LITTORAL VARDIS



EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DU LITTORAL VAROIS



EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE DU LITTORAL VAROIS



Les investigations ont montré qu'il n'existe que peu d'études transversales sur l'ensemble du littoral varois. La thématique de l'érosion côtière est, elle aussi, à cette échelle, peu étudiée bien qu'il faille noter tout de même l'existence d'une étude phare en la matière.

En effet, la synthèse bibliographique « Définition et cartographie des unités sédimentaires du littoral méditerranéen français » pilotée conjointement par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse et l'Université d'Aix-Marseille III, a souvent servi de référence dans la présente étude, notamment lorsqu'il a s'agit de désigner les cellules hydrosédimentaires.

D'autres études à caractère plus local (études d'impact, campagnes de mesures, thèses...) ont fourni de bons compléments d'informations pour la compréhension du fonctionnement hydrosédimentaire de certaines zones sensibles et l'appréciation des impacts réels *in situ* imputés au phénomène d'érosion côtière.

Enfin, la thématique de l'érosion côtière n'étant pas nouvelle, d'autres documents, travaux ou bases de données d'origine française, européenne ou extracommunautaire ont également été consultés.

L'ensemble des références évoquées ici, est disponible dans la bibliographie.

2.2.2 Connaissance des procédures et opérations existantes

La synthèse bibliographique englobe également une bonne connaissance du fonctionnement actuel des procédures que suivent les communes ayant des besoins en terme d'aménagement littoral.

La figure n°1 illustre une étude de cas concernant le cheminement d'une demande de travaux de protection (ici, du rechargement de plage) suite à un événement climatique ayant entraîné un déplacement du stock de sable et mettant, à priori, en danger la sécurité des biens et des personnes.

Ce cas de figure est présenté ici, car il symbolise un des recours auquel de nombreuses communes font appel généralement suite aux tempêtes d'hiver. En effet, le rechargement de plage est une des solutions les plus fréquemment utilisées sur le littoral varois.

Le schéma montre la relative complexité de la procédure et le nombre d'interlocuteurs consultés.

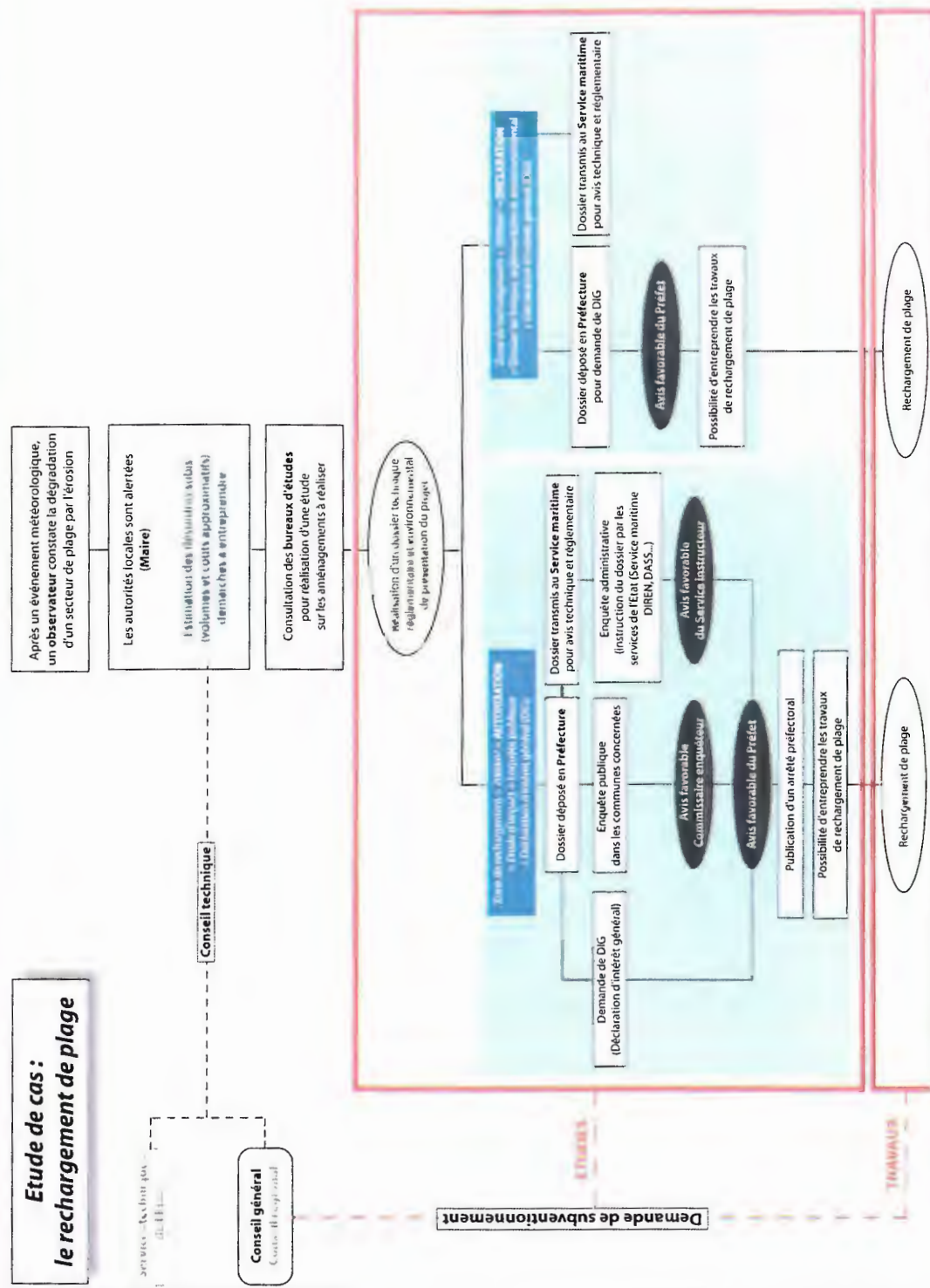


Figure 1 : Schéma simplifié des procédures liées au rechargement de plage

Le recensement des communes littorales subventionnées à ce titre par le Conseil général a été effectué pour ces dernières années, et une attention particulière a été portée sur les opérations de rechargement récurrentes afin de faciliter l'identification des zones sensibles et d'établir une cohérence avec les dysfonctionnements éventuels observés.

Les dépenses pour ce type d'opération se sont élevées à plus de 2 millions d'euros pour les années 2002 et 2003 confondues, et ce pour 6 communes, dont plus de 500 000 euros subventionnés par le Conseil général du Var.

Ce qui renforce l'idée de la nécessité de développer des outils de connaissance du territoire et d'aide à la décision et à la gestion comme peut l'être le SIG et la base de données livrées avec cette étude, afin de compléter une certaine vision empirique des dossiers par des moyens de gestion plus rationnels.

2.3 LA MISE EN PLACE DU SIG « TRAIT DE COTE »

La mise en place du SIG est importante car elle va permettre de fournir au Département un outil d'aide à la décision.

2.3.1 Définition et principes du système

Il s'agit de créer un SIG capable de hiérarchiser les secteurs littoraux varois en fonction de leur sensibilité face à l'action de la mer, afin de pouvoir répondre efficacement aux demandes des collectivités en terme d'aménagement et de protection.

Le système mis en place comporte plusieurs éléments bien distincts mais à la fois liés :

- les orthophotographies des années 50, 70 et 1998 qui vont permettre de digitaliser,
- les traits de côte pour chaque période en fonction desquels il sera possible de mettre en évidence,
- des zones sensibles du littoral soumis à l'action de la mer.

Conjointement à l'étude bibliographique qui est menée en parallèle, vont pouvoir être déterminées, si possible, des cellules hydrosédimentaires dont les mécanismes pourront être décrits et consignés dans la base de données attributaires dédiée.

Le croisement de l'ensemble de ces données par requêtes devrait ainsi créer de la valeur ajoutée aux connaissances déjà acquises et permettre de constater pour mieux comprendre, l'évolution du trait de côte.

2.3.2 Moyens mis en œuvre

Les moyens matériels mis en œuvre pour la réalisation du SIG sont constitués :

- d'un micro-ordinateur doté d'un processeur AMD Athlon XP 1600+, 160 GO de capacité de stockage, 512 Mo de SDRAM, un graveur de Cd-rom et de DVD ;
- d'un scanner à plat A3 couleur EPSON GT 15000, de résolution optique 600 x 1200 dpi et de résolution interpolée 9600 dpi en sortie.
- Un scanner A0 noir et blanc le cas échéant.

Ce matériel assure un confort certain pour le traitement des photographies aériennes de l'IGN.

Les moyens logiciels :

- L'atelier GEOimage V4.1 pour le traitement des photographies aériennes et l'élaboration des orthophotographies,
- ArcView 3.2 pour la partie SIG,
- Access 2000 pour le développement de la base de données du suivi littoral.

Ces logiciels répondent aux exigences du standard de traitement des données géographiques.

2.3.3 Méthodologie

2.3.3.1 L'interopérabilité et ergonomie du système

Un des points cruciaux de la réussite du projet SIG est de bien assimiler les besoins réels des utilisateurs. C'est pourquoi le SIG a été élaboré en coopération avec les utilisateurs pouvant administrer le système et les utilisateurs ne pouvant que le visualiser. L'accent sera mis sur l'ergonomie du projet SIG.

La construction de la base de données sera menée dans un même esprit de cohésion et d'accessibilité. Dans le cas présent, le projet sera traité sur le même logiciel que celui utilisé par le Conseil général : ArcView 3.2..

Les données vectorielles seront livrées au format « Shape », qui est le format propriétaire du logiciel précité et les orthophotographies (fichiers « aster ») seront quant à elles livrées au format tif/tfw ou ecw.

D'autre part, les données seront accompagnées de la visionneuse cartographique (ou viewer) développée par ESRI : ArcExplorer et son didacticiel au format PDF.

2.3.3.2 Chaîne de traitement des photographies aériennes de l'IGN

Les missions aériennes retenues

Afin de représenter les variations du trait de côte du littoral varois, une comparaison de photographies aériennes doit être établie. Les clichés retenus sont issus de campagnes de prise de vues aériennes menées par l'Institut Géographique National au cours des 3 périodes concernées.

Pour les années 50, il n'y a pas eu de campagne couvrant l'intégralité du littoral varois. C'est pourquoi, la ressource photographique est un amalgame de 3 missions aériennes :

- Mission 3246-3546 « La Ciotat / Cap Lardier », effectuée du 20/08/1950 au 05/09/1950.
- Mission 3145-3545 « Marseille / Saint-Tropez », effectuée 22/08/1950 au 05/09/1950.
- Mission 3144-3644 « Cannes / Martigues », effectuée du 20/03/1951 au 25/03/1951.

La couverture de la frange littorale n'est pas totale pour l'année 1950, ce qui n'est pas sans causer quelques difficultés pour le traitement final. En effet, si l'on se plie aux exigences de précision et d'intégrité de la donnée « trait de côte », il apparaît nécessaire de tenir compte des variations saisonnières du profil de plage qui peuvent modifier plus ou moins la limite attribuée au trait de côte.

Toutefois, compte tenu du manque de données et du besoin de définir tout de même un trait de côte pour l'ensemble du littoral, il semble acceptable de rapprocher certains clichés pris à quelques mois d'intervalles (année $n+1$ / $n-1$), le risque de distorsion étant relativement limité vu l'échelle de travail définie préalablement qui est l'échelle départementale.

Pour les années 70, la mission aérienne retenue est la suivante :

- Mission FR2258/150.IRC+P., effectuée du 25/05/1972 au 08/06/1972 puis le 16/06/1974 (dernières photographies ne concernant pas la zone d'étude)

Cette campagne couvre en revanche tout le littoral du département, ce qui facilite la digitalisation du trait de côte. Pour cette période, seuls les clichés concernant les zones sableuses ont été retenus, ce qui représentent 53 clichés au total.

Contrairement aux plus récentes photographies, les clichés anciens ne sont disponibles qu'au format papier ; avant de les comparer et de pouvoir prétendre à digitaliser le trait de côte, il est donc impératif de les numériser, de les géoréférencer puis de les mosaïquer afin de disposer d'une orthophotographie comparable et superposable à la BD Ortho® IGN de 1998.

Caractéristiques des photographies aériennes utilisées

Les photographies aériennes utilisées pour cette étude sont des tirages papier (ou jeu témoin) de différentes dimensions :

- 13 x 18 cm pour les clichés des missions « La Ciotat / Cap Lardier » et « Marseille / Saint-Tropez » de 1950
- 19 x 19 cm pour les photographies de la mission « Cannes / Martigues » de 1951
- 24 x 24 pour les tirages de la mission FR2258/150.IRC+P. de 1972.

Les échelles de restitution des prises de vues sont différentes entre les périodes, puisqu'elles sont réalisées au 1/25000^e environ pour les années 50 et au 1/15000^e pour les années 70.

D'autre part, les altitudes de vol sont elles aussi variées, notamment lors des survols d'acquisition au-dessus de la mer. Elles s'étendent par exemple de 3800 à 4250 m pour la mission « La Ciotat / Cap Lardier » de 1950, voire de 2530 à 3708 m pour la mission FR2258/150.IRC+P. de 1972.

L'altitude n'étant pas constante, il est donc indispensable de moyenner les différentes valeurs pour orthorectifier les photographies. Cette opération peut entraîner une certaine imprécision dans l'orthorectification des clichés.

Toutes les photographies aériennes utilisées sont en émulsion panchromatique (noir et blanc).

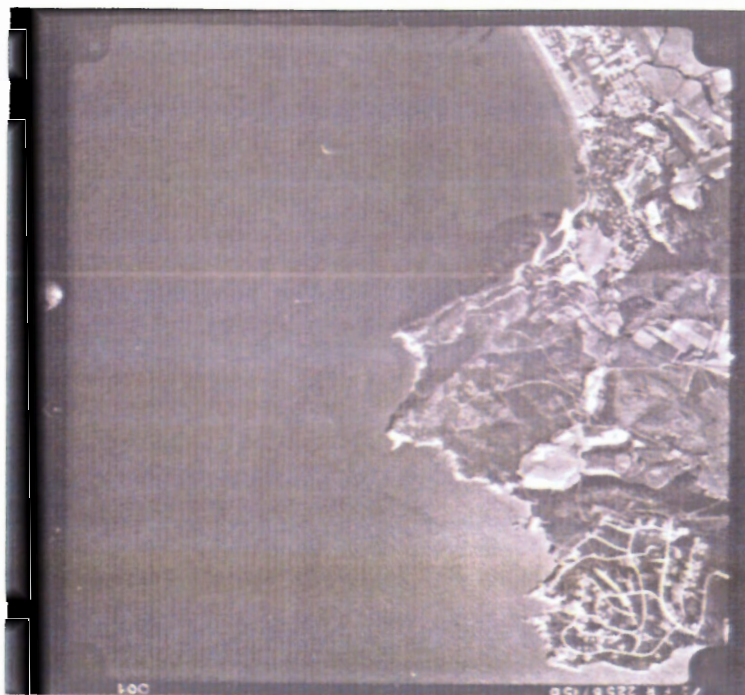


Figure 2: Photographie aérienne IGN, émulsion panchromatique

Afin de limiter de trop importantes distorsions entre les photographies lors de campagnes de prises de vue, la couverture photographique est constituée de bandes rectilignes qui présentent un recouvrement entre elles de 15 % environ. Pour éviter certains hiatus dus aux reliefs, ce recouvrement peut atteindre 40 % sur certains massifs montagneux.

Pour permettre l'examen stéréoscopique, le recouvrement longitudinal entre photos successives est de 60 %, il peut être supérieur en zone montagneuse.

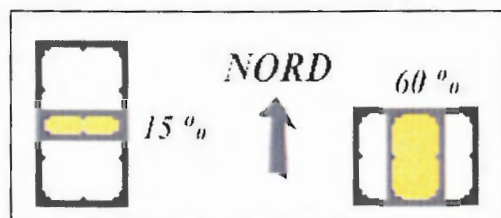


Figure 3 : Recouvrement des photographies aériennes IGN

La numérisation des clichés

L'ensemble des clichés de 1950, 1951 et 1972 retenus est numérisé à l'aide d'un scanner à très haute résolution.



Figure 4: scanner A3 utilisé pour la numérisation

Toutefois, au-delà d'une certaine résolution, l'image numérique ne livre pas de renseignements supplémentaires. Les photographies aériennes seront scannées avec une résolution de 700 DPI afin de ne pas perdre en qualité par rapport au cliché original et de livrer un fichier numérique facilement manipulable. Cette résolution permettra d'obtenir un pixel de 1 m en sortie.

Il faut aussi noter que la qualité des clichés numérisés dépend directement de la qualité des clichés originaux. En effet, s'il y a un défaut sur le film photographique (scratch, rayure, déchirement...), il sera reporté irrémédiablement sur le cliché papier et donc sur le cliché numérisé comme le montre la figure suivante.



Figure 5 : Exemples de défauts présents sur les clichés de la mission "La Ciotat / Cap Lardier"

Selon les propres recommandations techniques de l'IGN, il est donc nécessaire d'utiliser des films d'excellente qualité, car ce sont eux qui imposent les véritables limites du scannage.

Les films altérés dégradent, sur les zones concernées, le niveau de précision. La résolution de la numérisation devient une contrainte car la précision est alors de plusieurs mètres.

Le calcul des modèles aériens

La seconde étape va consister à déterminer la position et l'orientation de chaque cliché.

Cette étape de la réalisation de l'orthophotographie fait appel au module GEOamers. Le module est utilisé pour effectuer un géoréférencement avec prise de points d'appui. C'est une interface de saisie de points d'amers, d'ajustement ou de calcul de modèles de déformation et de rectification géométrique.

La démarche implique de reporter la position terrain d'un certain nombre de points d'amers (20 à 30 points nécessaires) identifiés très précisément sur les clichés. Cette opération fait généralement appel à

l'utilisation de points déjà existants contenu dans plusieurs bases de données disponibles (BD Topo® pour les coordonnées cartographiques et MNT BD Topo® pour les informations d'altitude).

Une fois ces points déterminés, un calcul de compensation (ou de déformation) permet de caler chaque cliché. Ce calcul nécessite lui-même une procédure dans laquelle il faut indiquer les coordonnées pixel du centre de la photographie, l'altitude de l'avion, la focale de l'objectif et la résolution de scannage de la photographie.

Une fois le modèle défini et considéré comme satisfaisant, il est utilisé lors de l'étape de rectification.

L'orthorectification

L'orthorectification est une phase clé car elle va permettre de corriger la géométrie de la prise de vue (grâce au modèle aérien), les déformations dues au relief déterminées par le MNT et d'affecter à chaque pixel des coordonnées géographiques en X, Y et Z. La qualité du MNT est essentielle pour une bonne rectification des images, c'est en effet son exactitude qui va limiter l'exactitude de l'orthophotographie.

Pour la présente étude c'est le MNT issu de la BD Alti® qui va être utilisé. Sa précision varie de 2,5 m à 20 m selon les zones. Moins précis que le MNT de la BD Topo® (dont la précision s'étend de 2 à 4 m selon les zones), le MNT de la BD Alti® a l'avantage de couvrir l'ensemble du territoire.

Le tableau suivant montre l'influence de la précision du MNT choisi sur l'exactitude de l'orthophotographie (source : IGN)

Exactitude du MNT	Exactitude de la BD Ortho®
20 m (BD Alti® en montagne)	Environ 10 m
2,5 m (BD Alti®)	1,3 m
4 m (BD Topo® en montagne)	2 m
2 m (BD Topo®)	1,2 m

L'imprécision des MNT influe sur le positionnement et la surface des objets.

Le MNT joue un rôle important dans la rectification des images mais aussi dans le résultat attendu de l'orthophotographie. En effet, si le MNT de la BD Alti® couvre effectivement l'ensemble du territoire national, ses limites « littorales » talonnent la frange littorale. Concrètement, il est observé en plusieurs endroits, un « grignotage » de cette frange par le MNT et par conséquent, certaines portions du littoral n'apparaissent pas sur l'orthophotographie comme le montre la figure suivante :



Figure 6 : Les limites du MNT

la correction radiométrique et le mosaïquage

Cette phase est réalisée grâce au module GEOmosa, interface permettant d'assembler plusieurs images géoréférencées (dans les mêmes projection et résolution) pour obtenir un plan d'information unique homogène. Les photographies scannées sont corrigées afin d'obtenir des moyennes radiométriques comparables.

En effet, du fait des différences d'éclairement au moment de la prise de vues (effets « hot spot » et vignettage) ou du développement, il peut arriver que certaines photographies voisines soit réellement dissemblables. Ce cas de figure doit être corrigé si l'on souhaite obtenir un assemblage d'orthophotographies acceptable car homogénéisé.

A l'aide de l'atelier GEOimage, un traitement est appliqué à chaque cliché afin de minimiser ces problèmes en égalisant les images par rapport à un niveau référent, caractérisant l'image optimale.

Une fois la correction radiométrique apportée, les orthophotographies sont assemblées à partir de la frange commune qui les lie aux orthophotographies contiguës pour former une mosaïque.

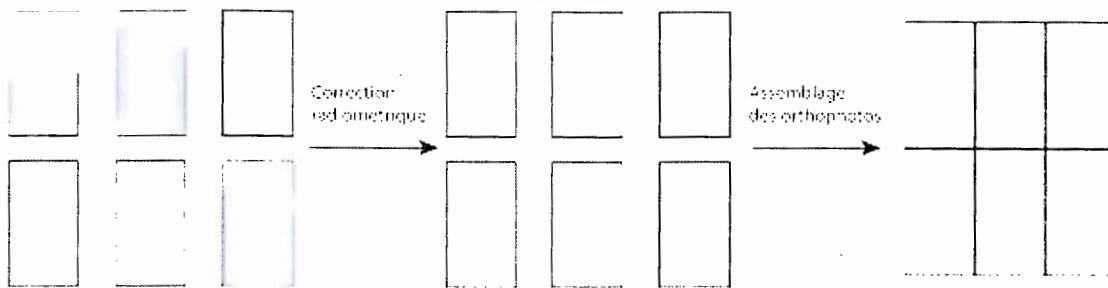


Figure 7: chaîne de traitement des orthophotographies, du traitement radiométrique à la mosaïque

Suivant le poids total de la mosaïque, il sera décidé soit d'assembler l'ensemble des éléments constituant la mosaïque en un seul fichier, soit de découper la mosaïque en dalles. Ces dalles pourront être livrées aux formats TIFF et tfw (format idéal pour le traitement d'images) et/ou au format ecw, plus confortable pour la visualisation.

2.3.3.3 La digitalisation du trait de côte

A priori, la digitalisation du trait de côte est l'opération suivante, simple, qui intervient suite à l'orthorectification des clichés et donc à la production de l'orthophotographie littorale pour les années 1950, 1972 et 1998.

Au sens strict, la digitalisation est l'opération consistant à matérialiser par une polygône le trait de côte. Seulement, quel est ce trait de côte ? Quelles sont ses limites exactes ?

Rappel d'une question majeure, quelle est la définition du trait de côte ?

Le trait de côte est une notion qui suscite de nombreux débats. Parmi les divers travaux consultés pour la présente étude, la limite caractérisant le trait de côte est bien souvent définie par la simple limite entre la mer et la terre. C'est pourquoi, pour les besoins de cette étude, il a fallu définir précisément cette limite car c'est la polygône symbolisant le trait de côte qui servira de base à l'appréciation des variations de celui-ci.

En somme c'est l'évolution de cette simple ligne qui conditionnera les conclusions du sédimentologue sur les tendances à l'accrétion, la stabilisation ou l'érosion du trait de côte. L'enjeu est donc important.

La définition du trait de côte s'est donc appuyée sur les différentes propositions rencontrées lors de la recherche bibliographique.

D'après COURTAUD (2000), « Le trait de côte est défini comme l'interface terre/mer que nous assimilons à une ligne (GRENIER & DUBOIS, 1991 ; DURAND, 1998 et 1999) ; son tracé représente une position de la limite terre - mer à un moment donné, dont on considère qu'elle est représentative de la période

considérée. La faiblesse du marnage autorise dans notre cas cette délimitation entre deux milieux, avec toutefois une certaine marge d'erreur qui conditionne fortement l'interprétation des résultats. »

D'après l'étude sur la définition et cartographie des unités sédimentaires du littoral méditerranéen français (Agence de l'Eau, Université Aix-Marseille, mars 2001), « En Méditerranée, compte tenu de la faible importance du marnage ($<0,4$ m), le trait de côte peut être considéré comme la ligne de contact entre la mer et la terre. Ce choix induit cependant une certaine marge d'erreur. »

D'après OLIVEROS et DELPONT (BRGM, 1997), « La limite estran - eau [...] est assimilée au trait de côte. Elle constitue l'information cartographique « trait de côte ». La limite estran - eau considérée a une valeur instantanée à la date et heure de prise de vue : la marée, le vent, et la pression atmosphérique conditionnent la cote du plan d'eau. A priori, la faible amplitude des marées en Méditerranée et la configuration même de l'estran (pente et rupture de pente au contact de l'eau) permettent de minimiser l'importance de l'heure de la prise de vue et de la situation barométrique. On peut donc à priori négliger la largeur de l'estran soumise aux fluctuations du plan d'eau (marée, vent et pression atmosphérique). »

PINOT (Base VOCA) distingue quant à lui, le trait de côte (expression simple) au trait de côte instantané.

□ Trait de côte :

« Loc. masc. Ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines. Le trait de côte proprement dit est la limite la plus extrême que puissent atteindre les eaux marines, c'est-à-dire l'extrémité du jet de rive lors des fortes tempêtes survenant aux plus hautes mers de vives eaux.

Il ne se confond pas avec la limite du Domaine Public Maritime (D.P.M.), définie en France par le bord de l'eau calme lors des plus hautes mers possibles (plus précisément lors du plus fort flot du mois de Mars), car les vagues de tempête peuvent franchir aisément la limite du D.P.M. Le trait de côte n'est pas constamment visible sur le terrain par une discontinuité dans la topographie ou la couverture végétale.

En effet, lorsque des années calmes se sont succédé, et qu'en outre elles n'ont eu pas de forts coefficients de marée, les sédiments peuvent s'accumuler sur le haut de plage, en avant du trait de côte, et incorporer temporairement cette zone dans la dune ; la végétation occupe alors cette aire et rend impossible toute

visualisation du trait de côte réel et permanent, ce qui limite la foi que l'on peut accorder aux photographies aériennes et aux images de satellite en matière de détermination de la position du trait de côte permanent. »

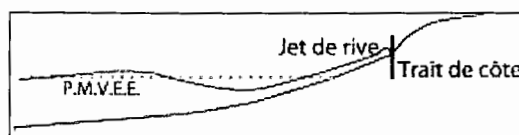


Figure 8 : Délimitation du trait de côte par JP. PINOT

□ Trait de côte instantané :

« Loc. masc. Ligne qui marque la limite à laquelle, en un instant donné, s'arrêtent les eaux marines supposées calmes. Le trait de côte instantané varie d'un instant à l'autre, se déplaçant vers le haut de l'estran à marée montante, vers le bas de l'estran à marée descendante. »

L'IFREMER et le SHOM proposent dans leur étude commune sur le recensement des données géographiques de référence en domaine littoral marin (2000) une autre définition qui intègre la différenciation des façades Manche / Atlantique et Méditerranée. « Trait de côte : Limite conventionnelle du domaine maritime au voisinage de la laisse de pleine mer pour les côtes de France Atlantique et Manche. Le long des côtes méditerranéennes, le trait de côte est défini comme le niveau maximal hivernal.

Sa définition théorique pourrait être, soit la limite des plus hautes mers astronomiques, soit la limite des niveaux extrêmes de pleine mer à une période de retour de dix ans. »

Enfin, dans le guide méthodologique des Plans de Prévention des Risques Littoraux ou PPRL (1997), est utilisée une autre définition, plus nuancée, qui distingue les côtes sableuses et les côtes à falaises ; « Pour le présent guide, le trait de côte est la limite géographique entre le domaine marin et le domaine continental. Il est proche de celle des plus hautes eaux exceptionnelles, mais pas nécessairement superposé.

Sur les côtes sableuses, le trait de côte peut être matérialisé par l'extension de la végétation qui en est un bon indicateur dans le cas d'une dune en accrétion. Pour des dunes en érosion, taillées en microfalaises, il correspond à la corniche dunaire. Selon la pente du talus, la limite des plus hautes eaux est plus ou moins éloignée du trait de côte.

Sur les côtes à falaise, on retient également la corniche de la falaise. Cependant, sur les versants littoraux urbanisés, le pied de versant peut apparaître comme le véritable trait de côte. »

Après ce florilège de propositions, on s'aperçoit qu'il n'existe pas une seule, mais bien plusieurs définitions du trait de côte. Celles-ci sont également plus ou moins nuancées ou complexes suivant la nature et les besoins des études dans lesquelles elles ont été utilisées.

Donc, avant de comparer différents traits de côte, il faut s'assurer que les divers producteurs de la donnée (si l'on parle du trait de côte en tant que polyligne intégrable dans un SIG) se sont appuyés sur la même définition. Sans quoi, toute comparaison devient erronée. En effet, comparer la ligne de contact mer/terre et la limite des plus hautes mers astronomiques peut entraîner de graves erreurs d'appréciation.

Doit-il y avoir une adaptation au contexte méditerranéen ?

D'une part, le contexte méditerranéen est marqué principalement par la faible importance du marnage qui est de l'ordre de 40 cm alors qu'il peut atteindre 13 m dans la baie du Mont Saint-Michel (Manche). Il y a donc une situation contextuelle à prendre en compte et par conséquent, il est clair que certaines notions comme la pleine mer de vive-eau extrême est à relativiser en Méditerranée.

D'autre part, il semble que d'autres éléments soient à intégrer dans la réflexion. En effet, les conditions d'occupation de la plage (ou arrière-côte) étant favorables du fait du peu de marnage, s'est développé un type d'urbanisation gagnant sur le rivage. Les nombreux établissements d'accueil (hôtellerie, restauration entre autres) qui jalonnent le littoral varois constituent d'ailleurs un exemple représentatif.



Figure 9 : Plage du Lido (Sanary-sur-Mer)



Figure 10 : Plage de la Garonnette (Sainte-Maxime)

Ces « blocs » bâtis en dur, reposant sur une dalle de béton rattachée au trait de côte initial sont donc -à priori- à prendre en compte dans la digitalisation du trait de côte, au même titre que les ouvrages lourds et infrastructures portuaires (enrochements, digues...).

En comparant les différents traits de côte ultérieurement, certaines précautions seront donc à prendre afin de déterminer si l'érosion constatée menace le trait de côte « principal » (constitué du trait de côte naturel et des secteurs artificialisés marquant la limite entre l'urbanisation et le rivage) ou ces « blocs » bâtis gagnés sur le rivage.

L'évocation du trait de côte appelle directement certains concepts comme le recul, l'avancée, la stabilisation, le risque... Une des questions à associer à la problématique de la définition du trait de côte à laquelle il faut répondre est donc : que faut-il protéger ?

Pour l'ensemble de ces spécificités, il semble qu'il faille donc adapter la problématique « trait de côte » au contexte méditerranéen.

Le choix d'In Vivo pour la méthode de digitalisation du trait de côte

Les principes de digitalisation du trait de côte se rapprochent de la définition donnée dans le guide méthodologique des Plans de prévention des risques littoraux (cf. § précédent).

C'est-à-dire qu'il est fait une distinction entre les côtes sableuses et les côtes rocheuses. Pour chacun des types de côte, la méthode employée inclut également les contraintes liées à l'orthophotographie de référence (qualité de l'image, ombres portées, couverture végétale ...).

Le trait de côte référent est celui obtenu à partir de l'orthophotographie de l'IGN datant de 1998.

- **limites du trait de côte en zone sableuse**

Le parti pris pour la délimitation du trait de côte en zone sableuse est le suivant (le trait de côte figure en rouge) :

- En haut de plage, le trait de côte symbolise la « frontière » entre la plage et le massif dunaire considéré comme fixé. Ce dernier caractérise une partie de cordon dunaire fixé par de la végétation. Il ne comprend pas les petites colonisations pionnières progressant vers le milieu de plage.

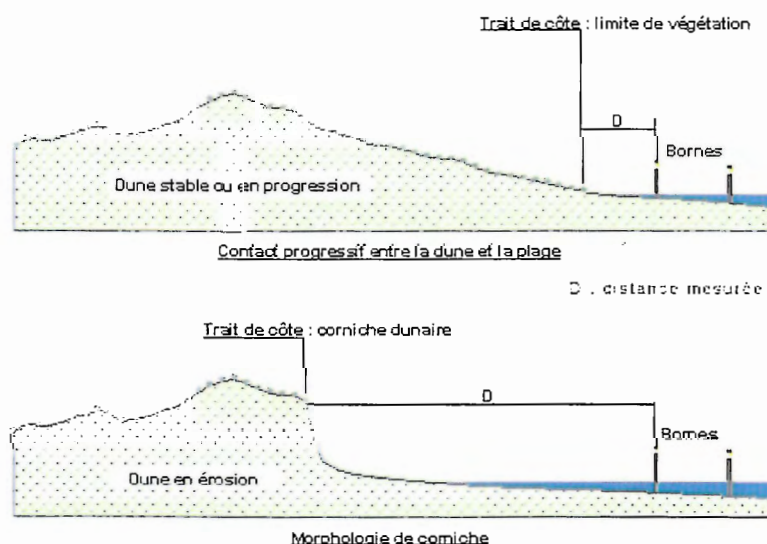


Figure 11 : Définition du trait de côte en zone sableuse



Ouest tombolo
de Giens

Figure 12 : Limite du trait de côte à l'interface plage / massif dunaire

- En haut de plage, frontière entre la plage et le haut de plage artificialisé ou bâti (enrochements, digues, murs de protection ou de soutènement...)



Plage du Lavandou

Figure 13 : Limite du trait de côte à l'interface plage / haut de plage artificialisé

- En haut de plage, frontière entre la plage et les « blocs » bâtis gagnés sur le rivage, rattachés au trait de côte initial (terrasses ou bâtiments gros œuvre, fixes)



Figure 14 : Limite du trait de côte à l'interface plage / blocs bâtis gagnés sur le rivage

Cette frontière n'est pas toujours simple à déterminer, car elle implique une connaissance parfaite de l'ensemble de ces îlots bâtis sur l'ensemble du littoral, seul un recensement exact de tous les îlots correspondant aux critères fixés permettrait de fixer avec fiabilité le trait de côte.

Dans certains cas de figure, la délimitation du trait de côte en zone sableuse est délicate. En effet, la qualité de la prise de vue ne permet pas toujours de discerner clairement la frontière entre la plage et la végétation fixée sur le cordon dunaire.

Par exemple, en période estivale, il se peut qu'une partie de la végétation soit en carence hydrique, du fait d'un manque d'apport en eau. Par conséquent, cette végétation (cas des pelouses littorales) aura plutôt une teinte jaunâtre sur la photographie, se confondant quasiment avec la couleur du sable.

Le tracé du trait de côte (basé sur la végétation fixée du haut de plage) peut donc être soumis à cette contrainte.

En outre, la digitalisation du trait de côte tient compte de la typologie géomorphologique des littoraux.

Pour une plage située sur une côte rocheuse, en pied de falaise par exemple -cas des plages adossées (PINOT, 1998)- le tracé du trait de côte concerne la côte rocheuse et non la plage. Cette plage sera alors traitée comme un stock sableux en pied de falaise et non comme une plage représentative des côtes sableuses.

Le littoral varois recense un certain nombre de plages de ce type.

La côte étant majoritairement formée de roches dures, les plages adossées se présentent sous la forme de « plages de poche » (« pocket beaches ») de petite taille, limitée par une falaise en arrière, un promontoire de chaque côté et une barrière rocheuse sur l'avant-côte (CETMEF, 2002).

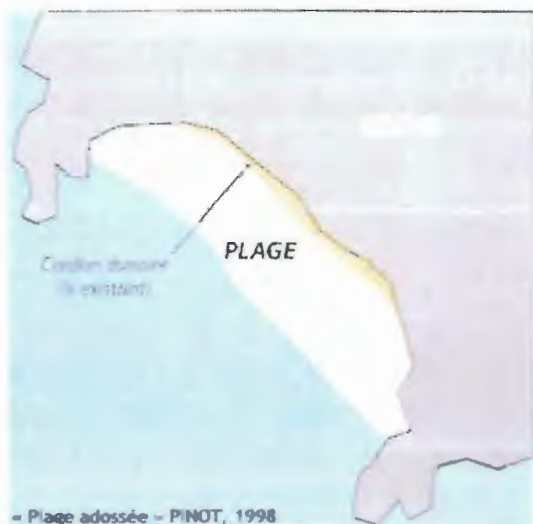


Figure 15 : Exemple de pocket beach

Le cas des tombolos (hors tombolo de Giens) est aussi une variante à considérer dans le cadre de la matérialisation du trait de côte. En suivant la démarche décrite dans le paragraphe précédent, le tombolo ou flèche-isthme (GUILCHER, 1954) ne peut être intégré au trait de côte car il ne constitue pas un élément fixe, mais variable. Si dans le cas des plages adossées ou accrochées, le stock sableux est relativement stable, ici au contraire, le système est ouvert et le tombolo ne doit son existence qu'à l'abondance des matériaux qui y transitent (PINOT, 1998).

Cette situation rend donc discutable l'intégration des tombolos dans le tracé du trait de côte.

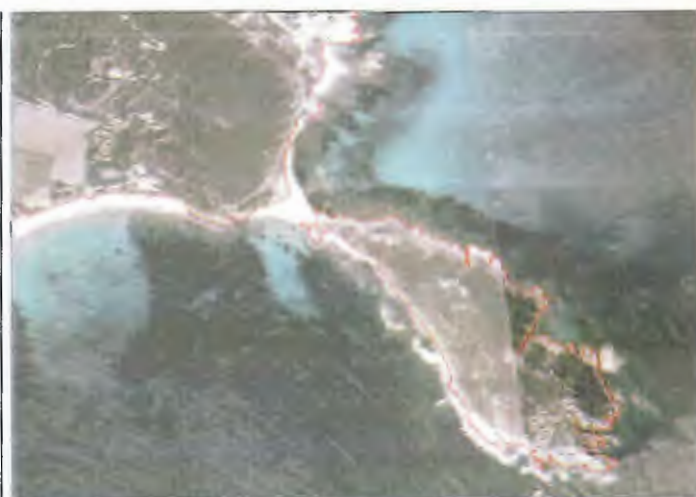
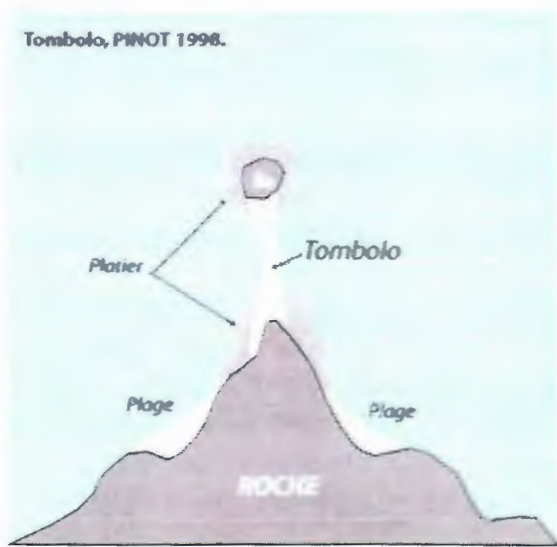


Figure 16 : Exemple de tombolo (Cap Lardier)

La définition du trait de côte pour les zones sableuses est donc relativement complexe et doit intégrer un certain nombre de paramètres illustrés dans ce chapitre.

C'est pourquoi, In Vivo a choisi de ne pas retenir comme trait de côte, la simple ligne de contact entre la terre et la mer. Effectivement, cette frontière ne prend pas en compte certaines constantes comme les variations saisonnières du profil de plage (voir figure ci-après).

Ces variations saisonnières constituent une évolution normale du trait de côte à l'échelle d'une année. Hors évènements exceptionnels, des variations ne doivent pas faire l'objet de correction anthropique.

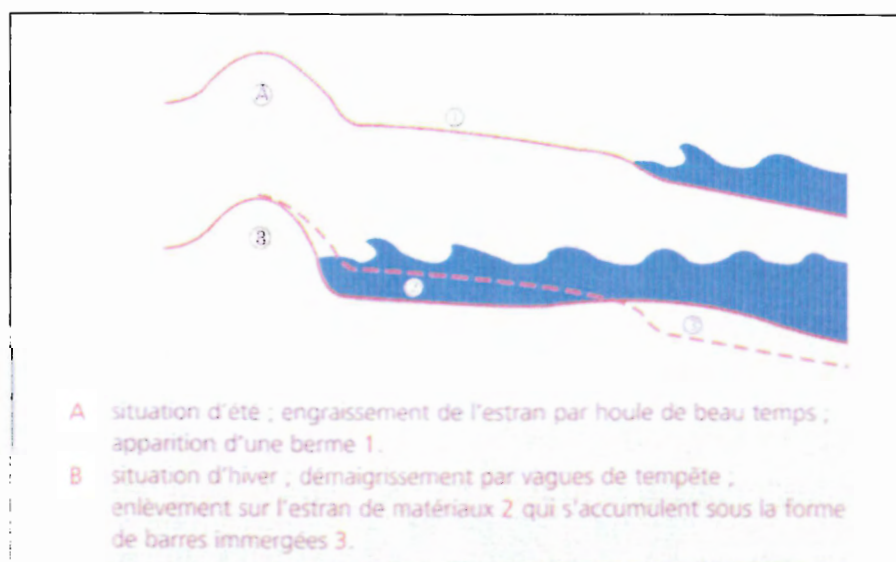


Figure 17 : Variations saisonnières du profil d'une plage

Or ces variations ou mouvements se traduisent par une évolution saisonnière du profil de plage entre 2 profils types (voir figure 17).

Ces évolutions ne sont cependant pas la cause de phénomènes d'érosion à long terme, il s'agit simplement de mouvements de sédiments saisonniers, perpendiculaires dans le profil de plage.

• Limites du trait de côte en zone rocheuse

En ce qui concerne les côtes rocheuses, la délimitation est elle aussi relativement complexe. Suivre l'option proposée par le guide méthodologique des PPRL « *Sur les côtes à falaise, on retient également la corniche de la falaise. Cependant, sur les versants littoraux urbanisés, le pied de versant peut apparaître comme le véritable trait de côte* », implique la possibilité de numériser la corniche de la falaise. Toutefois, cette corniche n'est pas toujours visible et l'orthophotographie tend à altérer la perception des altitudes, ce qui augmente la difficulté de localisation de la corniche et par suite, la digitalisation du trait de côte.

A cette nouvelle contrainte s'ajoutent d'autres facteurs limitants comme l'importance de la couverture végétale à certains endroits, masquant complètement la côte, la présence d'ombres portées ou encore la mauvaise qualité de certaines zones de l'orthophotographie de référence. Il a donc fallu faire des choix et assurer une certaine cohérence au tracé du trait de côte.

Les choix opérés sur les zones « à problèmes » ont influencé nettement le tracé. Car il ne semblait pas judicieux de suivre un trait de côte correspondant à la définition retenue sur une seule portion du littoral, et pas sur le littoral dans son entier.

Le parti pris de retenir les éléments visibles a donc été prioritaire sur la méthode mise en avant par la définition.

Le tracé suit les frontières suivantes :

- Dans le cas d'un faciès de platiers rocheux ou de falaise, la frontière se situe entre la partie émergée en permanence et la ceinture sombre supérieure (et visible) des micro-organismes fixés.



Figure 18 : Limite du trait de côte à l'interface partie émergée en permanence / ceinture d'organismes fixés

Dans le cas d'une zone rocheuse masquée par la végétation, la frontière est décidée de manière intuitive, en fixant une limite de découpe du couvert végétal entre les éléments visibles du littoral (petits fonds, rochers ou platiers rocheux, parties visibles de falaise) et la barrière végétale. Le tracé du trait de côte revêt alors un caractère subjectif.



Figure 19 : Exemple de limite imposée par le couvert végétal

- Lorsque la zone rocheuse est masquée par une ombre portée et que le traitement de l'orthophotographie (radiométrie) ne permet pas d'apporter de précisions supplémentaires, la frontière est aussi décidée de manière intuitive.



Figure 20 : Exemple de limite imposée par l'ombre portée

Il arrive toutefois qu'après quelques réglages sommaires (luminosité, contraste et gamma), une distinction puisse être faite entre différentes teintes dans la « zone masquée ». Bien que ces différences de teintes ne certifie pas pleinement la réelle démarcation entre la côte rocheuse et la mer, c'est toutefois l'élément d'appréciation qui sert de base à la digitalisation du trait de côte.

- Lorsque la côte rocheuse est masquée par le couvert végétal et une ombre portée, il devient très difficile voire quasiment impossible de déterminer avec fiabilité le tracé du trait de côte. Le choix de ce tracé est plus qu'intuitif, il est parfois arbitraire.

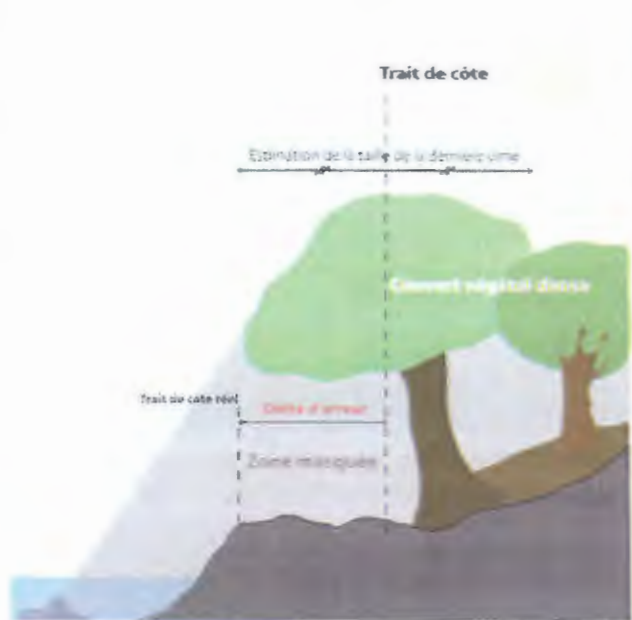


Figure 21 : Exemple de limite imposée par le couvert végétal et les ombres portées

Le trait de côte des zones rocheuses n'est donc pas plus simple à déterminer que celui des zones sableuses. Là encore, l'exigence de précision ne peut être satisfaite compte tenu des multiples obstacles que livre la BD Ortho® de l'IGN. Le trait de côte est sujet là encore à une marge d'erreur comprise entre 0 et 5 à 10 mètres.

• L'intégration des ouvrages

Les objectifs du trait de côte étant (entre autres) d'être une polygline aussi continue que possible, l'ensemble des ouvrages et zones artificialisées y a été rattaché.

Il faut entendre par ouvrage, tous les éléments constituant les infrastructures portuaires (digues, enrochements, remblais, pannes fixes), les ouvrages de protection du littoral (épaves ou digues rattachés au trait de côte original, zones de remblais ou d'enrochement longeant le trait de côte original) et toute autre superstructure assimilable au trait de côte.

Les ouvrages n'étant pas rattachés au trait de côte original ont tout de même été numérisés car ils influent ou peuvent influencer localement sur le fonctionnement hydrosédimentaire.



Figure 22 : Limite du trait de côte à l'interface superstructure / mer (Cavalaire)

- *La discontinuité du trait de côte*

Le trait de côte restitué est une somme de polygones formant un ensemble quasi continu. En effet, il ne peut être considéré comme un linéaire totalement continu, et ce pour plusieurs raisons :

- il peut être coupé par des exutoires fluviaux, pluviaux ou par des liens entre plans d'eau de marais maritimes (étangs de Villepey à Saint-Aygulf par exemple) et domaine maritime ;



Figure 23 : Exemple de discontinuité à l'embouchure de l'Aren entre Bandol et Sanary-sur-Mer

- le trait de côte peut également être interrompu par le manque d'information sur la zone. Ce manque d'information s'illustre par une zone blanche ou caviardage qui masque une partie de la photographie. Cette technique est utilisée en général par l'Armée pour camoufler les espaces

frappés du « secret défense ». Sur l'ensemble du littoral varois, 9 zones sont concernées par ce caviardage (Ile du Levant comprise) et la région toulonnaise est particulièrement représentative.

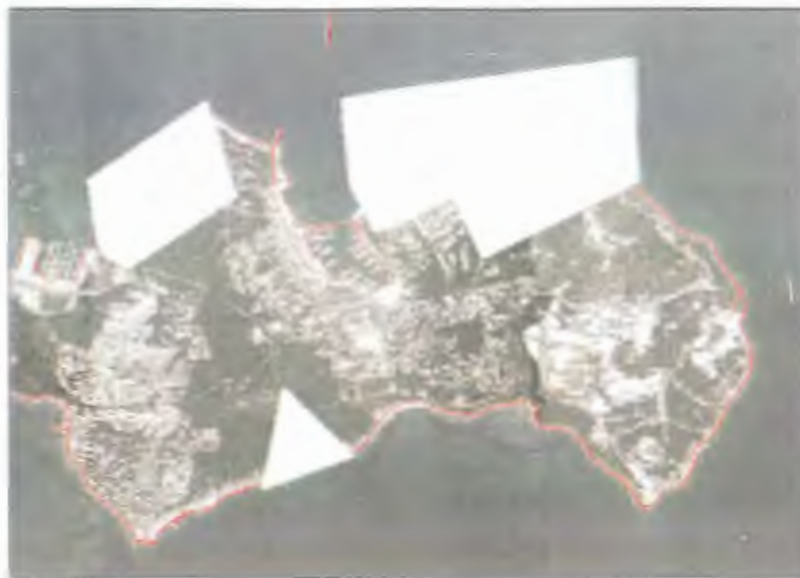


Figure 24 : Caviardage de zones militaires sur la presqu'île de Saint-Mandrier

La question de remplacer les portions du littoral masquées par des segments issus d'autres référentiels a été soulevée.

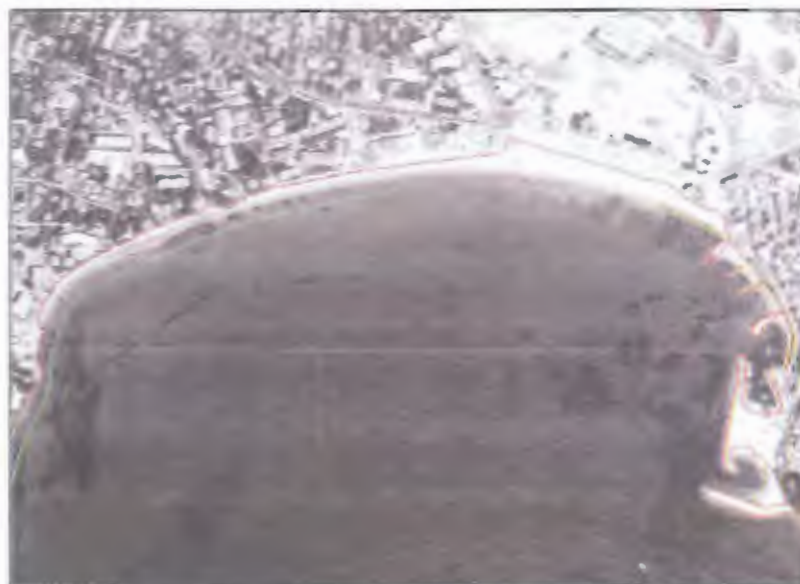


Figure 25 : Différences de précision des référentiels

Sur la figure 25, le trait rouge est celui développée pour cette étude, le vert est issu de la BD Carto®, le turquoise est le produit de la digitalisation du SCAN25® et le jaune est celui utilisé pour l'étude des biocénoses de la rade de Toulon (IFREMER / GIS Posidonie, 2001). Le trait de côte de référence du

programme EUROCOAST, celui de l'étude de l'Agence de l'Eau / Université Aix-Marseille ont également été des éléments de comparaison. Toutefois, aucune source de données n'a pu être retenue car les référentiels utilisés pour le comparatif, compte tenu de leur précision, ne peuvent être compatibles avec la problématique de suivi du trait de côte.

Pour répondre à l'ensemble des questions posées pour la définition du trait de côte, la méthode de restitution sélective n'a donc pu être retenue. Cette méthode, qui est à l'origine du trait de côte livré avec la BD Topo® de l'IGN est tout à fait convenable pour symboliser la ligne de contact entre la terre et la mer mais pas le trait de côte tel que nous l'entendons dans la présente étude.

Il a donc fallu numériser ce trait de côte de référence à la main afin de respecter au mieux les consignes décrites dans ce chapitre.

Si ce trait de côte sert de référent pour le suivi du littoral varois, il est impératif que la saisie des prochains traits de côte (cf. BD Ortho® 2003) soit en cohérence avec les critères retenus pour la saisie de celui-ci, et corresponde à la définition donnée dans la présente étude. Sans quoi, l'utilisateur s'expose à comparer des données qui ne peuvent pas l'être.

2.3.3.4 La mise en évidence de secteurs sensibles

La comparaison des traits de côtes sur le SIG conjuguée à la synthèse bibliographique effectuée par le sédimentologue, va permettre de mettre en évidence les secteurs sensibles du littoral varois.

L'expression « secteurs sensibles » désigne des portions du littoral soit en situation d'érosion ou d'accrétion. L'accent est mis particulièrement sur les zones sableuses, et pour définir la sensibilité des sites, deux critères sont pris en compte :

- l'observation du trait de côte au sens de la définition utilisée pour cette étude ;
- l'observation des variations des stocks sableux sur ces zones.

Les variations du trait de côte

L'observation des variations du trait de côte va permettre de mettre en relief les zones réellement menacées par le phénomène d'érosion. C'est-à-dire les zones dont le trait de côte est en recul.

Ce recul est un des risques littoraux définis précisément dans les PPRL :

- « Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. C'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, combinée parfois à des actions continentales. [...] Le recul du trait de côte doit être pris en considération dès qu'il est significatif à l'échelle de l'homme. »

- La notion d'érosion du trait de côte induit donc l'idée de la protection des biens et des personnes.

L'observation de ce trait de côte va permettre également de mettre en évidence des zones d'accrétion engendrant éventuellement une avancée du trait de côte.

Les zones d'accumulation de sédiments sont particulièrement visibles aux abords de grandes infrastructures portuaires ou de protection. Dans certains cas, cette accumulation a conforté, au fur et à mesure des années, une stabilisation du stock sableux en haut de plage et a favorisé l'anthropisation de cette zone (constructions, promenade, parking, aménagements paysagers...). Ceci a donc pu contribuer à l'avancée du trait de côte.

Les zones d'accumulation sont aussi visibles (à une moindre échelle) au niveau des pieds de dunes. Dans ce cas, l'accumulation peut servir à protéger le massif dunaire lors des tempêtes hivernales (plage de Saint-Aygulf par exemple) et faire l'objet d'un aménagement (casiers à ganivelles et plantations) qui servira à consolider le massif. Si l'aménagement résiste aux tempêtes, et qu'une accumulation se développe en son pied, il peut contribuer aussi à l'avancée du trait de côte.

Dans le cas du littoral varois, l'accrétion ne s'apparente pas vraiment avec le phénomène d'avancée dunaire (qui constitue, elle aussi, un des risques majeurs littoraux) qui peut être caractérisé par la progression d'un front de dune vers l'intérieur des terres. Ici, il s'agit plutôt d'accumulations de sédiments sableux issues du transport éolien, de la modification physique de la frange littorale générant de nouveaux obstacles pour le transit littoral mais aussi du rechargement de plage.

L'avancée du trait de côte peut être aussi le résultat de l'anthropisation de la plage.

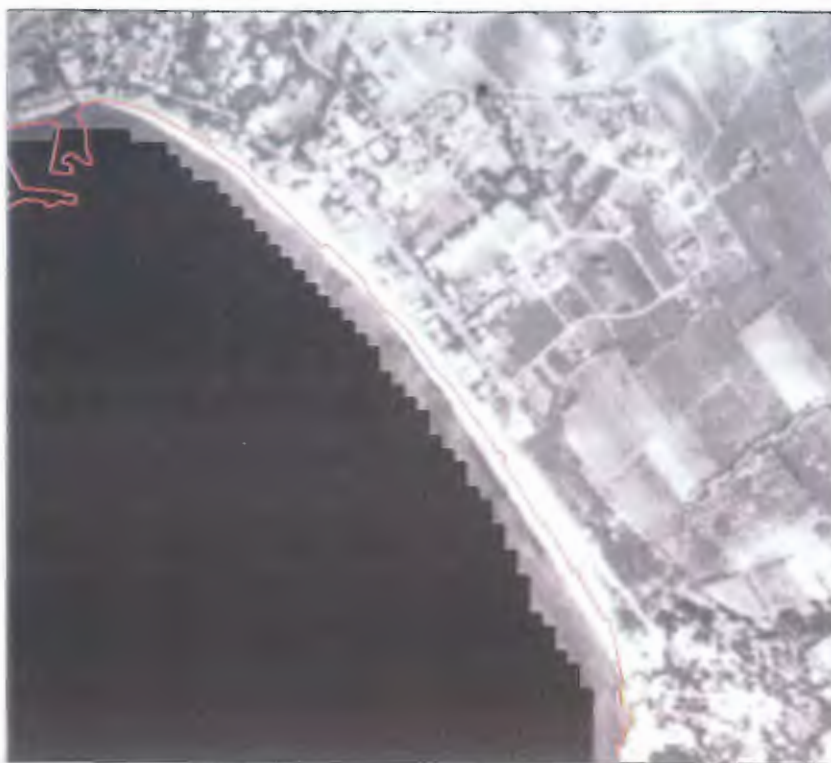


Figure 26 : Exemple d'avancée du trait de côte (Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer)

L'exemple de la plage des Lecques à Saint-Cyr-sur-Mer est intéressant, car la comparaison entre le trait de côte de 1950 (en vert) et le trait de côte de 1998 (en rouge) montre une avancée, qui est due principalement à l'aménagement du haut de plage (remblai, route littorale, promenade...).

Les variations des stocks sableux sur la plage sèche

Les stocks sableux sont ici définis comme étant l'étendu de la plage sèche.

Les variations des stocks sableux sont à considérer différemment. En effet, elles ont un caractère d'abord de saisonnalité (cf. figure 17). Ces variations peuvent être perpendiculaires au trait de côte (mouvements dans le profil) ou suivre une évolution parallèle à celui-ci (transit littoral). Toutefois, amalgamer ces variations au phénomène d'érosion du trait de côte est discutable car elles entraînent davantage un déplacement temporaire des stocks qu'une perte totale des matériaux.

En situation hivernale de mouvement dans le profil par exemple, une partie du stock de sable constituant la plage est -par l'action des vagues de tempête- déplacée vers les petits fonds et s'accumulent sous la forme de barres immergées. Entre l'hiver et l'été, la plage est progressivement engraisée par les houles de beau temps et retrouve un profil souvent similaire d'une année sur l'autre (sauf événement climatique particulier). Cette situation peut donc être apparentée à un cycle de démaigrissement et d'engraissement de plage.

Le transit littoral, quant à lui, correspond au transport de matériaux sableux, qui remis en suspension par les houles sont véhiculés par les courants parallèles au littoral véhiculés par ces dernières. Ce transport s'effectue entre la zone de déferlement et la côte.

La direction résultante et l'importance du transit littoral dépendent principalement de la hauteur, de la période, de la direction de la houle et de son incidence à la côte.



Figure 27 : Comparaison entre le trait de côte et la ligne de contact mer / terre

En reprenant l'exemple de la plage des Lecques de Saint-Cyr-sur-Mer, si l'on compare le trait de côte de référence (1998, en rouge) à la ligne de contact mer / terre de 1950(en bleu), on s'aperçoit effectivement qu'il y a un recul du trait de côte. Or, cela est faux, il est donc important que les différents traits de côte s'alignent sur les mêmes principes de digitalisation.

Par contre, il est intéressant de comparer les limites entre la terre et la mer (bleue pour 1950 et orangé pour 1998) puisqu'elles symbolisent les variations du stock sableux et permettent d'évaluer les impacts des éléments structurants sur l'évolution de la largeur de plage par exemple. Sur la photographie, le secteur situé directement à l'est du port des Lecques est en accrétion. L'influence de cet aménagement sur la plage est donc visible voire quantifiable approximativement.

Les variations du trait de côte et les variations de la ligne de contact mer / terre sont donc deux choses distinctes qui seront traitées différemment dans cette étude.

2.3.3.5 La constitution d'une base de données sur le suivi du littoral varois

Plus qu'une base de données sur l'érosion littorale, l'outil proposé constitue avant tout, une base de données synthétique sur le littoral.

Principes de la base de données

La base de données renseigne les secteurs du trait de côte qui demandent à être suivis.

Chacun de ces secteurs est représenté par une polyligne distincte dans le SIG. Le principe est donc le suivant :

Chaque polyligne (objet géographique) est renseignée par une somme d'informations que l'on appelle les données attributaires (longueur de plage, toponyme, gestionnaire, orientation...). L'ensemble de ces données attributaires forme la base de données.

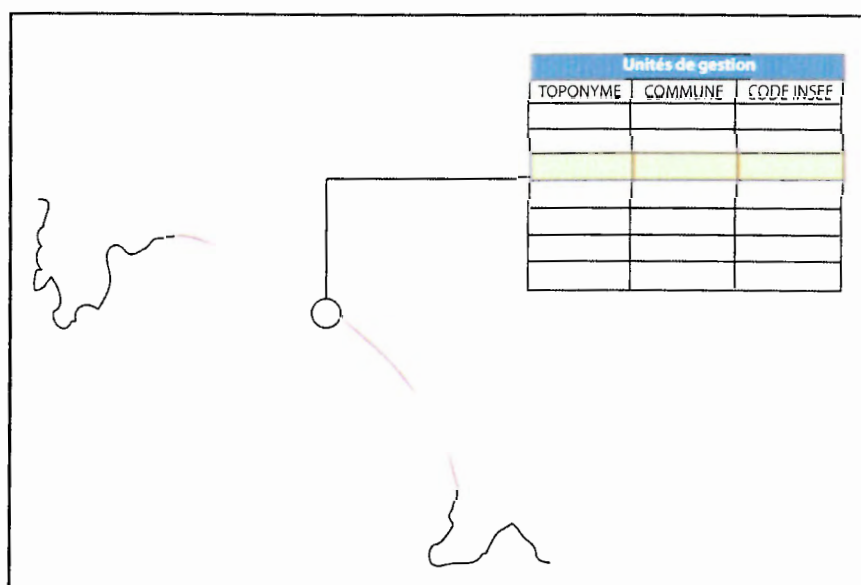


Figure 28 : Organisation de la donnée spatiale et attributaire

Définition des secteurs à renseigner

Les secteurs à renseigner représentent exclusivement des zones sableuses, car ce sont -à priori- les zones les plus vulnérables au phénomène d'érosion côtière dans le Var.

Ces zones sableuses constituent également les secteurs pour lesquels le Conseil général est invité à donner un avis technique aux communes lorsque celles-ci le demandent. Si des aménagements doivent y avoir lieu, le Conseil général est également sollicité pour subventionner une partie des études et des travaux connexes. La zone sableuse prend donc une certaine dimension et peut être qualifiée d'unité de gestion.

Afin de gagner en lisibilité dans la gestion et le suivi du trait de côte, les différentes zones sableuses ont donc été découpées en unités de gestion, qui correspondent aux plages.

Ce choix a été opté parce que la plage est un segment de littoral clairement identifié. Elle a un toponyme, des limites connues, les gestionnaires sont, eux aussi, connus tout comme son appartenance à telle ou telle commune.

La plage est donc le segment côtier de référence.

Le contenu de la base de données

La structuration de la base de données est probablement l'aspect le plus important de cette étude. En effet, c'est la pertinence des choix dans les champs que l'on va décider de renseigner qui va faire de la base de données finale un outil d'aide à la décision ou non.

■ *Quelles sont les questions posées par la DEER ?*

La première étape est de recenser les besoins de l'utilisateur final.

La démarche a donc consisté à prendre en compte les questions posées par les techniciens de la DEER lors de la gestion des demandes de subvention de la part des communes.

Les questions sont aussi nombreuses que différentes, aussi il a fallu retenir les plus importantes dont voici quelques exemples :

- Où se trouve la zone à aménager ?
- Quelles sont les caractéristiques physiques du site ?
- Quel est le contexte hydrosédimentaire ?
- Y a-t-il des aménagements spécifiques sur la zone ?
- Le Conseil général a-t-il déjà participé au financement d'aménagement sur ce site ?
- Qui est l'interlocuteur privilégié sur la zone ?
- Comment mesurer les désordres subis ?
- Le site a-t-il une importance économique, paysagère ou naturelle majeure ?
- Les désordres mettent-ils en danger la sécurité des biens et des personnes ?
- Pourquoi aménager le site ?
- Existe-t-il un suivi du site ? Si oui, de quel type ?
- Le site est-il protégé ou reconnu sensible ?



IL est à noter que certaines questions et interrogations relèvent d'une gestion politique des sites. L'appréciation des enjeux socio-économiques locaux influence certainement les gestions possibles.

- **Des thèmes aux tables, quelques règles à suivre**

Ces thèmes ont été ensuite traduits en différentes tables de données, en considérant que l'ensemble des tables créées formeront la base de données finale.

Les différentes tables de données ont donc été élaborées dans l'optique de pouvoir répondre à toutes les questions posées par les techniciens de la DEER.

Avant de formaliser ces tables, il faut respecter quelques règles de bases :

- Affecter à chaque enregistrement un code d'identification unique. Ce code permet d'individualiser chaque plage afin de ne pas être confondue et de parer aux éventuelles erreurs de saisie des toponymes des sites, noms des communes...

Pour les besoins de l'étude, la codification des sites s'est basée sur le toponyme des communes et le nombre de plages recensé sur le territoire communal.

LE LAVANDOU		
D'ouest en est, 9 plages sont recensées au Lavandou		
Plage du Lavandou	>	site LAV01
Plage de Saint-Clair	>	site LAV02
Plage de la Fossette	>	site LAV03
Plage d'Aiguebelle	>	site LAV04
Plage de Jean Blanc	>	site LAV05
Plage du Layet	>	site LAV06
Plage de Cavalière	>	site LAV07
Plage du Cap Nègre	>	site LAV08
Plage de Pramouquier	>	site LAV09

Figure 29 : Principes de la codification des sites

Il peut arriver qu'un site s'étende sur deux ou plusieurs communes. Dans ce cas, le site est décomposé en deux ou plusieurs polygones. Le cas de la plage du Pramouquier illustre bien cet exemple puisqu'elle est divisée en deux parties par la limite communale séparant Le Lavandou du Rayol-Canadel-sur-Mer. Au segment appartenant au Lavandou sera affecté le code LAV09, et au segment faisant partie de la commune du Rayol-Canadel-sur-Mer sera affecté le code RAY01.

Cette distinction est nécessaire, notamment dans le cas où l'utilisateur doit identifier l'interlocuteur privilégié.

- Afin de lier la base de données de suivi du littoral varois à d'autres bases de données existantes (Base CORINTHE sur les risques majeurs ou BD CARTO® par exemple), il est souhaitable de coupler les champs de type NOM DE COMMUNE au champs CODE INSEE car encore une fois, cela permet d'individualiser chaque commune afin d'éviter les confusions possibles (erreur d'orthographe dans le nom de la commune, prise en compte du trait d'union dans le toponyme de la commune, place de l'article des toponymes, incompatibilité entre des enregistrements saisis en capitales et d'autres en minuscules...).

Le littoral varois est partagé entre 27 communes. Toutefois, pour cette étude, la commune d'Ollioules n'a pas été prise en compte car sa façade littorale d'environ 250 mètres linéaires est constituée essentiellement de quais et se fond dans l'ensemble industrialo-portuaire de la Petite Rade de Toulon. Les 26 autres communes ont donc fait l'objet d'une codification.

N° d'ouest en est	Nom de la Commune	Code Commune	Code Insee
1	Saint-Cyr-sur-Mer	SCY	83112
2	Bandol	BAN	83009
3	Sanary-sur-Mer	SAN	83123
4	Six-Fours-les-Plages	SIX	83129
5	La Seyne-sur-Mer	SEY	83126
6	Saint-Mandrier-sur-Mer	MAN	83153
7	Toulon	TOU	83137
8	La Garde	GAR	83062
9	Le Pradet	PRA	83098
10	Carqueiranne	CAR	83034
11	Hyères	HYE	83069
12	La Londe-les-Maures	LON	83071
13	Bormes-les-Mimosas	BOR	83019
14	Le Lavandou	LAV	83070
15	Rayol-Canadel-sur-Mer	RAY	83152
16	Cavalaire-sur-Mer	CAV	83036
17	La Croix-Valmer	CRO	83048
18	Ramatuelle	RAM	83101
19	Saint-Tropez	TRO	83119
20	Gassin	GAS	83065
21	Cogolin	COG	83042
22	Grimaud	GRI	83068
23	Sainte-Maxime	MAX	83115
24	Roquebrune-sur-Argens	ROQ	83107
25	Fréjus	FRE	83061
26	Saint-Raphaël	RAP	83118

Tableau 2 : Codification des communes

Une fois que chaque segment côtier est clairement identifié et individualisé, l'étape suivante consiste à le renseigner avec un certain nombre d'informations. A ce niveau, la première précaution à prendre est de s'assurer que chaque thème retenu est renseignable, ceci pour éviter les « branches mortes », c'est-à-dire les champs qui ne pourront pas ou très difficilement être renseignés (par manque, inexistence ou inaccessibilité de la donnée par exemple).

La seconde précaution est de prévoir des liens logiques entre les différentes tables à créer, de façon à garder une cohérence entre les données entrées dans la base de données et la problématique principale. Le but étant que la base de données réponde à des questions précises en relation avec la problématique de suivi du trait de côte.

La dernière précaution est de s'assurer que cette base de données sera mise à jour régulièrement, ce point sera développé ultérieurement.

• *Les différents thèmes retenus intégrés à la base de données*

Table d'identification des sites

- Code du site
- Toponyme du site
- Nom de la commune
- Code INSEE de la commune
- Groupement de communes
- Gestionnaire
- Concessionnaire(s)
- Interlocuteur (coordonnées complètes)

Table des caractéristiques physiques des sites

- Code du site
- Toponyme du site
- Longueur du linéaire
- Type de substrat (falaise, platier, plage de sable...)
- Nature du segment (naturel, artificiel)
- Orientation du site
- Caractéristiques topographiques
- Caractéristiques bathymétriques

Table des contextes sédimentologiques des sites

- Code du site
- Toponyme du site
- Cellule hydrosédimentaire
- Orientation des vents
- Impacts du transport éolien
- Orientation du clapot
- Impacts du clapot
- Orientation de la houle
- Impacts de la houle
- Orientation des courants
- Impacts des courants
- Direction du transit littoral
- Impacts du transit littoral
- Présence d'obstacles (ouvrages portuaires, éperons rocheux...)
- Impacts de l'obstacle

- Apports fluviaux (oui/non)
- Origine des apports fluviaux
- Impacts des apports fluviaux
- Apports pluviaux (oui/non)
- Origine des apports pluviaux
- Impact des apports pluviaux
- Bilan sédimentaire (accrétion, stabilisation, érosion)

Table des aménagements et du suivi

- Code du site
- Toponyme du site
- Aménagements réalisés
- Année
- Maître d'ouvrage
- Maître d'œuvre
- Montant réel des travaux par opération
- Montant réel du subventionnement par le Conseil général
- N° de délibération du Conseil général
- Date de la délibération
- Procédure réglementaire
- Organismes de subventionnement
- Etude disponible (oui/non)
- Localisation de l'étude
- Etat des aménagements en place
- Aménagement à prévoir
- Fréquence des travaux
- Type de suivi mis en œuvre
- Fréquence du suivi
- Date de la dernière campagne de suivi

Table prenant en compte les aspects socio-économiques

- Code du site
- Toponyme du site
- Zone touristique (oui/non)
- Importance de la fréquentation (forte, moyenne, faible)
- Type de la fréquentation (baignade, pêche, plongée)
- Activités économiques (campings, installations fixes d'hôtellerie restauration...)

- Présence de biens (habitations, éléments de patrimoine bâti...)
- Valeur paysagère (forte, moyenne, faible)
- Sentier littoral (oui/non)

Table associant les aspects de qualité et de protection du milieu

- **Code du site**
- **Toponyme du site**
- Référence Masse d'eau
- Protection patrimoniale (oui/non)
- Type de protection (ZNIEFF, Natura 2000...)
- Suivi de la qualité des eaux de baignades par la DASS (oui/non)
- Suivi des posidonies - RSP (oui/non)
- Labellisation Pavillon bleu (oui/non)

Table réunissant les éléments de gestion du risque

- **Code du site**
- **Toponyme du site**
- Type de risque (recul du trait de côte, éboulement de falaise, submersion marine...)
- Type d'enjeu (humain, économique, patrimonial, naturel, pas d'enjeu)
- Description du risque
- Avancement du Dossier Communal synthétique
- Plan de prévention des risques (oui/non)
- Arrêté de catastrophe naturelle (oui/non)
- Date de l'arrêté

Ce seront donc ces 7 tables, représentant 72 champs à renseigner qui constitueront la base de données de suivi du littoral. L'ensemble de ces informations répond -à priori- aux questions posées par la DEER, toutefois certains champs libres seront inclus dans la base de données, de façon à pouvoir ajouter des critères ultérieurement.

Les contraintes imposées

La réalisation du système est marquée par quelques obstacles d'ordre organisationnels. En effet, les couches d'informations géographiques ne seront consultables par les techniciens de la DEER qu'à travers une visionneuse ou viewer (type Arc Explorer). Ces outils offrent diverses fonctionnalités d'affichage de données, de création et d'impression de cartes, mais en revanche, ils ne permettent pas de mettre à jour

les données. Compte tenu de la nécessité pour la base de données d'être mise à jour régulièrement, il a fallu réfléchir à un système respectant cette principale contrainte.

Les objectifs de la base de données ont donc été les suivants :

- Permettre à un utilisateur non initié aux SIG de consulter la base de données indépendamment du logiciel de SIG.
- Laisser des entrées possibles dans la base de données afin d'en faire un système ouvert.

2.4 LA VALIDATION TERRAIN

Les visites terrain ont été ciblées sur les 14 secteurs témoins qualifiés de sensibles par le Conseil général du Var. Elles avaient pour objectif de permettre au sédimentologue d'enrichir ses connaissances préalablement acquises par la bibliographie et la cartographie des sites, et de recenser l'ensemble des éléments environnants des 14 sites comme :

- le type de faciès littoral,
- la nature du segment,
- le profil de plage,
- l'état général de la plage,
- les aménagements de haut de plage,
- les ouvrages de protection présents sur le site et leur état,
- la localisation des principaux exutoires,
- la présence d'activités économiques,
- le caractère touristique de la zone,
- la valeur paysagère du site...

Les observations et remarques ont été consignées sur un carnet de terrain dont les fiches analytiques sont restituées par site dans le présent rapport en annexe

L'ensemble des critères d'observation est étroitement lié avec les différents thèmes développés dans la base de données. Il y a donc une cohérence complète dans cette démarche de visites de sites. La validation terrain a également permis d'identifier plusieurs agents d'érosion et de désordre au niveau de plusieurs ouvrages, mais aussi de nuancer certaines craintes par rapport au phénomène érosif sur le littoral et de requalifier parfois la sensibilité de certains sites sensibles. Les visites terrain se sont déroulées du 31 mars au 2 avril 2004.

2.4.1.1 Plage d'Agay / Saint-Raphaël

PARAMETRE	OBSERVATION	ÉTAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 010 m (de la rivière à la zone rocheuse)	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Zone limitée à l'ouest par un enrochement (rivière d'Agay). Secteur rocheux à l'est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Variation granulométrique importante sur l'ensemble du linéaire (sable fins à très grossier). Il semble exister un tri granulométrique témoin de forte énergie et ainsi mouvements dans le profil important (influence de la houle sur la plage)	
ARRIVEE DE PLUVIAL	3	Bon
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	Matériaux fins provenant de la rivière	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Route et urbanisation importante	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Plage orientée Sud et baie fermée.	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Accumulation forte en haut d'estran liée au profil d'hiver de la plage. La partie Est présente cependant une plus faible accumulation	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Système Ecoplage® installé en 2001.	
OUVRAGES EN PLACE	Blocs en enrochement faisant office d'épis. Blocs en enrochement dans la partie Est	Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Profil topographiques à réaliser perpendiculairement à la plage sur l'emprise de l'installation Ecoplage® afin de caractériser le bon fonctionnement de l'ouvrage (accumulation de sédiments en haut d'estran)	
CONCLUSION	Pas de phénomènes d'érosion notable sur l'ensemble de la plage. Les mouvements dans le profil semblent important et peuvent modifier la dynamique de la plage (engraissement -érosion) à l'échelle saisonnière. Vérifier l'efficacité de l'ouvrage Ecoplage®	

2.4.1.2 Plage du Débarquement / Saint-Raphaël

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 000 m (de la zone rocheuse au port du Dramont)	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheuse	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Plage à galets	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Boisée et urbanisation faible	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Sud	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Bonne stabilité du cordon de galet. Erosion localisée en haut de falaise par des phénomènes de ravinements. Effet notable sur le recul du trait de côte	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	-	
OUVRAGES EN PLACE	-	
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Limitier les phénomènes de ravinement par collecte des eaux pluviales	
CONCLUSION	Cette plage de galet à bénéficier d'apports extérieurs (carrière)	

2.4.1.3 Plage de Saint-Aygulf / Fréjus

PARAMETRE	OBSERVATION	ÉTAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	2 120 m (du port de St Aygulf à l'embouchure de du Reyran	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Limitée à l'Est par embouchure sableuse du Reyran et à l'ouest par les enrochements du port	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sable moyen à fin	
ARRIVEE DE PLUVIAL	.	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	Apports considérables provenant de la rivière. Volume de sédiments à prendre en compte dans le transit sédimentaire global	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Etangs et zones humides	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	est sud-est. Zone sous influence de la dérive littorale.	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Secteur dunaire : mauvaise protection du haut de dunes à l'est de la plage. Secteur plage : bonne interception de sédiments sur l'ensemble de la plage (création de tombolos en arrière des brises lames	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Ganivelles en haut d'estran	Mauvais
OUVRAGES EN PLACE	Brise lame en enrochement. Enrochement en haut de plage présente localement une déstabilisation des blocs par ravinement	Moyen
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Vérifier la stabilité des blocs en enrochements sur le court terme.	
CONCLUSION	Bonne stabilité de plage et matériel en accumulation à l'arrière des brises lames (bonne interception sédimentaire). Un reprofilage du cordon dunaire est à réaliser par mise en place de casiers de ganivelles et revégétalisation afin de rehausser le pied de dune.	

2.4.1.4 Plage de la Garonnette / Sainte-Maxime

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	700 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheuse à l'ouest et limité par le port à l'est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sable moyen / plage étroite	
ARRIVEE DE PLUVIAL	1	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	route	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Sud Est	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Bonne Accumulation en haut d'estran	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	-	
OUVRAGES EN PLACE	Epis (exutoire Garonnette) Mur routier	Bon mais trous importants
TYPE DE SUIVI A PRECONISER		
CONCLUSION	Pas de problèmes majeurs au moment de la visite	

2.4.1.5 Plage de la Croisette / Sainte-Maxime

PARAMETRE	OBSERVATION	ÉTAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 000	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheux à l'ouest	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Très variable : Sables moyens à petits galets	
ARRIVEE DE PLUVIAL	oui	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	route	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Est - SE	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Accumulation importante en haut d'estran et contre l'épis Ouest	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Enrochement total	
OUVRAGES EN PLACE	Epis en enrochement	Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Vérifier le bon état des épis qui assurent l'interception de sédiments Vérifier la stabilité de l'enrochement	
CONCLUSION	La forte variété granulométrique laisse supposer un apport conséquent de matériaux dans les petits fonds issus de la dérive littorale	

2.4.1.6 Plage de Pampelonne / Ramatuelle

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	4 220 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Plage située entre 2 pointes rocheuses	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sables moyens	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Massif dunaire et urbanisation	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Est	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	La plage ne présente pas de phénomènes d'érosion notable Lors de la visite, la plage présentait un profil d'hiver (crête de berme en bas de plage et forte accumulation en haut de plage) Largeur de plage importante	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Ganivelles en haut d'estran	
OUVRAGES EN PLACE		Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Profils topographiques pour suivre l'évolution morphologique du massif dunaire	
CONCLUSION	La restauration et le reprofilage du cordon dunaire sont importants afin de conforter le haut de plage. Une revégétalisation est également nécessaire.	



- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.6 Plage de la Favière / Bormes-les-Mimosas

PARAMETRE ETUDE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Pas de photo de 1950	- Avancée liée aux aménagements (devant les tennis) de 22 m environ - Pas de comparaison possible dans la partie sud car pas de cliché en 1970.	
OUVRAGES			
LARGEUR DE PLAGE SECHE		Sud du port: gain de 10 à 50m	
HERBIER DE POSIDONIE			
Solutions d'aménagements potentielles		- Protection du haut de plage: ganivelles et végétation - Aménagements des accès - Rétention du sable (éolien) par des géotextile pour piéger le sable en haut de plage	
Mesures complémentaires envisageables		Suivi topographique	
BILAN DE LA PLAGE		<i>Pas d'éléments de comparaison mais le massif dunaire est menacé</i>	

2.4.1.7 Plage de Cavalaire / Cavalaire

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	3 140 m (depuis le port de Cavalaire jusqu'à la zone rocheuse au NE)	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Pointe rocheuse à l'Est (pointe de la bouillabaisse)	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sable moyens	
ARRIVEE DE PLUVIAL	oui	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	Dans la partie Est de la plage, on note un débouché de rivière créant une retenue d'eau stagnante en milieu de plage. L'écoulement est canalisé qui crée une érosion locale de ce chenal	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Massif dunaire et bois en partie Est et urbanisation en partie ouest	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Exposition sud ouest	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Crêtes de berme bien visible (plage en accumulation) et structures parallèles à la côte témoignant d'un mouvement dans le profil important	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Enrochement au niveau de la sortie de rivière	
OUVRAGES EN PLACE	Warf en bois et 3 épis en partie ouest	Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Suivi de l'accumulation en haut de plage	
CONCLUSION	Nous avons noté une bonne interception sédimentaire sur l'ensemble de la plage et surtout sur le côté Est des épis supposant une dérive littorale Est-Ouest. Le haut d'estran présente également un bon piégeage de sable par la végétation (griffes de sorcières)	

2.4.1.8 Plage du Lavandou / Le Lavandou

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 560 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Limité par les ports de Bormes et du Lavandou	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sables hétérogène (fins à grossier) et galets	
ARRIVEE DE PLUVIAL	oui	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	urbanisé	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Est	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Partie ouest : érosion marquée en haut de plage avec effondrement de blocs + installation sur pilotis menacée Partie centrale : forte accumulation en haut d'estran - blocs en désordre en sortie d'exutoire Partie Est : accumulation en haut de plage contre le mur de protection; la déflation éolienne semble active	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Aménagements sur pilotis pour chemin de promenade (installation menacée)	menacé
OUVRAGES EN PLACE	Epis en partie centrale	Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Maîtriser la stabilité des blocs	
CONCLUSION	Problème de protection du haut de plage causé par du ravinement des eaux de surface	

2.4.1.9 Plage de la Favière / Bormes-les-Mimosas

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	760 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheux à l'ouest et portuaire à l'Est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sables moyens	
ARRIVEE DE PLUVIAL	.	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	Arrivée de rivière limitée par un enrochement	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Dunaire et urbanisation (camping)	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	sud	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Forte largeur de plage (bonne accumulation)	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Protection par ganivelles en haut d'estran (partie Est) Enrochement pour la protection du sentier	bon
OUVRAGES EN PLACE	Brise lame en petit fond avec création d'un tombolo à l'arrière (zone abritée pour la baignade)	Bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Gestion des accès à la plage et développer les protections de haut de plage	
CONCLUSION	Pas de problème majeur hormis les protections de haut de plage	

2.4.1.10 Hyères Plage / Hyères

SITE ETUDIE : Plage Hyères

JOURNEE DU : 01/04/04

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 450 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Limité par enrochements portuaires à l'Est et à l'Ouest	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sables moyens à grossiers	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	Boisée et urbanisée	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Est	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Partie nord (port de Hyères) : Accumulation de sédiment en pied de digue - érosion par contournement de l'épis Partie centrale : affouillement en pied de mur - accumulation de galets en haut d'estran Partie sud : protection du haut de plage (secteur forestier) par des ganivelles, l'ensemble étant en bon état	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Ganivelles en haut de plage	Très bon
OUVRAGES EN PLACE	Mur de haut de plage	
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Vérifier le sapement du pied de mur	
CONCLUSION	Erosion localisée et peu d'inquiétude Bonne protection du haut de plage	

2.4.1.11 Plage des Sablettes / La Seyne-sur-Mer

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 220 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheux à l'ouest et portuaire à l'Est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sable fin	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	urbanisée	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	sud	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Pas de processus d'érosion marqué sauf du côté de Mar Vivo	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	-	Brise houle dégradé (chute des blocs supérieurs)
OUVRAGES EN PLACE	Brise houle (Mar vivo) construit en 1989-90. Epis devant école de voile (bonne interception contre l'épis)	
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Développer les protections de haut de plage (ganivelles) et maintenir en état les accès à la plage	
CONCLUSION	Pas d'affouillement en pied d'ouvrage dans la partie centrale de la plage Erosion (perte de plage sèche) du côté de Mar vivo	

2.4.1.12 Plage de Bonne Grâce / Six-Fours-les-Plages

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	1 270 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Portuaire aux 2 extrémités	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sable grossier	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	route	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	sud	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Partie ouest : bonne accumulation	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	Sentier de haut de plage Aménagement bois en haut de plage	bon
OUVRAGES EN PLACE	Epis (4) formant des alvéoles Murs, enrochements	bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER		
CONCLUSION	<i>Crête de berme bien marquée : plage en accumulation Pas d'érosion notifiée Echange constant et saisonnier entre la plage et les fonds (zone de s-3m). La fuite définitive des matériaux vers l'extérieur de la baie ne peut donc se faire que par des chenaux ménagés entre les mattes et durant des fortes conditions de mer.</i>	

2.4.1.13 Plage du Lido / Sanary-sur-Mer

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDIE	880 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheux à l'Est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Sableux à l'est du poste de secours	
ARRIVEE DE PLUVIAL	1	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	route	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Sud ouest	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Accumulation de galets contre l'enrochement : forte énergie et transport important	
AMENAGEMENTS EXISTANTS		
OUVRAGES EN PLACE	Digue de protection avec quelques marques de sapement en pied d'ouvrage	bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	Vérifier les effets de sape en pied de digue (lors d'épisodes de tempêtes par exemple)	
CONCLUSION	<i>Trait de côte fixé (digue et enrochement) : pied d'ouvrage à surveiller</i> <i>Sortie de sentier (tunnel) : blocs à enlever</i>	

2.4.1.14 Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer

PARAMETRE	OBSERVATION	ETAT
ETENDUE DU LINEAIRE ETUDE	1 260 m	
TYPE DE COTE ADJACENTE	Rocheux à l'est	
CARACTERISTIQUE SEDIMENTOLOGIQUE DE LA PLAGE	Galets +sables hétérogènes + blocs	
ARRIVEE DE PLUVIAL	-	
APPORTS TERRIGENES / FLUVIAUX	-	
CARACTERISTIQUE DE L'ARRIERE-PLAGE	urbanisée	
EXPOSITION AUX AGENTS HYDRODYNAMIQUES	Sud ouest	
CONSTAT ACTUEL : ACCUMULATION/EROSION	Mouvements dans le profil important (présence de galets Accumulation importante en haut de plage en fond de baie (côté port) Transport éolien notable	
AMENAGEMENTS EXISTANTS	-	
OUVRAGES EN PLACE	Enrochement en bas de plage (objectif ?)	bon
TYPE DE SUIVI A PRECONISER	-	
CONCLUSION	Plage ayant subi des rechargements (sable +galets en 2002) Bonne accumulation en haut de plage	

2.5 LE DEVELOPPEMENT D'UNE APPLICATION INTERACTIVE : LA BASE DE DONNEES DE SUIVI LITTORAL SOUS ACCESS

2.5.1 Principes du système

Pour respecter les contraintes précitées, le recours à un mode de consultation des données autre que la visionneuse cartographique a été utilisé. Le principe étant relativement simple.

Les données alphanumériques rapportées aux objets cartographiques ne pouvant être mises à jour directement via le logiciel de consultation des données, il est indispensable de développer la base de données avec un logiciel de tableur ou de base de données de type Excel ou Access. Ceci permet en effet aux utilisateurs finaux, qui sont aussi les personnes récoltant et synthétisant la donnée de pouvoir mettre à jour et faire évoluer de façon autonome leur outil.

Cette démarche est quelque peu en marge des méthodes classiquement usitées pour les projets géomatiques car le but final est d'arriver à créer un système transversal adoptant des principes d'universalité en limitant les contraintes organisationnelles et structurelles des services destinés à se servir de l'outil. Cependant, en accord avec le maître d'ouvrage, il a été reconnu que le système ne pourrait être utilisé que par les techniciens de la DEER, ceci pour diverses raisons : spécificité de l'application, limitation des moyens humains en géomatique, localisation des personnels...

Le système est donc composé de deux parties : la partie « données cartographiques » visualisable par Arc Explorer et la partie concernant les données alphanumériques lisibles également via Arc Explorer mais mis à jour dans une base Access.

La consultation ainsi que la mise à jour des données sous Access peut être effectuée via une petite interface graphique (formulaire), simplifiant la saisie et rendant le système plus convivial.

2.5.2 Elaboration de la base de données et des liens avec ArcView

Lors de la numérisation des plages dans Arcview, les données et champs de base sont d'abord saisis dans les tables créées puis développées sous Access.

Etant donné que la liaison entre ArcView et Access ne peut être établie via le lien ODBC, il a été choisi de remplir une base de données simplifiée liée directement aux couches vecteurs et la base de données complète sous Access. Si la base est toutefois traitée avec ArcView ultérieurement, ces liaisons pourront être développées.

Le principe de saisie des données dans Access est similaire à celui de tous les autres tableurs. Cependant, pour faciliter la recherche et la saisie des données, une petite interface graphique (formulaire Access) a été développée. Ceci rend possible la consultation de la base de manière intuitive (recherche par saisie partielle par exemple). Avec cet, de nombreuses solutions d'intégration de la données sont envisageables.

Il est en effet possible de n'obtenir qu'une partie de la base de données correspondant par exemple à une fiche synthétique. Ces renseignements seront par exemple utiles lorsqu'un personnel désire localiser un site, le visualiser rapidement et prendre contact avec l'interlocuteur privilégié.



Figure 30 : Exemple de formulaire de requête dans Access

2.6 LES LIMITES DE LA METHODE

2.6.1 Limites de la photo-interprétation

L'ensemble des aspects techniques limitant la fiabilité de la méthode a été largement décrit dans le paragraphe détaillant la digitalisation du trait de côte.

Pour résumer, les principaux facteurs limitants sont :

- l'absence d'une définition universelle du trait de côte, qui aurait pour avantage de guider la digitalisation ;
- les difficultés de calage des anciennes photographies (années 50 particulièrement), compte tenu de la mauvaise qualité des films et des conditions aléatoires de prise de vue. Cette

difficulté est amplifiée par les changements morphologiques de certaines zones dus à l'évolution de l'urbanisation, le remembrement de parcelles agricoles, la disparition des certains chemins vicinaux ou d'exploitation (voir figure ci-dessous) ;



Figure 31 : Difficultés de prises de points d'amers dues à l'évolution de l'urbanisation

- la relative imprécision et les limites de couverture du MNT de la BD Alti® ;
- la qualité restituée de la BD Ortho® de 1998 compliquant la fiabilité de la digitalisation du trait de côte ;
- le manque d'information sur les conditions de météo marine au moment des prises de vue comme l'agitation du plan d'eau par exemple (souligné par COURTAUD, 2000).

Ces facteurs limitants représentent donc autant de causes d'erreur et d'imprécision dans la digitalisation du trait de côte.

Toutefois, il faut tout de même admettre que la technique de photo-interprétation et de comparaison de photographies aériennes est aujourd'hui une des méthodes les plus utilisées dans la problématique « trait de côte ». En effet, les images aériennes livrent une somme importante d'informations sur l'évolution des

territoires et constituent en même temps la seule source de données pouvant être utile et pertinente à de nombreuses échelles.

L'idéal pour définir le trait de côte serait d'avoir une définition universelle permettant de lever précisément la limite de celui-ci avec les techniques les plus modernes de positionnement dont nous disposons actuellement (GPS, laser aéroporté...).

Ceci dit, ces campagnes de levés potentiellement réalisables peuvent paraître démesurées tant au plan technique, financier que temporel également. Ces entreprises peuvent être probablement adaptées à de très grandes échelles, mais à l'échelle d'un département ou d'une région, cela semble plus difficilement réalisable.

2.6.2 Limites de la base ACCESS

Les limites qui peuvent être attribuées sont moins d'ordre technique qu'organisationnelles.

D'une part, la limite principale de cette base de données se résume au fait que le couplage avec les données spatiales ne peut qu'être partiellement opérationnel. Comme il a été décrit précédemment, les mises à jour seront effectuées dans la base de données Access mais ne pourront être automatiquement reportées (c'est-à-dire visibles) dans Arc Explorer car cette visionneuse ne permet pas d'activer le lien ODBC entre les données géographiques et la base de données. Or c'est ce lien qui permet la coordination de l'évolution de la base de données et des tables affichées dans Arcview.

D'autre part, la base de données Access impose une certaine rigueur quant à son « entretien ». En effet, le produit livré ne contient d'informations que sur les points sensibles déterminés préalablement. Avant de penser donc à la mise à jour ou plutôt à l'actualisation des données, il faut d'abord procéder au complément d'informations sur les autres sites. C'est seulement après qu'intervient la réactualisation des données.

L'enrichissement de la base de données et sa mise à jour représentent un travail considérable qu'il est impératif de mener certes, mais aussi de jauger (tant en moyens humains qu'organisationnels). C'est de la richesse d'informations contenues que dépendent la vie et le sens même de la base de données.

Enfin, le dernier point soulignerait davantage une mise en garde qu'une limite du système.

La base de données, même si elle livre des informations synthétiques sur les différents sites faisant l'objet d'un suivi, ne doit pas se substituer à la consultation d'études plus détaillées sur les sites en question.

Il ne faut pas confondre cet outil d'aide à la décision et à la gestion des sites avec un produit préformaté « clé en main » capable de fournir des solutions d'aménagement ou de gestion en fonction des paramètres environnants du site.

Le système n'a effectivement pas été conçu pour remplacer la capacité de décision de l'utilisateur final. Il a pour vocation au contraire de renseigner celui-ci de manière synthétique, mais les décisions et avis techniques ne pourront être donnés qu'après consultation des études et connaissance des méthodes d'aménagement possibles.

La base de données a avant tout une fonction consultative, elle est destinée à faciliter l'approche des sites de la part des techniciens de la DEER, à obtenir des données rapidement, à replacer les sites dans leur contexte. Il s'agit en quelques sortes d'un super mémento sur les « plages » varoises.

2.6.3 Les limites du système : la mise à jour des données

La limite la plus incontournable est probablement celle de la mise à jour du système.

Pour assurer un réel suivi du trait de côte, il est en effet impératif d'importer chaque nouvelle donnée dans le système. L'actualisation des données étant une des composantes majeures de l'intérêt de ce système.

Cette mise à jour ne se fait pas « à la volée », il est important que l'administrateur conserve une copie de la base telle qu'elle était avant la mise à jour et complète cette base en prenant soin de bien respecter les règles de saisie et d'intégrité des données. La saisie des données dans la base est effectivement conditionnée par certaines règles qui ont été définies lors de la création de la base. Ces règles permettent entre autres de caractériser certains sites de manière identique, en choisissant par exemple la même terminologie pour définir un état de dégradation de site.

C'est pourquoi un dictionnaire des données est joint à l'étude de façon à pouvoir guider l'administrateur dans sa tâche. Ce fascicule décrit les champs de données et donne les choix possibles pour y affecter des valeurs (données de type numérique, date, choix booléen, texte, mémo, lien hypertexte...).

Il est donc important de définir dès l'intégration du système, la personne chargée d'actualiser les données et de mettre à disposition les mises à jour de la base.

Ensuite, il peut être d'ores et déjà intéressant de planifier les nouvelles numérisation du trait de côte, sachant par exemple qu'une nouvelle version de la BD Ortho® sera disponible courant 2004 (campagnes de prises de vue de 2003).

3. ANALYSE ET DESCRIPTION DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES

3.1 EVOLUTION DU TRAIT DE COTE A L'ECHELLE DEPARTEMENTALE ENTRE 1950 ET 1998

A partir des photos aériennes, l'objectif est de caractériser de façon générale, l'évolution du trait de côte pour caractériser les secteurs en érosion /stabilisation / engraissement.

L'analyse est effectuée à 2 niveaux :

- Analyse quantitative entre 1970 et 1998 basée sur le géoréférencement des clichés qui permettent de façon précise de mesurer l'évolution de la position du trait de côte.
- Analyse qualitative des clichés de 1950.

A l'échelle départementale, l'évolution du trait de cote sera identifiée comme suit :

- Caractérisation physique du secteur : rocheux, meuble, aménagé. Par définition, un secteur aménagé est un secteur où le trait de côte est "fixé" par des ouvrages (mur de soutènement, enrochement, digue).
- Mise en évidence de l'évolution du trait de cote sur par une typologie adaptée : érosion (-), stabilité (=), engraissement (+).

L'ensemble de ces informations sera synthétisé dans le SIG.

3.2 EVOLUTION DU TRAIT DE COTE SUR LES SITES SENSIBLES ENTRE 1950 ET 1998

L'analyse de l'évolution du trait de cote sur les sites sensibles sera caractérisée à partir des paramètres d'évolution suivants :

- Trait de côte (recul/avancement);
- Ouvrages (création/enlèvement);
- Largeur de plage sèche: gain ou perte;
- Solutions d'aménagements potentiels; les solutions proposées ne sont données qu'à titre indicatif. Quelque soit la solution retenue, celle-ci devra faire l'objet d'une étude spécifique (dimensionnement à partir de mesures *in situ*);
- Mesures complémentaires envisageables
- Bilan de la plage: érosion (-), stabilité (=), sédimentation (+)

3.2.1 Plage des Lecques / Saint-Cyr-sur-Mer

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation forte	- partie ouest: Avancée depuis 1970 entre 1 et 5 m sur 350 m liée aux aménagements (gain sur la mer). - partie est: pas d'évolution	
OUVRAGES	Construction du port à partir de la digue présente en 1950	- Enrochements de bas de plage ayant pour effet d'augmenter la plage sèche et de limiter la pente de la plage - Mur de soutènement	
LARGEUR DE PLAGE SECHE		- Partie ouest: gain de 20m - Partie est: gain de 3 à 10m	
HERBIER DE POSIDONIE	Peu d'évolution	Très peu présent - Peu d'évolution	-
Solutions d'aménagements potentielles		- Conforter les enrochements de bas de plage après la période hivernale, risque significatif pour la baignade - Rechargement de haut de plage	
Mesures complémentaires envisageables		Profil de plage	
BILAN DE LA PLAGE		Abaisssement de la plage en pied d'ouvrage Pas d'amortissement des houles car pas d'herbiers de posidonies	



2	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	+	DE 1 A 5 M
PLAGE SÈCHE	+	DE 1 A 20 M

1	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	=	
PLAGE SÈCHE	+	DE 1 A 10 M

-  Trait de côte 1998
-  Trait de côte 1971
-  Plage sèche 1971
-  Sens de dérive dominant
-  Direction des houles
-  Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.2 Plage du Lido / Sanary-sur-Mer

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation modérée	• Peu d'évolution sauf dans la partie ouest de la zone de Tivoli • Avancée liée aux aménagement (parking, remblai) - gain sur la mer d'environ 50m	
OUVRAGES	Construction d'épis Aménagements portuaires	• Nombreux ouvrages : murs de soutènement, épis, enrochements • Abaissement de la plage en pied d'ouvrage avec phénomène de sape	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Gain important à l'est du port	• Stabilité dans l'alvéole directement à l'est du port • Partie centrale: gain entre 2 et 5m	
HERBIER DE POSIDONIE	Peu d'évolution	• Pas d'évolution marquée	
Solutions d'aménagements potentielles		• Rechargement de haut de plage	
Mesures complémentaires envisageables		• Suivi topographique	
BILAN DE LA PLAGE		• <i>Trait de côte "fixé" par les ouvrages</i>	



- Trait de côte 1998
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.3 Plage de Bonne Grâce / Six-Fours-les-Plages

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation forte	• Avancée liée aux aménagements dans la partie ouest d'environ 15m	
OUVRAGES	Construction d'épis	• Murs et enrochements: Renforce le phénomène de réflexion des houles ce qui provoque une fuite des matériaux vers les petits fonds • Epis: bonne interception avec discontinuité de la ligne de rivage • Aménagement portuaire en cours	Efficacité limitée du point de vue de la dynamique sédimentaire
LARGEUR DE PLAGE SECHE		• Alvéole à l'est du port: gain de 40m • Devant les épis: gain de 15m • Secteur est: stabilité	
HERBIER DE POSIDONIE	Forte régression	• Assez présent mais en régression depuis 1970	Permet l'amortissement des houles malgré les chenaux de propagations qui se sont individualisés (Créocéan, 2002)
Solutions d'aménagements potentielles		• Eviter les rechargements qui n'ont peu d'effet et risque important de saturation de l'herbier pouvant entraîner sa disparition	
Mesures complémentaires envisageables		• profil de plage	
BILAN DE LA PLAGE		• <i>Trait de côte "fixé" par les ouvrages de haut de plage</i> • <i>Perte de sédiments entre les alvéoles malgré les rechargements</i>	

Six-Fours-les-Plages

Plage de Bonne Grâce

1	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	⊕	DE 1 A 80 M
PLAGE SÈCHE	⊕	DE 1 A 40 M

2	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	⊖	
PLAGE SÈCHE	⊕	DE 1 A 15 M

2	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	⊕	DE 1 A 15 M
PLAGE SÈCHE	⊖	

- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.4 Plage des Sablettes / La Seyne-sur-Mer

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Forte anthropisation au nord de Ste Elme (gain sur la mer)	- Pas de recul - Avancée du trait de cote d'environ 1 à 3 m sur l'ensemble du linéaire lié à la construction d'ouvrages (enrochement, Pérée, remblai)	- Dégradation des blocs supérieurs rendant inefficace l'ouvrage - Bonne interception de sédiments sur la partie est de l'ouvrage mais forte discontinuité de la ligne de rivage mais efficacité relative - Forte réflexion de la houle sur l'ouvrage de haut de plage entraînant la fuite de matériaux vers les petits fonds
OUVRAGES	Aménagement du port de Ste Elme	- Brise houle (Mar Vivo) construit en 89-90 - Epis (port de Ste Elme)	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Régression forte à Mar Vivo	- Partie ouest (de Mar Vivo à la station de pompage) : sur environ 400, la largeur de plage à régressée de 1 à 7 m - Partie est : (de la station de pompage au port de Ste Elme) : la largeur de plage s'est engraisée de 1 à 5 m avec un maximum à l'est de l'épis (environ 20 m)	
HERBIER DE POSIDONIE	Régression du côté de Mar vivo		
Solutions d'aménagements potentielles		- Enlèvement du brise houle - Enlèvement de l'épi - Conforter le massif dunaire et améliorer les accès à la plage	
Mesures complémentaires envisageables		Suivi topographique pour évaluer la pertinence de l'épis	
BILAN DE LA PLAGE		- Perte de plage sèche du côté de Mar Vivo - Trait de côte "fixé" par le mur de soutènement	

2	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE		DE 1 A 3 M
PLAGE SÈCHE		DE 1 A 7 M

1	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE		
PLAGE SÈCHE		DE 1 A 5 M

Forte intensité

200M

-  Trait de côte 1998
-  Trait de côte 1971
-  Plage sèche 1971
-  Sens de dérive dominant
-  Direction des houles
-  Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.5 Hyères Plage / Hyères

PARAMETRE ETUDE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Faible urbanisation	Recul important dans le secteur sud (secteur boisé) d'environ 10-12 m.	
OUVRAGES	- Construction du port - Mise en place d'épis	- Epis - Mur endigué	- Rôle limité de l'épis court - Le dernier épis ne semble pas permettre le transit littoral vers le sud - Le mur semble favoriser la perte de matériaux
LARGEUR DE PLAGES SECHES	Semble régresser	- Partie nord (jusqu'au pesquiers): perte de 5 à 10m - Partie au nord du port des salins: gain de 8-10m	Sédimentation au sud du port (Eol, 2003)
HERBIER DE POSIDONIE	Forte présence proche de la plage	Peu abondant - peu d'évolution	Semble augmenter au sud du dernier épis (devant le bois de Pesquiers)
Solutions d'aménagements potentielles		- Entretien et protection du haut de plage par des ganivelles - Favoriser la reprise de la végétation - Limiter les accès	
Mesures complémentaires envisageables		- Suivi topographique sur secteur naturel pour caractériser l'évolution - Rechargement de haut de plage (à dimensionner à partir des profils)	
BILAN DE LA PLAGES		- Trait de cote "fixe" sur les secteurs en enrochement - Recul du trait de côte aux Pesquiers	

3.2.6.1 Plage du Lavandou / Le Lavandou

PARAMETRE ETUDE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation forte: construction de route, bâti en bordure de plage	Avancée du trait de côte sur secteur aménagé d'environ 17m sinon recul de 5m au sud du port	
OUVRAGES	- Construction du port - Mise en place d'épis	Efficacité de l'épi limité	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Tendance à la régression	- Sud du port: gain de 30m - Nord du port de Bormes: perte de 40m	
HERBIER DE POSIDONIE	stable	Peu d'évolution	
Solutions d'aménagements potentielles		- Protection indispensable du haut de plage car menace d'effondrement du sentier bois sur pilotis - Inefficacité des blocs en enrochement : reprise des blocs déstabilisés ou enlèvement de l'enrochement	
Mesures complémentaires envisageables		Rechargement de haut de plage	
BILAN DE LA PLAGE		Protection du haut de plage et entretien des ouvrages (enrochements)	

Le Lavandou

Plage du Lavandou



- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.7 Plage de Cavalaire / Cavalaire

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Forte urbanisation sauf en partie centrale	• Alternance avancée / recul en fonction des secteurs aménagés ou naturels: maximum 4m	
OUVRAGES	Début d'aménagements portuaires Mise en place d'épis dans la partie sud	• Epis en enrochement rallongés et élargis à leur extrémité	Augmentation de la largeur de plage sèche entre les épis
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Semble régresser dans la partie sud	• Entre le port et le dernier épis au nord: gain entre 1 et 50m • Directement au nord de l'épis: perte de 7m • Sur le reste du linéaire: stabilité et gain de 1 à 8m	
HERBIER DE POSIDONIE	stable	• Abondant	nulle
Solutions d'aménagements potentielles		• Protection du haut de plage	
Mesures complémentaires envisageables		• Profil topographique	
BILAN DE LA PLAGE		• <i>Stabilisation</i>	



- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de la dérive dominant
- Direction des houles
- - - Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.8 Plage de Pampelonne / Ramatuelle

PARAMETRE ETUDE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation faible	• Peu d'évolution sauf dans les secteurs aménagés: avancée d'environ 20m	
OUVRAGES	-	• Pas d'ouvrages	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	stable	• Partie centrale: stabilité et gain de 1 à 5m • Partie sud: perte de 15m	
HERBIER DE POSIDONIE	régression	• Forte présence dans les petits fonds	faible
Solutions d'aménagements potentielles		• Limiter les aménagements (en dur) de plage afin d'éviter de perturber l'équilibre de la plage • Protection du massif dunaire et aménager les accès	
Mesures complémentaires envisageables		• Suivi topographique	
BILAN DE LA PLAGE		• <i>Stable malgré instabilité du haut de plage</i> • <i>Evolution morphologique du bas de plage liée aux aménagements</i>	



	TENDANCE GENERALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	+	DE 1 A 20 M
PLAGE SECHE	=	

- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.9 Plage de la Crolsette / Sainte-Maxime

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation modérée	• Avancée à l'ouest du port d'environ 15m • pas d'évolution pour le reste du linéaire	
OUVRAGES	Construction du port	• Construction d'épis au centre de la plage • Interception sédimentaire limitée au niveau des épis	Permettent une accumulation de sable modérée
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Semble régresser dans la partie sud	• Ouest du port: gain entre 5 et 35m • Partie amont du premier épis: gain de 20m • Devant épis "jardin botanique": gain de 30m	
HERBIER DE POSIDONIE	stable	• Forte présence	
Solutions d'aménagements potentielles			
Mesures complémentaires envisageables			
BILAN DE LA PLAGE		• stable	

Sainte-Maxime

Plage de la Croisette



1	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	+	DE 1 A 15 M
PLAGE SÈCHE	+	DE 1 A 35 M

2	TENDANCE GÉNÉRALE	VARIATION MOYENNE
TRAIT DE CÔTE	=	
PLAGE SÈCHE	+	DE 1 A 30 M

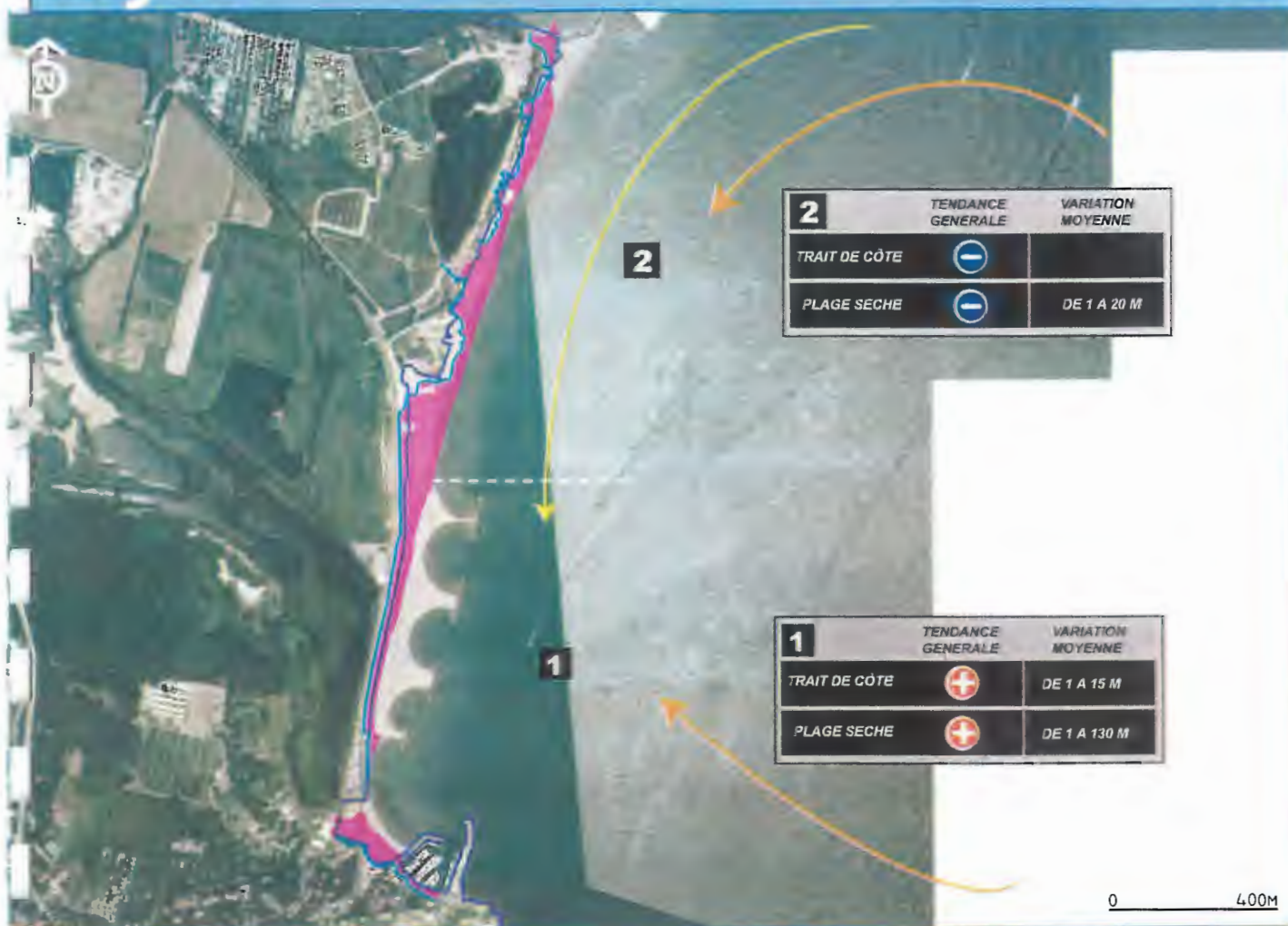
- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.10 Plage de la Garonne / Sainte-Maxime

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Pas de cliché 1950	Avancée liée aux aménagements (parking) sinon pas d'évolution	
OUVRAGES		Abaissement de la plage en pied de mur de soutènement	
LARGEUR DE PLAGE SECHE		Partie sud: perte de 6m	
HERBIER DE POSIDONIE		Forte présence	
Solutions d'aménagements potentielles		Confortement en pied d'ouvrage: rechargement en haut de plage	
Mesures complémentaires envisageables		Profil topographique	
BILAN DE LA PLAGE		<i>Trait de cote fixé par les ouvrages</i>	

3.2.11 Plage de Saint-Aygulf / Fréjus

PARAMÈTRE ETUDIÉ	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE COTE	Urbanisation faible	• Avancée de 15m liée aux aménagements (parking)	Formation de tombolo: augmentation de la largeur de plage sèche
OUVRAGES	-	• Construction de brise lames	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Semble stable	• Partie nord (entre l'embouchure et le premier brise lame): perte entre 1 et 20m • Entre les brise lames: gain de 20m • Devant les brises lames: gain de 130m • Au nord du port: gain de 20m	Bonne interception sédimentaire
HERBIER DE POSIDONIE	Pas d'évolution	• Faible abondance	
Solutions d'aménagements potentielles		• Conforter l'aménagement de haut de plage (enrochement) par reprise des blocs déstabilisés et limiter le ruissellement pluvial	Erosion terrestre sur l'enrochement liée au ruissellement
Mesures complémentaires envisageables			
BILAN DE LA PLAGE		• <i>Sédimentation importante à l'arrière des brises lames avec formation de tombolo</i> • <i>Entretenir les ouvrages de haut de plage</i>	



- Trait de côte 1998
- Trait de côte 1971
- Plage sèche 1971
- Sens de dérive dominant
- Direction des houles
- - - - - Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.12 Plage d'Agay / Saint-Raphaël

PARAMETRE ETUDIE	1950-1970	1970-1998	Evolution récente
TRAIT DE CÔTE	Urbanisation forte: construction de la route côtière	• Avancée de 5-7m liée aux aménagements sinon pas d'évolution • Partie est: tendance érosive	
OUVRAGES	Pas d'évolution	• Epis au centre de la plage: efficacité limitée	
LARGEUR DE PLAGE SECHE	Semble stable	• Partie est: stabilité • Partie centrale: gain de 1 à 5m • Partie ouest: stabilité	
HERBIER DE POSIDONIE	Pas d'évolution	• Forte présence	Peu d'évolution
Solutions d'aménagements potentielles			
Mesures complémentaires envisageables		• Suivi topographique et bathymétrique pour valider l'efficacité du système Ecoplage	
BILAN DE LA PLAGE		• Abaissement de la plage en pied d'ouvrage avant l'installation d'Ecoplage • En sédimentation depuis l'installation du procédé Ecoplage	



 Trait de côte 1998
 Trait de côte 1971
 Plage sèche 1971

 Sens de dérive dominant
 Direction des houles
 Limite de la sectorisation des sites sensibles

3.2.13 Conclusion

D'après l'analyse du trait de côte à partir des photographies aériennes, plusieurs conclusions peuvent être tirées:

- Il peut y avoir évolution morphologique d'une plage (érosion, stabilisation, engraissement) sans qu'il n'y ait variation du trait de cote. Les exemples sont nombreux sur les sites expertisés: anse des sablettes, Lavandou. Ce phénomène est souvent mis en évidence quand le trait de côte est fixé par les ouvrages de haut de plage mais associés à des démaigrissement de plage sèche. Du point de vue de la dynamique sédimentaire de la plage, ces aménagements peuvent déstabiliser l'équilibre général de la plage.
- Sur les sites constitués d'ouvrages de haut de plage (mur de soutènement, digue, enrochement) et exposés à la propagation de la houle, il y a réflexion de la houle contre l'ouvrage. Ce phénomène provoque souvent un abaissement de la plage en pied d'ouvrage, laissant quelque fois apparaître sa structure basale. La réflexion, si elle est importante génère une fuite de matériaux vers le large entraînant des processus d'érosion.
- La largeur de plage sèche identifiée à partir des années 1970 et comparée aux clichés récent permet rapidement de mesurer le linéaire de plage gagné ou perdu.

Numéro de site	Nom de la plage	ÉROSION 	STABILISATION 	ENGRAISSEMENT 
1	Les Lecques			
2	Lido			
3	Bonne grace			
4	Sablettes			
5	Hyères plage			
6	Lavandou			
7	Cavalaire			
8	Pampelonne			
9	Croisette			
10	Garonnette			
11	Saint-Aygulf			
12	Agay			

Tableau 3: bilan évolutif des sites sensibles

Il ressort de l'analyse des 12 sites sensibles étudiés, qu'il existe une stabilité générale des plages. Cependant nous avons vu que la plupart des sites sont anthropisés et qu'il convient de surveiller leur l'évolution pour éviter toute dégradation majeure. Des mesures de gestion et de suivi complémentaires permettront de caractériser l'évolution des plages.

3.3 ANALYSES DES CAUSES DES MODIFICATIONS ET EVOLUTIONS PREVISIBLES

3.3.1 Tendances générales météo-océanographiques : relation avec l'érosion littorale

3.3.1.1 Evolution de la température et du niveau moyen des mers

C'est une certitude scientifique que la température de surface (calculée en moyenne globale) a augmenté de 0.6°C (à 0.2°C près). Ce réchauffement au cours du 20^{ème} siècle est supérieur à toutes les variations de température observées au cours du dernier millénaire. La décennie 1990-1998 est probablement la plus chaude de tout le millénaire dans l'hémisphère nord et l'année 1998 la plus chaude.

En se fondant sur les données du réseau des jauges des marées, le taux d'élévation du niveau des mers au cours du 20^{ème} siècle est compris entre 1 et 2 mm par an. Ces valeurs sont confirmées par les mesures satellitaires effectuées au cours de la dernière décennie. Les données de température de l'océan et les résultats des modélisations laissent penser que la dilatation des océans, liée à l'augmentation des températures, est la cause première de cette variation

A l'approche du littoral, il peut y avoir un changement des profils des côtes par érosion ainsi qu'une avancée des eaux salées à l'intérieur des terres, au niveau des zones d'estuaires en particulier. Il faut savoir, qu'une élévation d'un mètre du niveau de la mer induit un recul de 100 m des côtes.

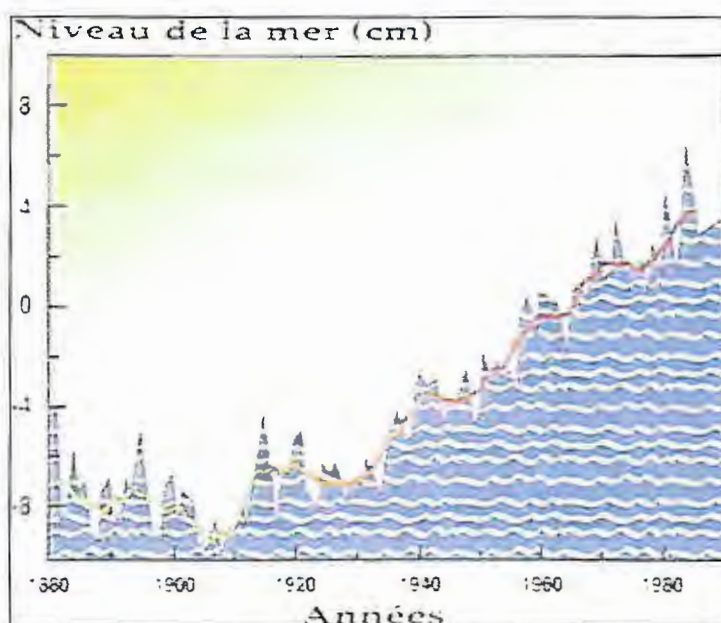


Figure 32: évolution du niveau relatif de la mer

3.3.1.2 Evolution météorologiques des dernières décennies

Cette figure renseigne sur la l'intensité et la provenance du vent moyenné entre le 01 janvier 1981 et le 31 octobre 2004.

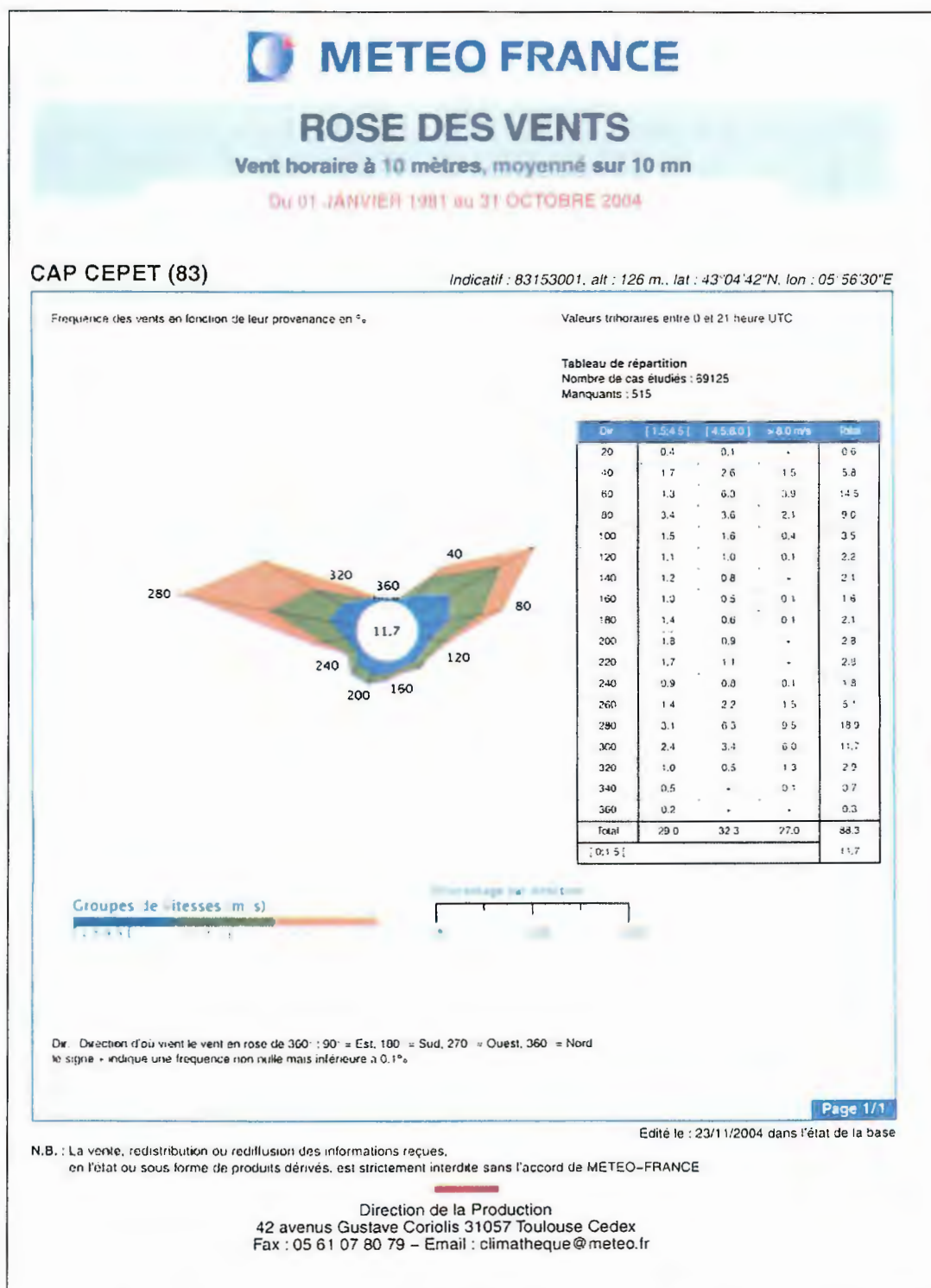


Figure 33: rose des vents entre 1981 et 2004 (cap Cépet)

On constate les évènements suivants :

- Les vents dominants sont de secteur Ouest Nord-Ouest ($280-300^\circ$), représentant le mistral, et de secteur Nord-Est, correspondant aux dépressions issues du golfe de Gênes.
- pour ces mêmes secteurs, les vents enregistrés sont les plus forts. Le groupe de vitesse supérieur à 8m/s dans le secteur ouest est de 9,5 % et de 3,9% dans le secteur nord-est.

Dans le cadre de notre étude, l'impact des vents de secteur Ouest/nord-ouest sur le littoral varois est à prendre en compte pour l'étude de l'évolution morphologique des plages et du trait de côte. Les zones affectées par ces vents sont nombreuses : baie des Lecques, baie de Sanary, presqu'île de Giens (partie occidentale). Concernant les processus hydrosédimentaires, ces vents ont des actions fortes sur les mouvements dans le profil.

Les vents de secteur Nord-Est, peuvent engendrer préférentiellement des processus d'érosion éolienne (déflation éolienne).

3.3.1.3 Evolution des conditions d'agitation depuis 1992

La houle, paramètre essentiel de l'agitation permet d'appréhender les paramètres tel que la période et la hauteur. Dans le Var, le houlographe omnidirectionnelle est situé au large de Porquerolles ($42^\circ 58.00'N$ / $06^\circ 12.29'E$) à une profondeur de 96 m.

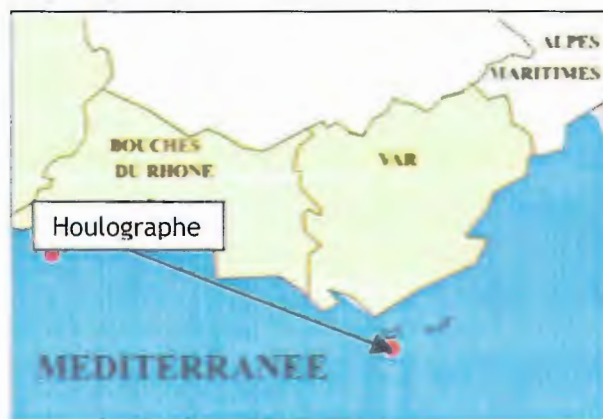


Figure 34: position du houlographe

Les données fournies par le CETMEF nous renseignent sur les périodes et hauteurs de houle durant la période comprise entre 1992 et 2001.

Les histogrammes de la figure ci-dessous sont calculés annuellement. Pour caractériser ces données, il faut tenir compte de :

- la hauteur $H_{1/3}$ qui correspond au tiers des vagues les plus hautes dont la moyenne $H_{1/3}$ est la hauteur significative H_s .

La fréquence des hauteurs $H_{1/3}$ est de 20 % pour des hauteurs de 0,5 m. Les hauteurs maximales (4,5 m) représentent moins de 2 %.

- La hauteur H_{max} correspond au pic de vagues les plus hautes. La hauteur maximale des vagues enregistrées est de 6,6 m mais ne représente que 3 % des données. La hauteur la plus représentée (25 %) est de 1,8 m.
- La période T_{max} représente la durée entre deux passages par valeur moyenne qui définissent la vague de hauteur maximale. Les périodes observées sont faibles (7 à 9 secondes), correspondant à des périodes de clapots ($T < 10$ s).

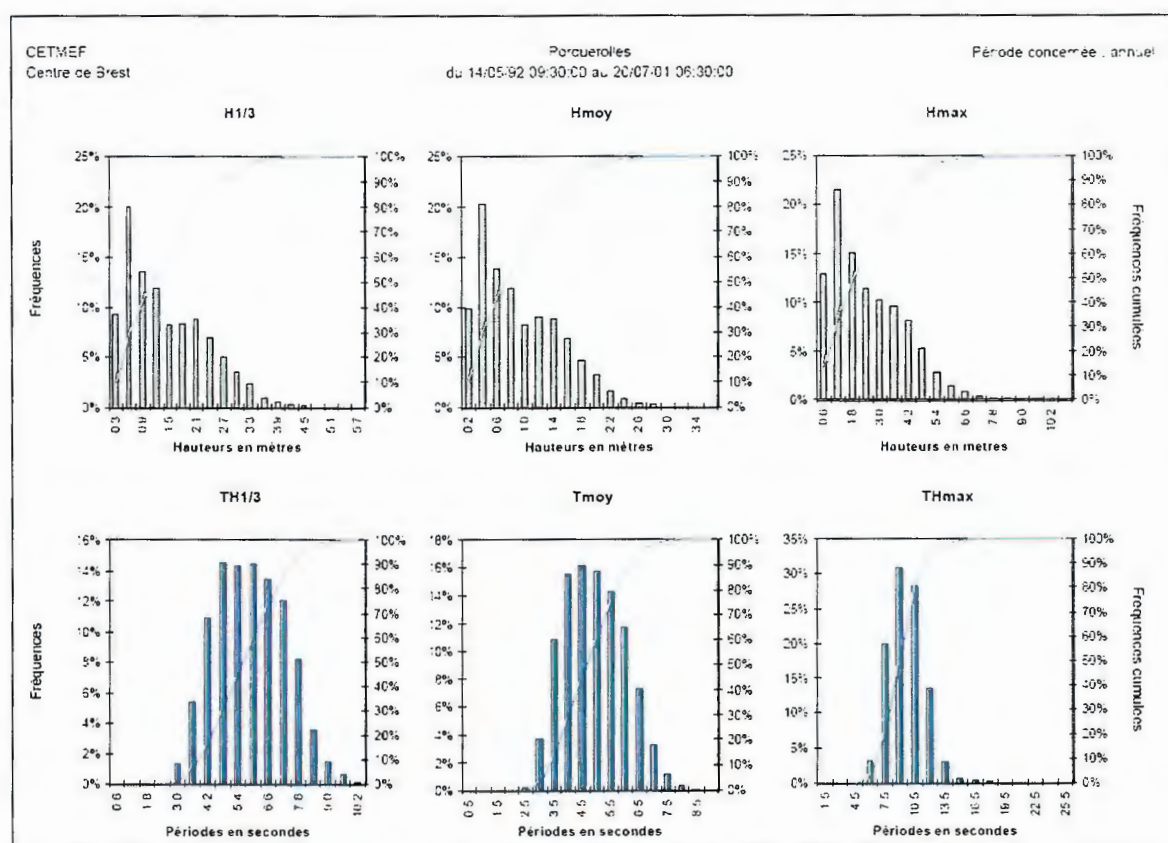


Figure 35 : histogramme de houle (hauteur/période) du houlographe de Porquerolles (source: CETMEF)

Ces données de houles ne sont que des tendances générales à partir d'une station au large. Elles ne permettent en aucun cas de caractériser la houle sur le littoral car à l'approche des côtes, la houle subit des processus de déformation (réfraction et diffraction).

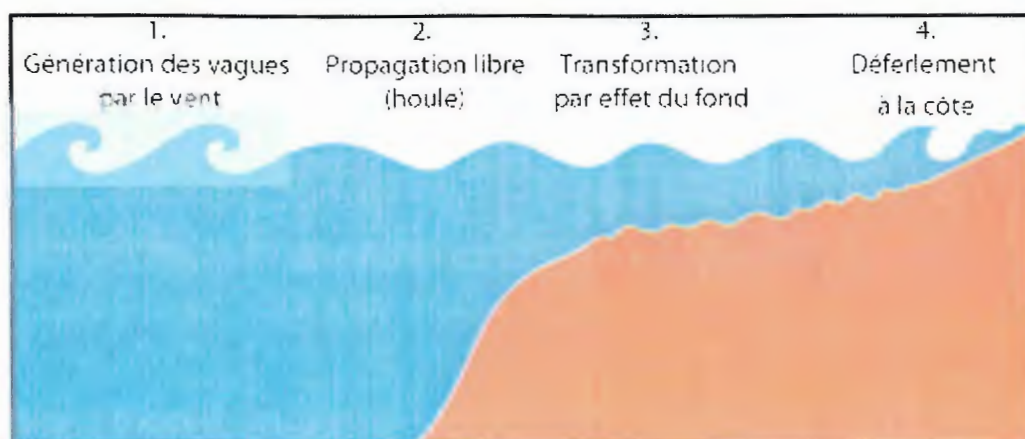


Figure 36: Propagation de la houle en provenance du large

A l'approche des cotes, où les fonds diminuent, la houle subit un gonflement avant de déferler quand sa cambrure devient trop importante. Ce phénomène peut être accentué quand:

- Les fonds proche du littoral, sont composés d'un plateau rocheux régulier;
- La houle se propage dans une baie fermée, délimitée par 2 pointes rocheuses (baie d'Agay, baie des Sablettes). Les mouvements dans le profil peuvent être important pouvant générer des processus d'érosion important.

Ainsi, pour étudier les conditions d'agitation d'un site en domaine côtier il faut souvent faire appel à la modélisation numérique qui permet de caractériser le déferlement de la houle à la côte (épures de houle).

3.3.1.4 Les surcotes

Les surcotes et décotes sont les différences entre la marée prédite et la hauteur d'eau observée à partir d'un houlographe. Les surcotes sont des différences positives (plus d'eau que prévu), les décotes des différences négatives (moins d'eau que prévu). Les décotes et surcotes sont causées essentiellement par la météorologie (vent et pression atmosphérique), une dépression provoquant un effet de surcote et un anticyclone provoquant un effet de décote.

Il est aujourd'hui possible de déterminer les périodes de retour et les probabilités d'observation de ces niveaux exceptionnels. Ces données statistiques permettent de déterminer la cote des plus hautes mers et indirectement la limite des domaines terrestre et maritime.

Pour le calcul des surcotes, le port de Toulon dispose d'un marégraphe numérique enregistrant le niveau d'eau à un instant donné. Il est ainsi possible de connaître les surcotes mesurées par rapport à la marée prédite dont le niveau moyen est de 0,38 m à Toulon. Nous avons pour ce faire, commandé les données mesurées par le marégraphe de Toulon (tableau 4) au SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Ces données sont en général mesurées durant la période hivernale (octobre à mars).

Annee	Maximum mesuré (marégraphe)	hauteur d'eau prédite(cm)	valeur de surcote (cm)
1961	85	53	32
1962	86	45	41
1963	89	29	60
1964	74	47	27
1965	81	43	38
1966	85	42	43
1967	71	51	20
1968	89	41	48
1973	75	57	18
1981	63	52	11
1982	53	48	5
1984	78	35	43
1991	79	59	20
1992	81	41	40
1993	87	49	38
1994	78	59	19
1995	86	47	39
1996	92	41	51
1997	91	50	41
1998	74	58	16
1999	81	55	26
2000	93	46	47
2001	79	49	30
2002	84	50	34
2003	84	54	30
2004	78	54	24

Tableau 4: données permettant le calcul des surcotes (port de Toulon)

La figure ci-dessus nous renseigne sur les évolutions des surcotes depuis 1961. Dans l'intervalle 1961 - 2004, la moyenne de la surcote est de 32,3 cm. D'après la figure 37, il semble que les surcotes diminuent depuis 2001.

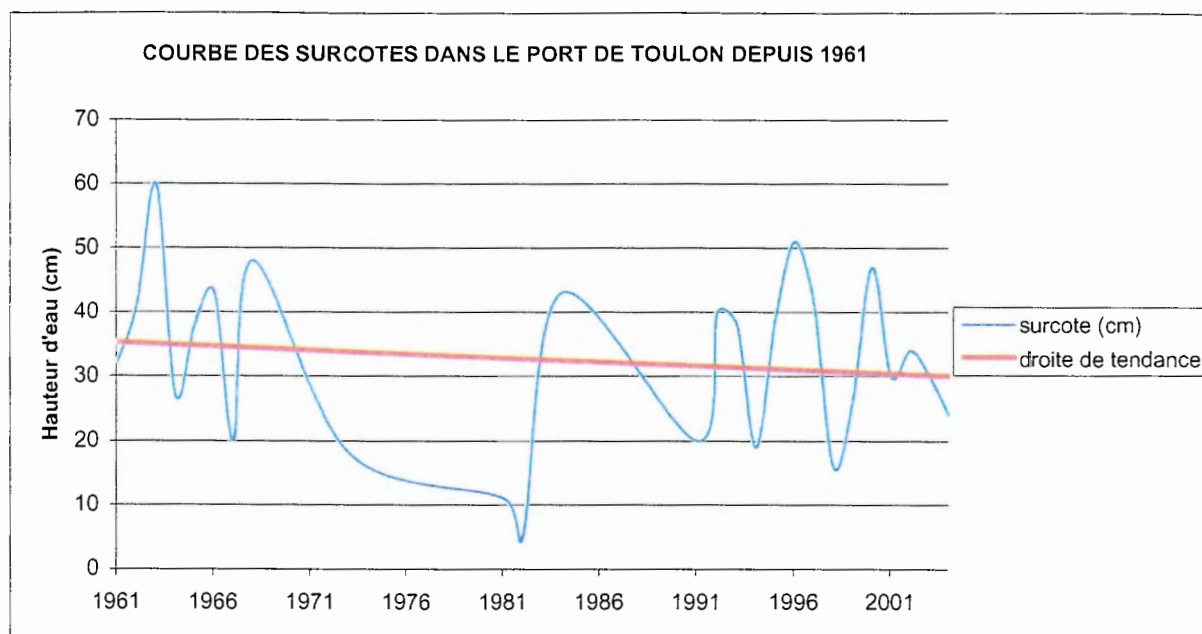


Figure 37 : valeur de surcote dans le port de Toulon depuis 1961

Le phénomène de surcote ne peut générer à lui seul des processus d'érosion significatif. Cependant associée à d'autres phénomènes (basses pressions, vents forts), la surcote peut provoquer des phénomènes exceptionnels tel qu'inondation, submersion marine d'ouvrages.

A titre d'exemple, en Atlantique, lors de très basses pressions, la surcote peut atteindre 1,5 m (tempête d'Octobre 2004 à Brest).

Si l'on ne peut pas extrapoler ces résultats à l'ensemble du Var, une surcote moyenne de 30 cm par rapport au niveau moyen n'est pas négligeable dans le cadre d'études sur l'évolution du trait de côte et des phénomènes d'érosion en général. Ce paramètre n'est pas majeur et n'agit pas seul, mais associé à d'autres phénomènes hydrodynamiques. Il a néanmoins toute son importance.

3.3.2 Rappels sur l'anthropisation et constructions d'ouvrages

La forte pression anthropique exercée sur la frange littorale est un des facteurs aggravant du phénomène d'érosion côtière. Ainsi, la question directement posée est davantage d'ordre politique : que faut-il protéger ?

La plage est un espace conquis par un certain type d'urbanisation, la plupart du temps formé de structures légères et démontables. Toutefois, certaines communes abritent également des infrastructures plus lourdes, directement intégrées au trait de côte. Ces bâtiments (hôtellerie, restauration, propriétés de particuliers, mais aussi postes de secours...) reposent souvent sur des chapes de béton qui elles-mêmes s'appuient sur un substrat meuble. Lors de tempêtes hivernales, ces structures sont directement touchées

par les houles et subissent des impacts non négligeables sur leur tenue (phénomène de sape en pied de dalle par exemple) qui peuvent à terme remettre en question leur existence pour des raisons de sécurité. Les exemples sont relativement nombreux sur l'ensemble du littoral varois (voir figures ci-après).



Figure 38 : Déstabilisation d'un mur en limite de propriété (Hyères Plage)



Figure 39 : Affouillement en pied de dalle du poste de secours (Plage du Lido / Sanary)



Figure 40 : Déstabilisation d'une terrasse en béton (Cavalaire)

Ces quelques exemples montrent à quel point la perception du phénomène d'érosion peut être accentuée par la présence d'ouvrages ou de bâtiments directement sur la plage. Il est alors évident que la menace sur les biens et les personnes est effective, et qu'il est nécessaire d'adopter des mesures de protection. Toutefois il conviendrait aussi de réfléchir sur ces situations et de limiter les constructions sur la plage.

L'artificialisation entraînant dans certains cas des « avancées » du trait de côte (dus aux aménagements urbains) favorisent systématiquement la rupture de l'équilibre sédimentaire de la plage et de la dune. La largeur de l'estran se réduit et la protection de l'arrière-plage contre l'attaque des vagues n'est plus assurée.

Il est souvent nécessaire de protéger contre les agressions marines, les aménagement « les pieds dans l'eau » par des ouvrages longitudinaux construits en haut de plage (murs, enrochements...) ou dans les petits fonds (brise-lames par exemple). Cependant les ouvrages longitudinaux favorisent à leur tour le démaigrissement des plages par suite du renforcement de l'effet de l'agitation à leur pied (MATE, 1997).

L'évolution de l'urbanisation est donc un facteur important, les aménagements favorisant bien souvent une aggravation du processus érosif.

3.3.3 Causes de modification en secteur naturel (non anthropisé)

Les causes de modifications majeures en secteur naturel sont d'ordre météorologiques. On distingue 2 paramètres principaux: les fortes houles et les vents forts provenant de terre.

3.3.3.1 Modification sous l'action des fortes houles

Le déferlement de la houle provoque en période hivernale l'attaque du pied de dune et déstabilise le cordon dunaire et la végétation associée. La dune vive est déstabilisée voire détruite. Ce phénomène est d'autant plus actif que la largeur de plage est faible. Le trait de côte est ainsi modifié. Le domaine dunaire très fragile, nécessite souvent la main de l'homme pour rétablir les dommages causés: mise en place de ganivelles, revégétalisation, reprofilage du cordon dunaire.

3.3.3.2 Modifications sous l'action de vents forts

Les vents d'origine terrestre ont pour effet de générer des processus d'érosion éolienne. Le phénomène de déflation éolienne peut mobiliser et transporter des volumes considérables de sable dans la mesure où celui-ci est sec. L'érosion du secteur naturel est importante et l'ensemble du massif dunaire peut être déstabilisé. Le trait de côte peut dans certains cas être modifié. Les systèmes de rétention de sable (filets de géotextile) permettent de piéger le sable mobilisé par le vent.

3.3.4 Evaluation des évolutions possibles

3.3.4.1 Impacts des ouvrages

Les 12 sites visités font état de nombreux aménagements pour lutter contre les processus d'érosion. Les différentes installations sur le littoral Varois sont de 2 types : les méthodes "passives" (aménagements passifs type enrochement) et les méthodes "actives" (aménagements dynamiques agissant avec les matériaux naturels).

Les méthodes passives :

- Digue en béton
- Enrochements de plage
- Epis
- Brises lames

Les méthodes actives :

- Rechargements de plage
- Ganivelles
- Accès plage (caillebotis, géotextile)
- Procédé Ecoplage®

Nous n'avons pas noté de problèmes majeurs liés aux processus d'érosion pouvant entraîner des dommages significatifs des biens et des personnes. Les problèmes soulevés ne sont pas alarmant mais récurrents et méritent surveillance et entretien régulier. Les problèmes concernent essentiellement le haut de plage et ses ouvrages de protection. Les problèmes rencontrés sont les suivants:

- Abaissement de la plage en pied d'ouvrage: phénomène de sape et attaque du pied d'ouvrage en période hivernale (par les houles et/ou galets).
- Destabilisation des blocs en enrochements en direction du bas de plage. Ce problème génère des phénomènes de réflexion des houles augmentant les processus d'érosion;
- Si la houle se propage frontalement, le phénomène de réflexion contre l'ouvrage (en période hivernale) est important. Ce phénomène est d'autant plus important que la largeur de plage est faible. Les mouvements dans le profil sont importants et la fuite des matériaux vers le large peut être considérable.
- Si la houle à une incidence à la cote, l'ouvrage joue le rôle de tapis roulant; la vitesse de la dérive littorale augmente, le sable ne peut sédimenter. La fuite de sédiments est importante. Les sédiments sont transportés plus loin et sédimenter dans des zones de plus faible énergie.
- La réflexion générée par les ouvrages crée une zone de forte énergie sur l'avant plage, perturbant les herbiers de posidonie. Comme nous l'avons déjà mentionné, les matras de posidonies créent un

amortissement naturel du déferlement des houles à la côte. Ainsi le phénomène de réflexion tend à provoquer leur disparition.

Dans les cas où le haut de plage est endigué ou enroché, il convient de limiter le phénomène de sape en pied d'ouvrage afin d'éviter une déstabilisation de ce dernier. Des marques de sapes en pied d'ouvrages sont remarquées sur la plage du Lido par exemple. A l'aval du port de Hyères, on note quelques zones d'affouillement du mur de protection. Sur la plage du Lavandou, au nord du port on note des glissements de blocs sur l'enrochement de haut de plage. De plus l'installation en bois sur pilotis est menacée.

Le dernier point concerne le phénomène de ravinement engendré par l'écoulement des eaux de surfaces. Ce problème est remarqué sur le site de Saint Aygulf où le ravinement affecte la stabilité de l'enrochement. Certains blocs sont déstabilisés sous l'effet du ravinement.



Figure 41 : Menace de déstabilisation de la promenade littorale (Le Lavandou)

3.3.4.2 Milieu naturel

Lorsque le haut de plage est pourvu d'un cordon dunaire, il convient de stabiliser le massif pour éviter les brèches et limiter les effets de la déflation éolienne. L'objectif étant de rehausser le pied de dune pour éviter l'endommagement ou la destruction du massif durant les épisodes de tempêtes par exemple. La plage de Pampelonne comporte très peu de protection dunaire en haut de plage. Le cordon dunaire est ainsi fragilisé voir endommagé en période estivale par le piétinement.

Ces quelques exemples de dégradation nous montrent que le suivi des ouvrages et de l'ensemble des protections nécessite un suivi afin de limiter la dégradation anarchique des secteurs protégés. Souvent, des actions simples de suivi permettent de maintenir les ouvrages en état et ainsi de diminuer les coûts d'entretien pour les communes concernées. Ces mesures de suivis sont présentées au § 3.6.

3.4 DETERMINATION DES ZONES LITTORALES OU LE TRAIT DE COTE DOIT ETRE STABILISE OU PAS.

3.4.1 Zones à stabiliser

Les zones à stabiliser signifie qu'il est nécessaire de prévoir des entretiens ou aménagements et ce en fonction de plusieurs paramètres:

- Protection des biens et des personnes
- Intérêt socio-économique
- Intérêt écologique

Les secteurs à stabiliser sont les suivants:

Numéro de site	Nom de la plage	PROTECTION DES BIENS ET DES PERSONNES	INTERET SOCIO-ECONOMIQUE	INTERET ECOLOGIQUE
4	Sablettes		<i>Pression touristique</i>	
5	Hyères plage			<i>Tombolo de Giens = zone à préserver</i>
6	Lavandou	<i>Chemin in bois sur pilotis</i>	<i>Pression touristique</i>	
11	Saint-Aygulf		<i>Pression touristique</i>	

Tableau 5: récapitulatif des secteur à stabiliser

Sur l'ensemble des sites sensible et d'une manière générale, il s'agit de combiner le travail de défense contre la mer en zone urbanisée et de préconiser la défense des zones naturelles adjacentes.

3.4.2 Zone ne nécessitant pas de stabilisation du trait de côte

Les autres secteurs ne nécessitent pas une stabilisation indispensable. Il convient de protéger les ouvrages existant et d'entretenir correctement les secteurs naturels. Par exemple, la plage de Pampelonne à très forte pression touristique ne nécessite pas que l'on "fixe" sont trait de côte, sachant que le linéaire est pour les 2/3 naturel. Il convient de protéger le haut d plage par une gestion appropriée. Les mesures complémentaires permettront de définir finement les actions. En secteur naturel, non urbanisé, il est souvent plus judicieux d'appliquer le principe du laisser faire plutôt que de vouloir "protéger à tout prix".

3.4.3 Eléments de réponse pour les possibilités d'aménagements

L'étude ne prétend pas définir les aménagements nécessaires à réaliser sur tel ou tel site. En effet pour ce faire, il est indispensable de mener des mesures complémentaires (bathymétrie, topographie, géotechnique, étude socio-économique....) pour aboutir à un plan de gestion raisonné et adapté. Les aménagements proposés ne sont donnés qu'à titre indicatif mais permettent pour les différents type de côte (rocheux, meuble, aménagés) d'apporter des éléments de réflexion et de décision pour entreprendre ces aménagements.

3.4.4 Les différentes méthodes d'aménagement possibles

Afin de lutter contre les processus d'érosion sur le littoral, plusieurs solutions techniques sont envisageables. Il faut cependant adapter la solution technique retenue en fonction du type de littoral étudié (côte rocheuse, massif dunaire) et de la gravité du processus d'érosion rencontré (submersion marine, recul du massif dunaire...). L'objectif étant de limiter autant que possible l'installation de techniques lourdes type enrochement afin de conserver une bonne intégration paysagère à l'échelle du département.

3.4.4.1 Description sommaire des méthodes passives (épis, digues...)

Les ouvrages transversaux

Les ouvrages transversaux comprennent les épis dont l'objectif est de capter tout ou partie du transit littoral afin de provoquer un engraissement du littoral sur la face amont de l'épi. Il existe plusieurs types d'épis en fonction du matériau et de la morphologie choisie (figure 42).

Ces systèmes de protection permettent d'obtenir de bons résultats d'interception de sédiments. Ils n'offrent cependant qu'une intégration paysagère moyenne.



Figure 42 : Principaux types d'épis

Les ouvrages longitudinaux de haut de plage

Ces ouvrages qui concernent essentiellement les enrochements, sont mis en place entre la plage et les aménagements situés immédiatement en arrière (maisons, promenade de front de mer).

Ils sont souvent le dernier rempart à l'invasion de la mer. Cependant ce type de défense n'assure pas la protection des zones voisines à l'amont et à l'aval. Par ailleurs, elles favorisent une érosion accrue de la plage à leur pied impliquant parfois une déstabilisation partielle de l'ouvrage.

Des mesures du type rechargement doivent être prises pour limiter ces effets. Ces ouvrages offrent une intégration paysagère moyenne.



Figure 43 : Enrochements (Plage de Saint-Aygulf)

Les ouvrages longitudinaux de bas de plage

Ces ouvrages type brise lames, émergents ou submersibles créent une zone abritée à l'arrière favorisant l'engraissement de la plage et empêchent les sables de se déplacer vers le large. Cependant, ils favorisent un recul du rivage entre 2 ouvrages voisins et parfois à l'aval dans le sens du transit littoral. Leur impact paysager est très fort.



Figure 44 : Exemple d'ouvrage longitudinal de bas de plage (Plage de Saint-Aygulf)

3.4.4.2 Description des méthodes « douces »

Ces méthodes sont souvent associées à des protections en géotextile permettant dans certains cas (protection des hauts de plage) de réaliser une revégétalisation afin d'obtenir une bonne intégration paysagère.

La méthode douce qui devient de plus en plus utilisée, basée sur la gestion des stocks sédimentaires concernant les rechargements de plage qui ont pour but l'engraissement et la création d'une plage "sèche".

Les ouvrages transversaux

- Le procédé Stabiplate®

Le concept STABIPLAGE® est basé sur la gestion des stocks sédimentaires. Son fonctionnement, de la même manière que les épis classiques, permet de capter naturellement des sédiments, de les maintenir sur les plages de manière à enrayer l'érosion. Le Stabiplate® est un géocomposite qui s'insère bien dans le paysage car invisible dans la plupart des cas. Cependant, sur des sites très exposés, cet ouvrage semble peu adapté (dégradation ou destruction de l'ouvrage).

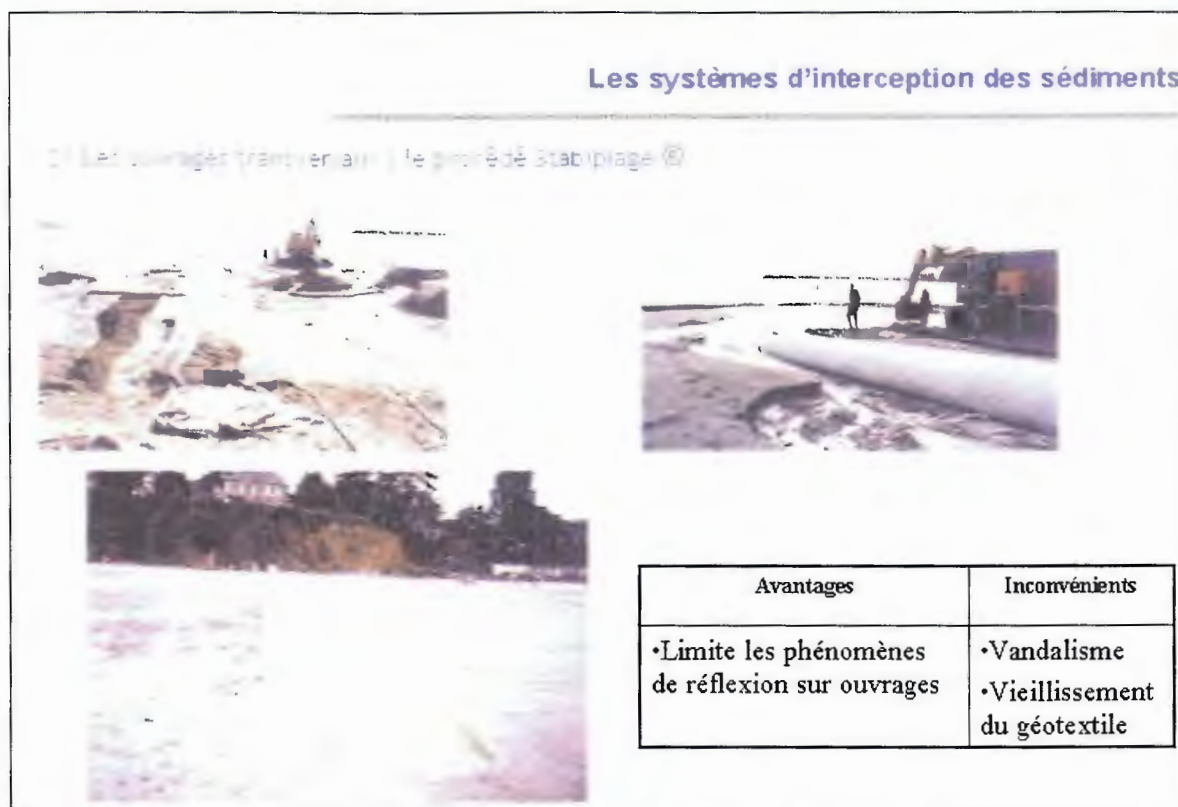


Figure 45 : Description du procédé StabiPlage

Les ouvrages longitudinaux

Les ouvrages longitudinaux sont utilisés pour une protection et stabilisation du trait de côte. Les solutions envisagées (géotextile) ont d'un point de vue technique la même fonctionnalité qu'une solution en enrochement. Il présente par contre un intérêt fort du point de vue de l'intégration paysagère (possibilité de recouvrement des sédiments, végétalisation possible).

- Le procédé GEOTUBE®

Les Géotubes® constituent un système développé et breveté par Nicollon (Hollande) et ont été utilisés récemment avec succès dans plusieurs opérations de protection de côtes. Le GEOTUBES® est un tube constitué d'un géotextile perméable (polypropylène tissé ou non-tissé de manière à retenir les éventuelles fines) rempli de sable ou de matériaux de dragage. Des prises d'admission de la mixture eau/sable et d'expulsion d'eau et d'air sont placées régulièrement sur le tube de manière à injecter les matériaux de remplissage.

Les systèmes d'interception des sédiments

3. Les ouvrages longitudinaux : le procédé Géotube®



Avantages	Inconvénients
• Limite les phénomènes de réflexion sur ouvrages • Bonne intégration paysagère	• Vandalisme • Opérations d'entretien (rechargement)

Figure 46 : Description du procédé GEOTUBE®

• Le procédé STABILENKA®

Le « Stablenka ® » est un tissu polyester haute ténacité résistant développé et breveté par HUESKER SYNTHETIC®. Ce procédé comme le Géotube permet une stabilisation du trait de côte.

Il se présente sous la forme de rouleaux de longueur et largeur variable en fonction des dimensions souhaitées. Une fois la protection réalisée, elle serait recouverte de sable afin de mettre les géotextiles à l'abri des uv.

Ce type de procédé a été mis en place dans le cadre de la protection de la plage de Biscarosse et atteste de son efficacité.

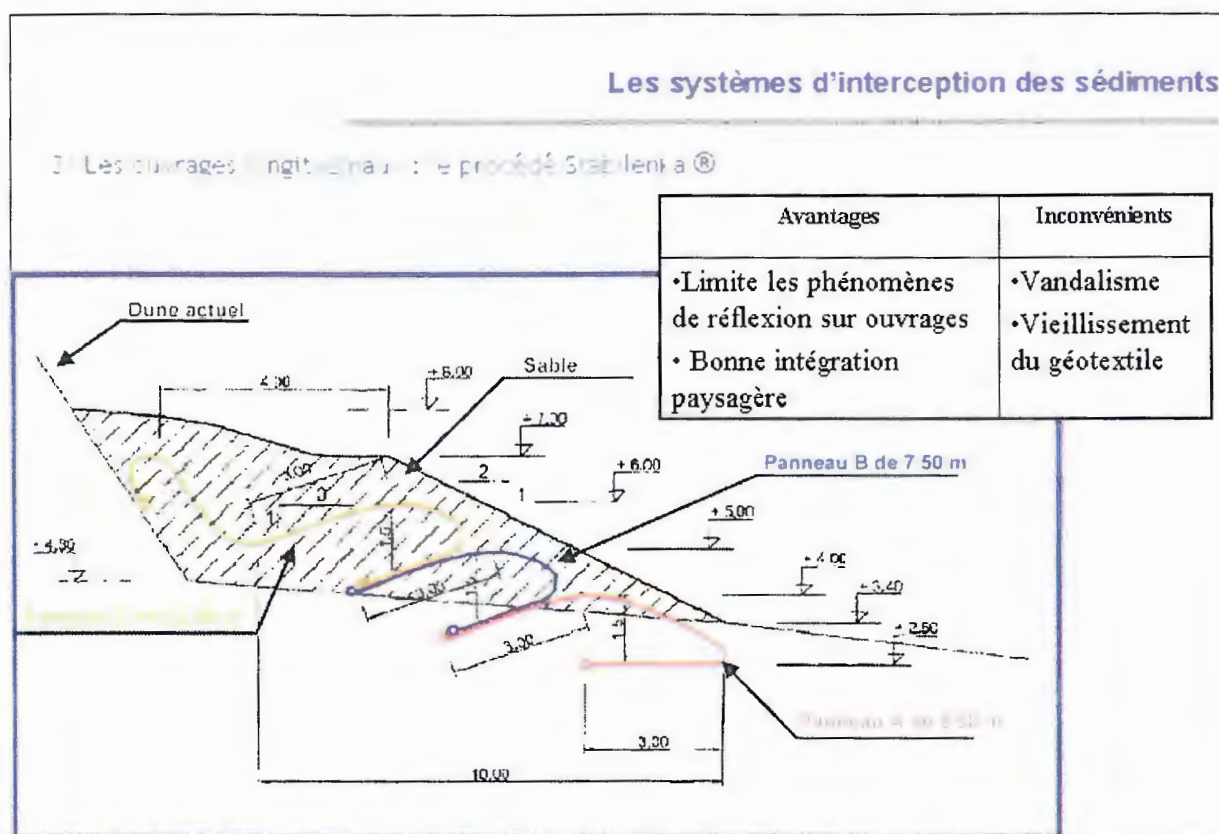


Figure 47 : Description du procédé STABILENKA®

• Le système de drainage Ecoplage®

Le procédé ECOPLAGE® est un système basé sur le drainage qui agit sur les processus de percolation (qu'il favorise) et permet d'abaisser le niveau de la nappe. Il consiste en un système de drainage côtier installé parallèlement au trait de côte et à un niveau choisi en fonction des conditions hydrodynamiques régnantes. Ainsi, si l'eau apportée par le swash des vagues peut percoler très rapidement, elle abandonnera aisément les sables qu'elle transporte et l'engraissement de la plage sera favorisé. L'installation de ce procédé sur la plage d'Agay en 2001, semble donner de très bons résultats.

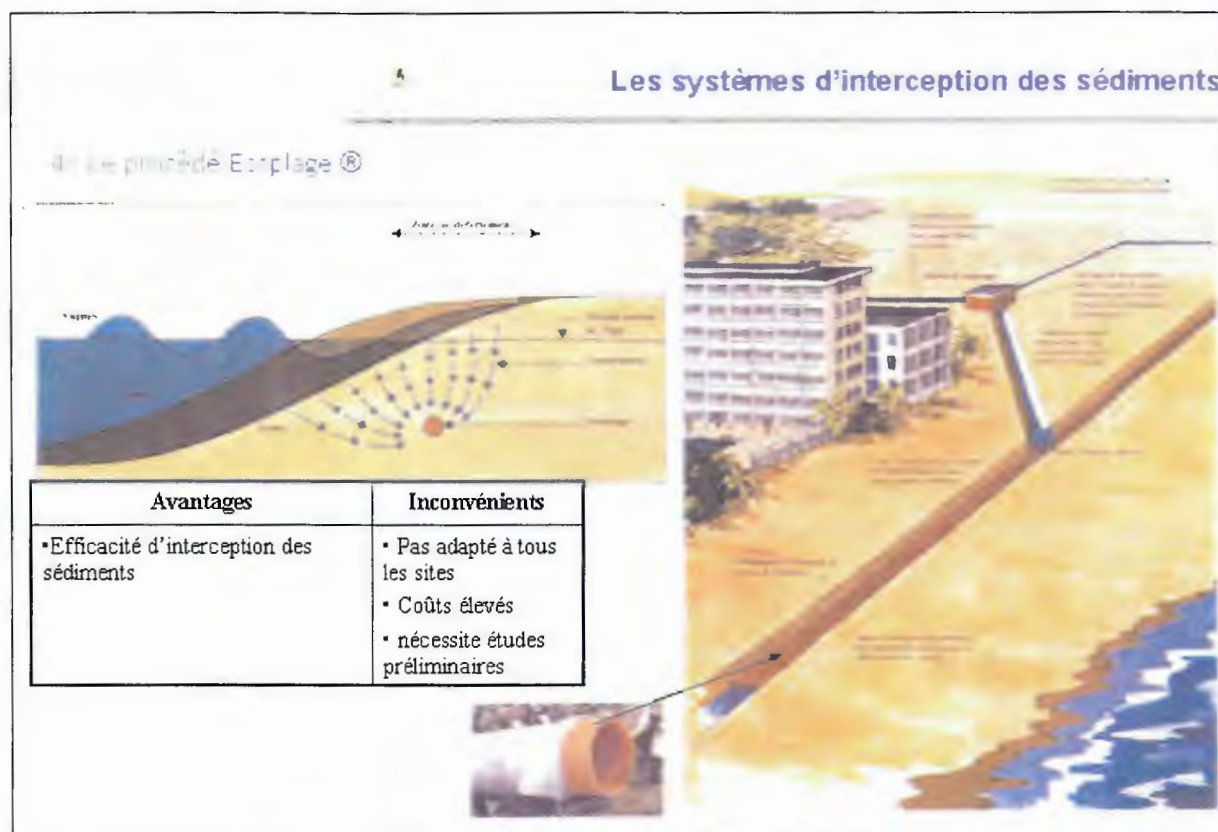


Figure 48 : Le procédé Ecoplage®

- Les dispositifs d'action pour la protection des cordons dunaires
 - Les barrières à sédiments type ganivelles

La technique consiste à mettre en place une structure généralement en bois qui permettra de réduire les effets de la déflation éolienne. Les ganivelles ont comme avantages :

- De pouvoir être installées en toutes saisons,
- D'assurer une efficacité comme piège à sable dès leur mise en place et peuvent donc accumuler utilement du sable en l'attente d'un développement suffisant de la végétation.
- D'éviter la fuite des matériaux vers l'arrière dune
- De canaliser les accès



Figure 49 : Les barrières à sédiments de type ganivelles

• Les filets de rétention en géotextile

Une grande quantité de procédés existent. Nous évoquerons surtout les filets de rétention type Tri X, déjà utilisés sur l'île de Ré, développés par la société Rai Tillières. Ces filets, sont disposés parallèlement au trait de côte et positionnés en fonction des objectifs prévus : protection de l'arrière dune, pied de dune, trait de côte.

Le maillage très fermé du Tri X permet une rétention du sable.

Après avoir réalisé une étude basée sur la gestion dynamique des sédiments sur l'île de Ré, pour le Conseil Général de Charente-Maritime, ces systèmes ont révélé une efficacité importante où le pied de dune a pu être relevé d'environ un mètre par accumulation de sable à l'avant du Tri X.

La description du système est détaillée dans la figure suivante.

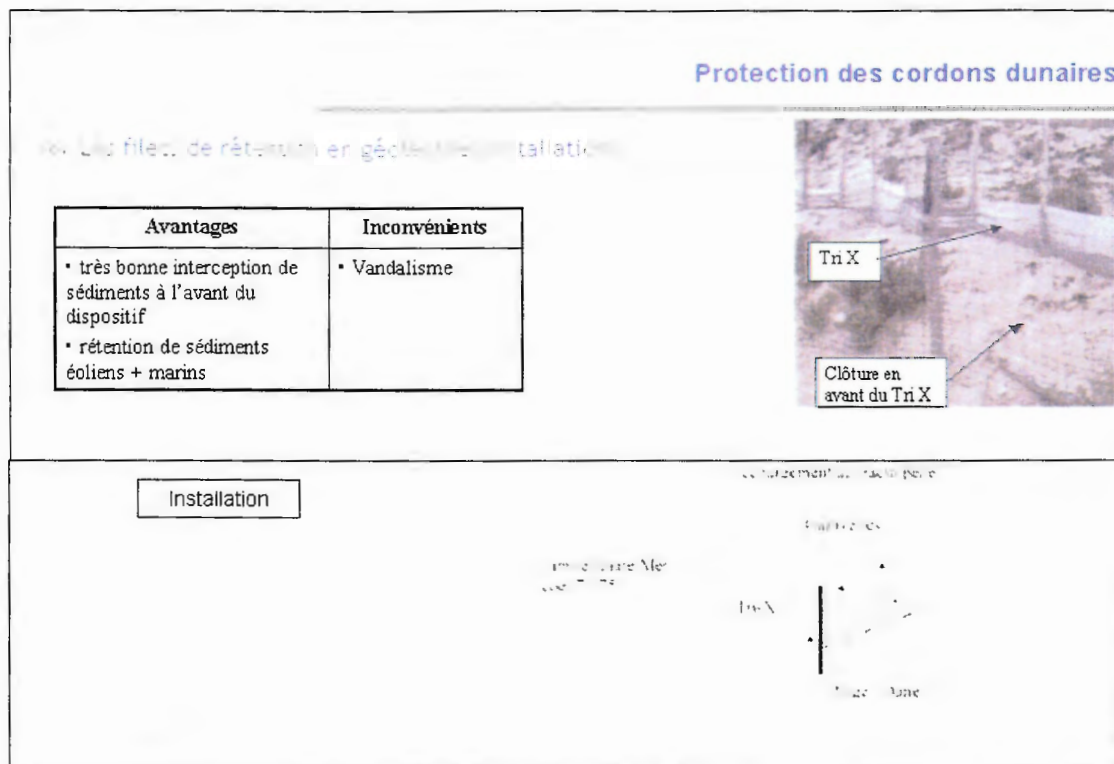


Figure 50 : Les filets de rétention en géotextile (Installation)

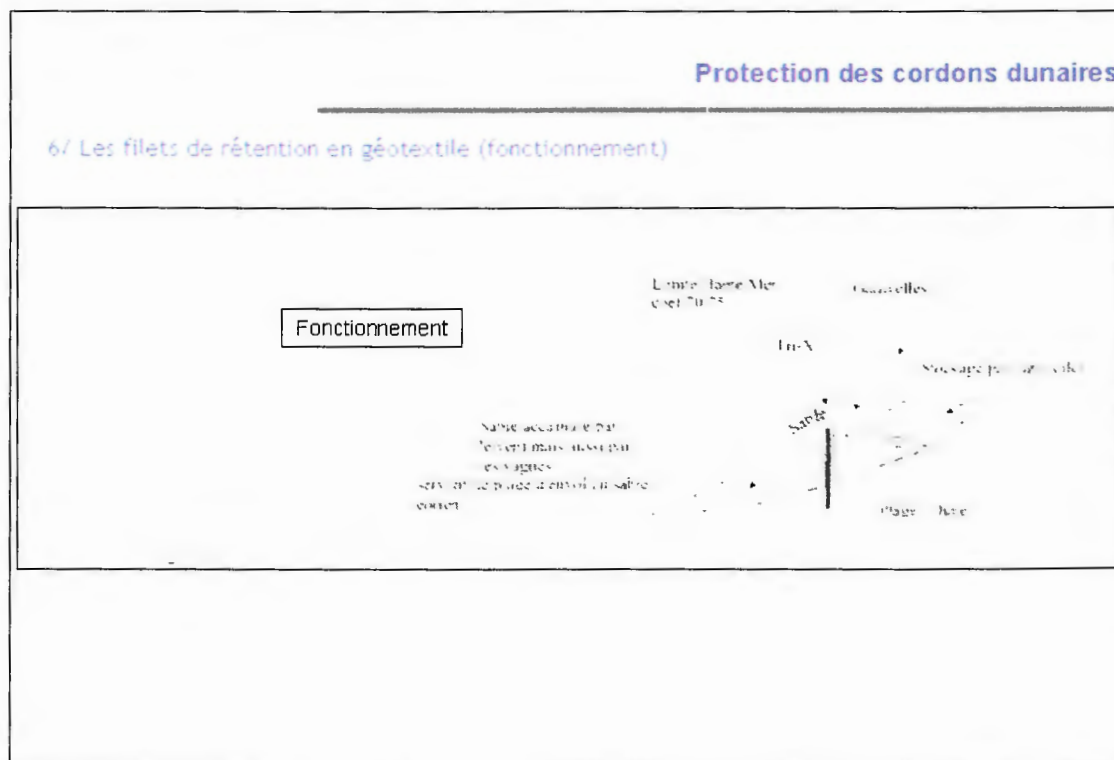


Figure 51 : Fonctionnement des filets de rétention en géotextile

- La gestion des accès aux plages par géotextile

La mise en place de tels procédés pour l'accès aux plages permet de préserver le sol de l'agression des passages répétés des piétons, vélos ou engins motorisés. L'effet de canalisation permet également de protéger les dunes environnantes. Ce type de géotextile se présente sous la forme d'un rouleau à structure tissée. Il se déroule sur le sable, fixé ensuite à l'aide de cavaliers plantés dans le sol. Sous le tapis se crée une zone humide de 10 mm qui favorise la reprise de la végétation et donc le maintien des sédiments.

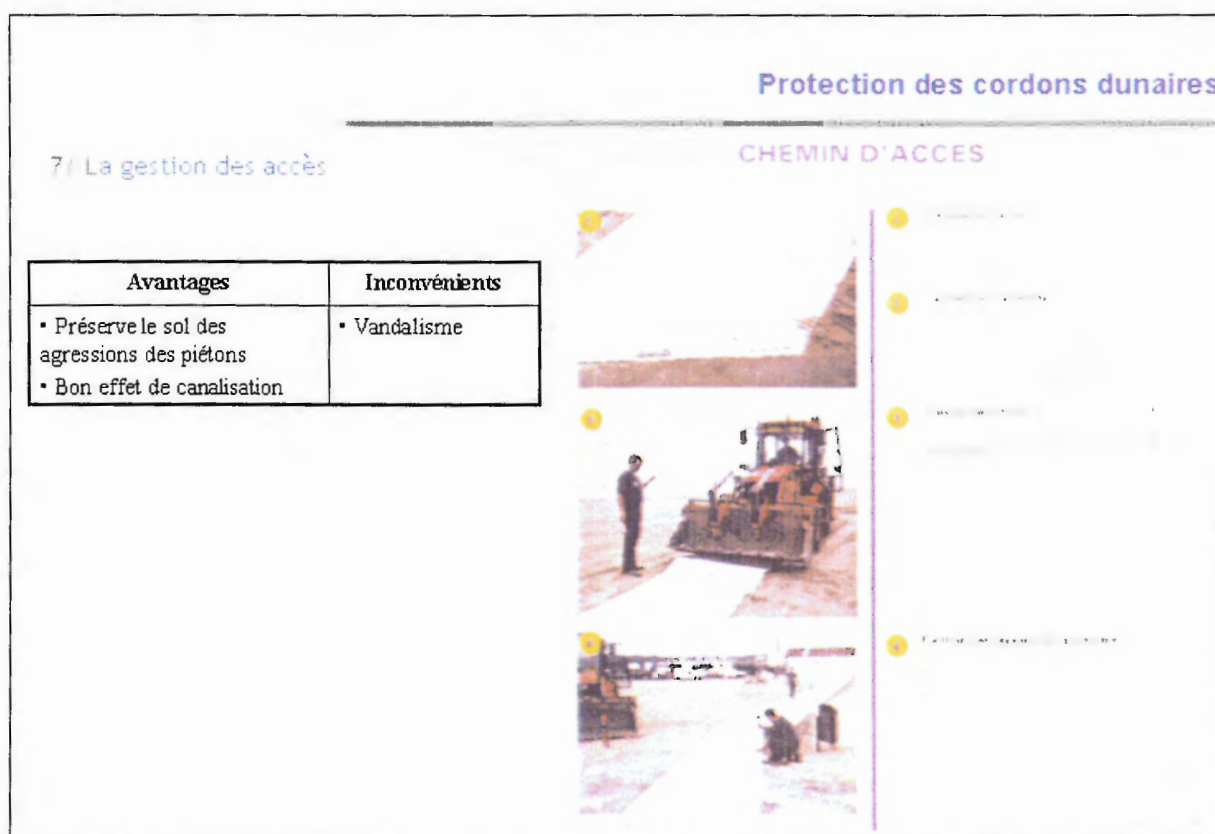


Figure 52 : Principes de la gestion des accès

- Les opérations de rechargement de plage

Les opérations de rechargement correspondent à des apports de sable depuis un stock exploitable à terre ou en mer. L'intérêt majeur du rechargement est d'élargir le haut de plage afin de créer une berme, non recouverte par la pleine mer. La reconstitution d'une plage par rechargement permet ainsi de réduire les phénomènes de réflexion de la houle sur un haut de plage trop accore et de rétablir les possibilités de remontées des sédiments du large sous l'action des houles faibles à moyennes. Les principaux paramètres à prendre en compte lors d'un rechargement sont les suivants :

- Granulométrie des matériaux en place et ceux prévus pour le rechargement
- Largeur et côte de la berme
- Estimation d'un volume de rechargement
- Pertes prévisibles à la suite du rechargement

La méthodologie, pour estimer les volumes de sables à recharger, est la suivante :

- Ajustement des profils de plage selon des profils théoriques d'équilibre en tenant compte de la distribution granulométrique existante ; cet ajustement permet de définir les valeurs des constantes pour le calcul du dimensionnement du rechargement
- Définition des profils de plage rechargés en tenant compte de la granulométrie des sables d'apports et en s'appuyant sur les profils théoriques préalablement définis,
- Estimation du volume à recharger (volume net) en considérant plusieurs élargissements de « plage sèche ».

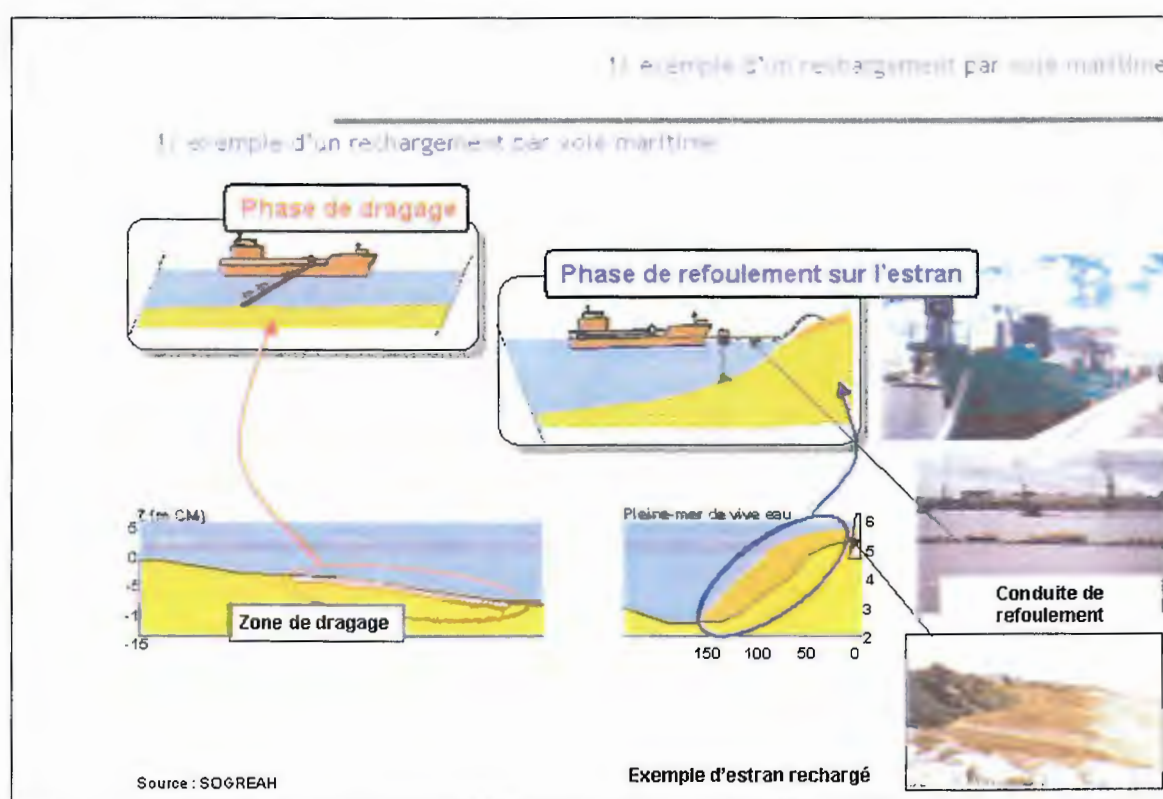


Figure 53 : Le rechargement de plage (apport par voie maritime)

Ces solutions sont respectueuses de l'environnement mais nécessitent des opérations d'entretien (rechargement périodiques).

3.4.4.3 Description d'une politique non-interventionniste

Cette politique non-interventionniste consiste à ne pas intervenir sur des secteurs qui peuvent connaître le phénomène d'érosion.

Ces secteurs laissés à leur évolution naturelle sont appelés « espaces de liberté ». Ils correspondent à un besoin identifié du milieu naturel, décrit dans les travaux de PICON et PROVENSAL (2002).

Le milieu littoral est un milieu naturellement mobile à différentes échelles spatio-temporelles, qui interfèrent constamment. [...] A l'échelle séculaire à décennale, la mobilité littorale est liée essentiellement à la régularisation du trait de côte par la dérive littorale. On peut comparer cette tendance naturelle à la recherche d'un profil d'équilibre, le littoral s'ajustant à la répartition de l'énergie des houles.

Les plages maigrissent naturellement en hiver, au profit des barres sableuses infralittorales, qui les « engraisent » en retour, en été. Ce balancement, signe de « bonne santé » du système, nécessite cependant un espace de mobilité suffisant. En Camargue, il a été démontré que la plage doit disposer de plus de 100 m de battement latéral entre la mer et la dune pour amortir efficacement les houles hivernales, faute de quoi le versant marin des dunes est érodé et le cordon littoral irrémédiablement dégradé. Sur les secteurs enrochés, déjà déficitaires, les équipements aggravent souvent les impacts des fortes houles.

La mobilité est donc le mode naturel de fonctionnement du milieu naturel, à toutes échelles de temps et d'espace. Elle s'inscrit entre les « limites de fermeture », la dune au sommet et la barre la plus externe à la base, dont la position définit un « état d'équilibre dynamique » du système.

L'espace correspondant à cet équilibre est comparable à « l'espace de liberté ou de mobilité » des rivières, aujourd'hui admis par les gestionnaires des cours d'eau. Mais, sur les littoraux, son maintien suppose nécessairement l'existence de zones de stockages temporaires (dunes, barres) et le maintien de la continuité des flux transversaux et longitudinaux.

Le système côtier a une capacité de réajustement naturel (ou de relaxation) vis à vis des nouveaux déséquilibres apparus au cours du 20^e siècle. On constate en effet qu'après un recul rapide et un bilan sédimentaire très déficitaire jusqu'à la fin des années 1960, le littoral tend vers un nouveau profil d'équilibre dès avant la généralisation des équipements de défense côtière au début des années 1980, qui lui permet un bilan global proche de l'équilibre au cours de la décennie 1990. Il y a par conséquent un rythme long des phénomènes physiques globaux, qui nécessiterait d'être pris en compte dans les projets de défense côtière. Mais ce rythme est sans doute trop lent dans un contexte « sécuritaire » immédiat.

Toutefois, certaines simulations (SABATIER, 2001) effectuées sur la Camargue notamment montrent que le fait de laisser complètement la nature reprendre ses droits, sans aucune intervention de l'homme peut aboutir à des conséquences désastreuses provoquées par un recul du trait de côte très important. Ce recul mettrait en danger populations, biens, cultures et modifierait certains équilibres de l'écosystème deltaïques. Comme le soulignent PICON et PROVENSA, la conservation d'un fonctionnement naturel apparaît donc (dans ce cas précis) incompatible avec le maintien du linéaire actuel et la défense des collectivités.

La décision de laisser des espaces de liberté doit donc impérativement passer par une modélisation de l'évolution potentielle du trait de côte et un recensement des impacts sur la sécurité des biens et des personnes. Cette mesure peut être toutefois expérimentée dans certains cas, lorsqu'il n'y a pas de risque majeur pouvant entraîner de trop lourds déséquilibres.

3.5 LES DIFFERENTS TYPES DE SUIVI

L'approche dynamique de préservation des plages et des littoraux de manière générale, peut être caractérisée par les principes suivants :

- Approche préventive (planification) plutôt que réparatrice (interventions après tempêtes).
- Réflexion globale en considérant l'ensemble d'une unité morphosédimentaire ainsi que l'interdépendance dune/plage/avant-plage.
- Compréhension et quantification de la mobilité du trait de côte et de la respiration des plages ainsi que des processus physiques sous-jacents.
- Dans une telle approche, la mise en place d'un suivi morphodynamique régulier des plages est une étape indispensable à mettre en place.

3.5.1 Objectifs

L'approche dynamique des estrans nécessaire à la mise en œuvre d'un système de gestion, planification et préservation dynamique des estrans, nécessite une systématisation des mesures afin :

- de quantifier la mobilité du trait de côte et la respiration des plages ainsi que les tendances d'évolution à moyen terme,
- de permettre une analyse de la dynamique de chaque unité hydrosédimentaire (estimation de la dérive littorale, mouvements dans le profil, budget sédimentaire, détermination des profils d'équilibre des plages) en croisant ces informations avec les données hydrodynamiques (niveaux d'eau, houles, courants).

- D'ajuster les hypothèses retenues dans la phase économique de l'étude globale de défense contre la mer (périodicité des rechargements de plage...).
- De vérifier l'efficacité des solutions proposées (rechargement, restauration du système dunaire...)

3.5.2 Méthodes

La méthode la plus adaptée consiste à effectuer des relevés de profils de plage à intervalle régulier à partir de points fixes servant de repères. De tels relevés doivent idéalement partir de la limite de la végétation sur la dune côtière et se terminer en mer à la profondeur de fermeture du profil. Cette profondeur de fermeture est la limite de l'activité morphodynamique du profil étudié décelable par les instruments de mesure entre deux relevés.

Les relevés doivent être fait aux mêmes périodes de l'année (idéalement fin mars- début avril et fin septembre) et ce sur de longues périodes (permettant une appréciation à long terme de l'évolution du trait de côte). Cette approche permet de mettre en évidence les tendances lourdes d'évolution sur certains sites ainsi que des fluctuations pluriannuelles affectant davantage le profil de plage que le trait de côte.

3.5.3 Les techniques de suivi

La généralisation du suivi morphodynamique des plages se heurte en pratique à des difficultés matérielles lorsque les techniques traditionnelles de levé topographique et bathymétrique sont utilisées :

- cadences de levés à terre,
- forte dépendance vis-à-vis de l'agitation en mer,
- incertitudes de mesure pour le positionnement,
- difficultés pour passer la zone de déferlement.

Ces difficultés ont conduit au développement de nouvelles techniques de suivi qui ne sont encore peu utilisées en France pour la plupart. C'est pourquoi, il a paru intéressant ici de décrire succinctement ces nouvelles techniques et d'en montrer les avantages et les limitations. Nous décrivons ainsi successivement : le GPS différentiel, le traîneau marin, le laser aéroporté, l'imagerie vidéo et le suivi photographique.

L'utilisation du GPS

Le GPS (Global Positionning System) est un système de navigation mis au point par le département de la défense américaine composé de 24 satellites gravitant à plus de 20 000 km de la Terre.

Il permet un positionnement en temps réel à tout usager muni d'un récepteur GPS avec une précision de 50 à 100 m selon la qualité du signal.

La technique du GPS différentiel (DGPS) qui consiste à installer une station de référence en un point de coordonnées (X, Y, Z) parfaitement connue permet d'améliorer la précision de la mesure. Le récepteur GPS mobile utilisé pour la mesure doit ensuite être en contact avec les satellites mais aussi avec cette station de référence qui va lui fournir la correction du signal brut venant des satellites. On peut alors atteindre une précision d'1 à 2 m en plan et de quelques centimètres en altitude, ce qui la rend apte à l'utilisation pour les travaux de topographie et bathymétrie.

Les avantages en topographie sont la rapidité de préparation car une seule station de référence remplace les points de repère disposés régulièrement le long de la côte et la rapidité d'exécution car le système peut être monté sur un véhicule.

Son utilisation s'avère indispensable dans le cadre du suivi du trait de côte, en particulier sur les secteurs de falaise (mesures du recul sur des linéaires importants).



Figure 54 : Le GPS ou le Seasled pour suivre l'érosion côtière

Le traîneau marin

Le traîneau marin (seasled) a été conçu en 1945 par l'armée américaine dans le but d'effectuer des relevés d'avant-plage dans la zone de déferlement. Son utilisation est devenue populaire aux Etats-Unis au début des années 1980 lorsque le USACE (US Army Corps of Engineers) testa les performances de ce système à son centre permanent de recherches de Duck, NC.

Il est également utilisé depuis aux Pays-Bas. Il s'agit d'un traîneau ayant la forme d'un catamaran sur lequel un mât d'une dizaine de mètres de haut est implanté. Le traîneau est immergé au large de la zone de déferlement et est relié à terre par un câble. Il est ensuite tiré vers la plage. Il existe plusieurs variantes de positionnement : la méthode classique utilise le mât comme une mire de topographie et gradue le câble pour repérer la distance à la plage (Langley, 1992) ; Grosskopf et Kraus (1994) recommandent la pose de plusieurs prismes réfléchissants de positionnement permettant d'évaluer également l'inclinaison du mât pour corriger la mesure.

Ce matériel reste encore assez peu utilisé à ce jour en France.

Le laser aéroporté

Les recherches sur le laser aéroporté datent des années 60 et les premières applications opérationnelles de la fin des années 80. Irish et White (1998) rappellent l'historique des développements et décrivent en détail le système de l'armée américaine dénommé SHOALS incluant un tel instrument monté à bord d'un hélicoptère.

Un laser envoie des pulsations à une fréquence de 200 Hz incluant une composante verte et une composante infrarouge. Le récepteur comprend 5 canaux dont 3 sont utilisés pour repérer la surface de l'eau et 2 autres pour déterminer le niveau des fonds. La position de l'hélicoptère est repérée par un DGPS. La profondeur limite de la mesure dépend de la clarté de l'eau. Une profondeur maximale de 40 m a ainsi pu être obtenue dans des eaux très claires. Le système peut couvrir environ 800 ha/h avec une maille de 4 x 4 m² en mixant levé bathymétrique et levé topographique et en incluant également les ouvrages portuaires et côtiers avec une précision verticale de l'ordre de $\pm 0,15$ m. Ce système est opérationnel depuis quelques années et Irish et White (1998) décrivent quelques exemples incluant l'estimation des dégâts sur une jetée après une tempête, l'évolution d'un débouché en mer et le suivi d'une plage. Un tel système est également utilisé aux Pays-Bas (levé terrestre uniquement), en Suède et en Australie.

D'autres applications ont été réalisées, en France notamment, à l'aide d'un système par avion. La figure 55 présente le procédé et des exemples de rendu topo-bathymétrique. Ce type de campagnes a été réalisé en particulier en 2001 par IFREMER sur le site de la Baie de l'Aiguillon.

Son utilisation est également envisagée pour les levés sur les zones ostréicoles du Croisic (44) et sur les zones marnantes de l'estuaire de la Loire.

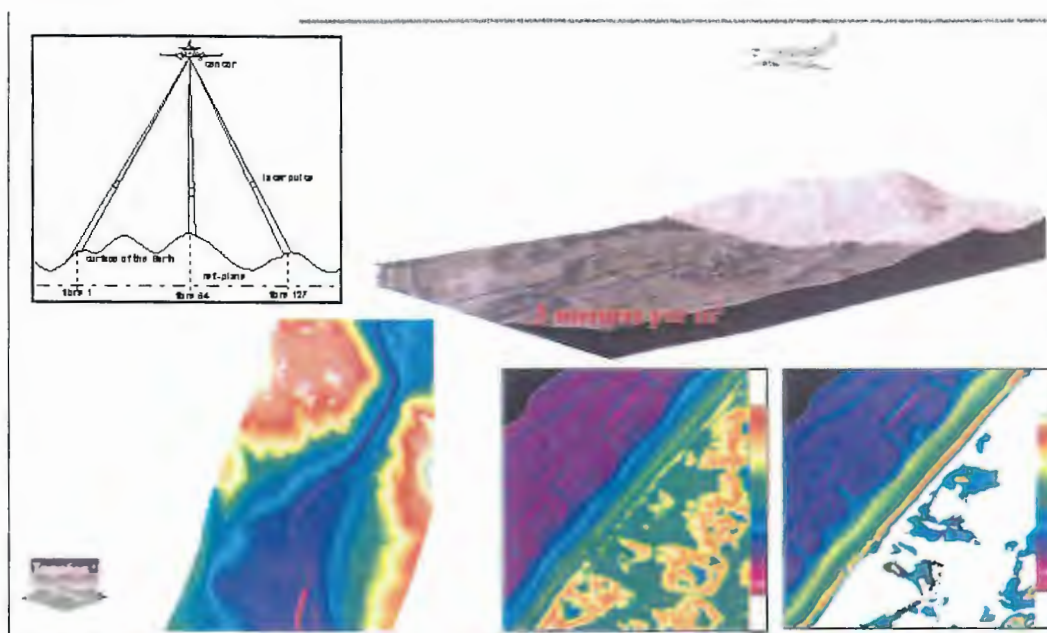


Figure 55 : Principes du laser aéroporté

Caméra - vidéo (figure 56)

Depuis 1992, un certain nombre de caméras vidéos sont installées sur une dizaine de plages à travers le monde, enregistrant automatiquement toutes les heures pendant 10 mn une série d'images (une par seconde) qui sont ensuite moyennées pour fournir une vision claire des zones de déferlement. Les images sont ensuite transmises par Internet au Laboratoire d'Imagerie Côtière (Coastal Imaging Lab) situé à l'Université de l'Oregon (USA) qui a mis au point ces stations ARGUS de surveillance du littoral. Les images moyennées sont ensuite redressées et analysées en utilisant notamment les données de niveau de marée et des mesures d'agitation disponibles à proximité. On en tire alors la position du rivage et des barres côtières. Cette technique est également utilisée en Hollande pour suivre l'évolution d'un rechargement de barre d'avant-plage.

Suivi photographique (figure 56)

Le suivi photographique est une technique beaucoup plus ancienne et très fréquemment utilisée. Cela constitue une méthode simple et peu coûteuse de réaliser un suivi des dunes et des ouvrages. Ces observations sont effectuées sur des sites spécifiques. Les prises de vue sont normalisées pour pouvoir être comparés d'une mission à l'autre. Il est cependant nécessaire de disposer de repères bien identifiés permettant une mesure des variations relatives du niveau du sable.

Cette technique peut s'appliquer à plusieurs paramètres :

- Suivi de l'efficacité ou du dysfonctionnement de certains ouvrages (épis, enrochement),
- Mouvement des fronts dunaires,
- Extension de la couverture végétale à la base des dunes,
- Suivi du développement des zones d'oyats ou autres plantes dunaires.

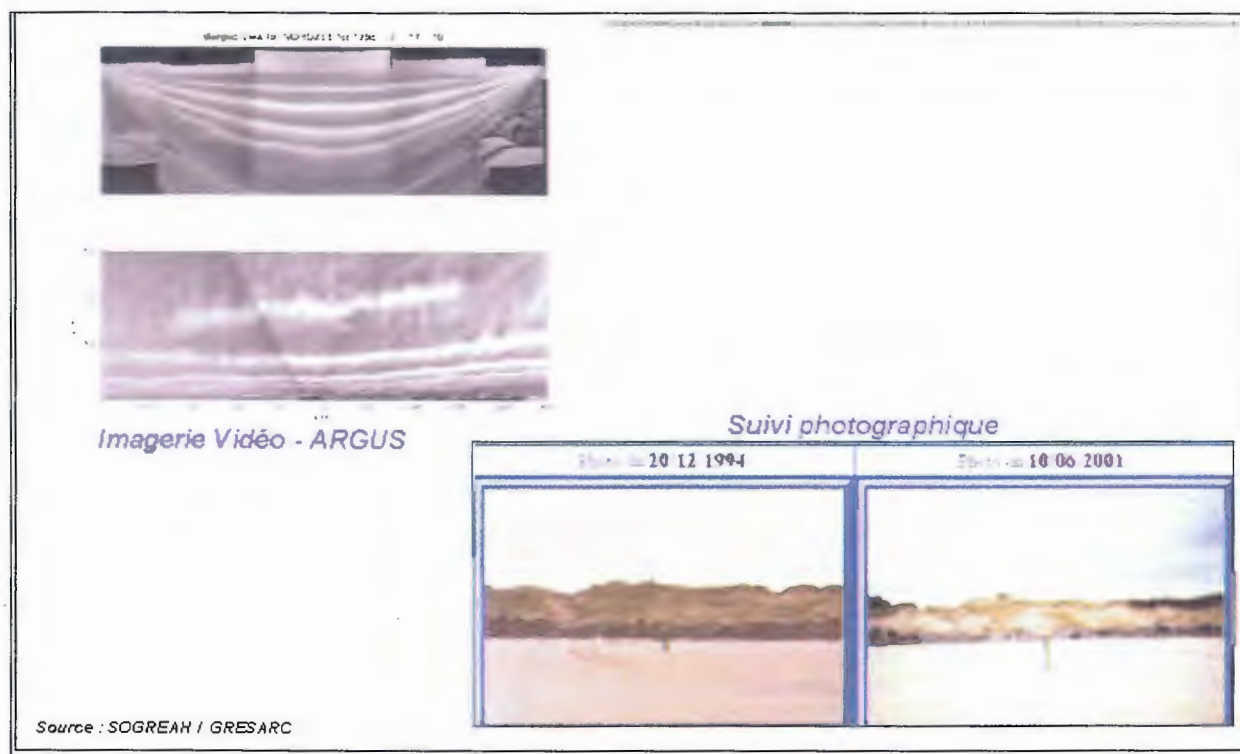


Figure 56 : L'imagerie vidéo et le suivi photographique

Afin de synthétiser les méthodes de suivi présentées, le tableau suivant fournit un récapitulatif des différentes techniques (usage, précision verticale).

RECAPITULATIF DES TECHNIQUES DE SUIVI		
Techniques	Usage	Précision verticale
Topographie traditionnelle (mesure au ruban,...)	Dune, plage et début d'avant-plage (1 m d'eau maxi)	± 1 cm à 10 cm
Bathymétrie traditionnelle (écho-sondeur)	En mer en dehors de la zone de déferlement	± 15 à 30 cm
GPS différentiel	Estran (avec engin motorisé) ou en mer avec vedette d'hydrographie	Estran : ± 2 cm à ± 10 cm
Traîneau marin	Zone de déferlement plages de sable	± 3 cm
Laser aéroporté	Dune, plage, avant-plage et ouvrages	± 5 cm à terre ± 15 à 30 cm en mer
Imagerie vidéo	Ligne de rivage, position des barres d'avant-plage	
Photographies	Zone dunaire, ouvrages	/

Suivi des aménagements et ouvrages

Les ouvrages ou aménagements doivent également faire l'objet d'un suivi.

Le suivi et l'entretien des ouvrages traitaient généralement de l'état des ouvrages, de leurs fondations, de la mise en évidence des pathologies spécifiques (déjointement, affouillement, dégradation ...), plus que la mise en évidence des dysfonctionnements générés par les ouvrages eux-mêmes.

Le suivi des ouvrages doit passer par la surveillance des effets des ouvrages sur la dynamique sédimentaire du (des) sites. Des travaux récents, menés par le GRESARC, ont consisté à proposer des méthodes dans le domaine du suivi et de l'entretien de ces petits ouvrages et aménagements.

Ce suivi peut passer par la réalisation régulière de levés topographiques ou profils de part et d'autres des ouvrages. Ce type d'action reste cependant peu évident à mettre en œuvre sur le terrain compte tenu de l'évolution rapide des milieux sédimentaires et du nombre important d'ouvrage (nécessité de réaliser de nombreux levés).

En complément ou en remplacement de ce protocole, un suivi photographique des ouvrages peut être entrepris. En effet, une méthode de photographie comparative permet de mettre en évidence les mouvements des blocs de la carapace et l'évolution morphologique de l'ouvrage. Afin d'obtenir des clichés comparables, là encore, des repères fixes de prise de vue sont souhaitables.

L'utilisation de ces dernières semble tout de même très intéressante d'un point de vue qualitatif et permet une bonne visualisation des évolutions les plus importantes. Par ailleurs, l'archivage de ces photographies peut s'avérer une base de données importantes pour le suivi et l'étude des ouvrages de défense.

La localisation des ouvrages à l'aide d'un GPS différentiel (Differential Global Positionning System) semble intéressante de façon à positionner précisément les ouvrages et permettre éventuellement de les inclure à un SIG (système d'information géographique) axé sur le suivi des côtes.

3.5.4 Suivi de l'efficacité des solutions proposées

A partir des sites visités nous avons vu qu'une grande variété d'aménagements est mise en place sur le littoral varois.

Les mesures de suivi visent à faire une évaluation de l'efficacité de l'ensemble des opérations mises en œuvre.

Rechargements

Dans le cas de rechargements de plage, l'opération est considérée comme un échec :

- lorsqu'il y a une incapacité à protéger le haut de plage ou les structures pendant les tempêtes,
- lorsqu'il y a une perte de matériau en abondance (supérieure aux prévisions) sans augmentation des houles de projet (importante fuite des matériaux) qui nécessite des apports d'entretiens beaucoup plus fréquents et importants.

Le suivi de l'évolution d'un rechargement fait appel aux mêmes techniques que celles utilisées pour déterminer l'évolution du trait de côte. Des relevés topographiques et éventuellement bathymétriques doivent être effectués régulièrement afin de permettre la comparaison de profils de plage.

L'objectif est de prévoir avec quelle fréquence les rechargements devront s'effectuer pour éviter que la mer n'atteigne le niveau préalablement déterminé. Le GRESARC propose la méthodologie suivante :

- Suivi mensuel pendant 12 mois pour surveiller l'évolution du stock des matériaux apportés,
- Suivi topographique biannuel les années suivantes,
- Bilan de l'évolution du rechargement

En ce qui concerne la mesure de l'efficacité du rechargement, le GRESARC a mis en œuvre une grille d'évaluation dont les critères sont les suivants :

- Erosion importante (supérieure aux années précédentes) et absence de rechargement d'entretien.
- Erosion normale (identique aux années précédentes), absence de rechargement d'entretien.
- Erosion faible, pas de rechargements d'entretien prévus ou érosion très importante avec des rechargements insuffisants.
- Erosion normale à faible, rechargements d'entretien prévus ou réalisés.
- Accumulation, report des rechargements envisageable.

Aménagements dunaires

Le suivi des aménagements dunaires a pour but principal de vérifier l'état de la dune en observant son évolution altimétrique, le développement de la végétation, l'état des ganivelles le cas échéant et l'avancée ou le recul de la ligne de rivage.

Il fait appel à plusieurs types d'observations. L'objectif est de savoir si la dune tend à se développer ou si elle continue à s'éroder depuis que des mesures ont été prises.

Afin d'étudier l'évolution de telles opérations, des relevés topographiques réguliers au droit des dunes permettent de connaître les variations altimétriques de la dune ainsi que de caractériser la tendance de cette évolution (érosion ou engraissement).

Lorsque des ganivelles ont été mises en place, le taux d'enfouissement de ces dernières donne une bonne indication sur l'évolution géométrique de la dune. Cette observation permet d'évaluer l'impact des mesures et éventuellement de prévoir leur renouvellement dans le temps. Ainsi, dans le cas où les ganivelles se trouveraient ensablées de façon très importante de nouveaux aménagements pourraient être planifiés pour aller dans le sens d'une stabilisation de la dune.

Le recul ou l'avancée d'une dune peuvent également être déduit en fonction des variations de son implantation végétale. En effet, la ligne de végétation de la dune côté mer est caractéristique de l'évolution dunaire. La présence de jeunes plants en direction de la plage témoigne d'une avancée de la dune et donc d'un engraissement du haut de plage tandis que lorsque la ligne de végétation se trouve au sommet d'une micro falaise dunaire, la tendance est à l'érosion. La morphologie de la dune est donc également un bon indicateur de l'évolution du massif. Ainsi, lors de l'inspection, la présence de dunes embryonnaires en avant du cordon principal permet, elle aussi, de mettre en évidence un engraissement. La fréquentation anthropique du massif dunaire joue un rôle parfois important dans l'évolution des aménagements. Les actes de dégradation volontaire des aménagements doivent être précisés lorsqu'ils sont visibles.

En outre, dans certains cas, l'aménagement du massif dunaire est accompagné de panneaux d'informations destinés à informer le public des actions entreprises et à le sensibiliser au respect d'un site. Il arrive également que des sentiers balisés servent à canaliser la fréquentation anthropique vers des itinéraires préférentiels. Ce type de mesures, relativement douces, a parfois des résultats très intéressants et leur impact doit donc également être pris en compte lors des inspections.

Le GRESARC a développé une méthodologie spécifique de suivi des zones dunaires.

La notation établie par le GRESARC dans le cas d'un suivi dunaire est la suivante :

- Dune présentant une falaise importante, ganivelles et/ou végétation détruites.
- Absence de végétation côté mer et présence d'une micro-falaise, pas de ganivelles ou ganivelles n'ayant plus d'impact (trop ensablées, détériorées).
- Ganivelles et/ou végétation en bon état.
- Bon ensablement des ganivelles, présence de végétation importante.
- Dune avec végétation en progression, embryo-dunes, ganivelles ensablées mais toujours efficaces (empêche le piétinement et retiennent le sable).

Dans ce cas particulier, il peut arriver qu'un bon impact des aménagements conduise à un ensablement rapide des ganivelles. Des dispositions doivent alors être prises afin que l'aménagement soit régulièrement remis en état. En effet, si les ganivelles s'ensablent trop, elles ne jouent plus leur rôle de barrière vis-à-vis de la fréquentation anthropique du site et ceci peut conduire à une dégradation des plantations par piétinement. La mise en œuvre de ce suivi pourrait être réalisé en collaboration avec l'ONF, gestionnaire de la plupart des sites, et disposant d'une parfaite connaissance du terrain. Ces informations pourraient être consignées dans une base de données.

4. CONCLUSIONS

L'étude du suivi du trait de côte du littoral varois est une étude transversale puisqu'elle a pour vocation d'enrichir les connaissances sur le territoire, de suivre l'évolution du trait de côte, mais aussi de pouvoir replacer chaque portion du littoral dans son contexte environnemental de façon à rationaliser au mieux les solutions envisageables d'aménagement ou de gestion des sites.

Afin d'améliorer les connaissances sur les sites qualifiés de sensibles, il faudrait toutefois entreprendre un travail bibliographique de grande ampleur et certainement plusieurs campagnes de suivi, car les visites terrains effectuées pour les besoins de l'étude ne sont pas suffisantes pour apprécier la fragilité d'un site. En effet, les visites n'ont permis d'établir qu'une série d'observations à un instant T, elles ne peuvent fonder une réflexion globale sur l'évolution des sites.

Cependant, lors de la réalisation de l'étude, une certaine quantité de données a été créée ou synthétisée. Par la donnée qui a été créée, l'étude et la base de données, peuvent également être mis en relation avec d'autres thématiques comme l'évolution de l'urbanisation, l'évolution de l'assainissement et la situation des exutoires fluviaux et pluviaux, les apports sédimentaires des rivières et cours d'eau et leurs impacts sur le milieu, l'évolution des herbiers de posidonie, les sites ayant subis des opérations d'aménagement, des plages ayant déjà connu des opérations de rechargement en matériaux. Sur ce dernier point il peut être fait également un rapprochement avec les filières de destination des matériaux de dragages portuaires.

5. ANNEXES

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Actes du colloque « Le Maire et la plage » - Le Lavandou, ANEL, 2003.

BCEOM, GRESARC, « La défense des côtes contre l'érosion marine, pour une approche globale et environnementale », MATE, 1997.

BCEOM, « Etude d'impact sur l'aménagement et la protection de la plage d'Agay » Mairie de Saint-Raphaël, 2001.

BONNOT-COURTOIS C., LEVASSEUR J-E., « Reconnaissance de la limite terrestre du domaine maritime - Intérêt et potentialités des critères morphosédimentaires et botaniques », CETMEF 2002.

CAREX ENVIRONNEMENT, 1999. Aménagement de la plage de Bonnegrâce - demande d'autorisation de la loi sur l'eau et du décret n° 93-743 du 29 mars 1993.

Collectif, « Définition et cartographie des unités sédimentaires du littoral méditerranéen français, synthèse bibliographique », Agence de l'Eau RM&C, Université d'Aix-Marseille III, 2001.

Collectif, « Quel rôle pour l'Etat en matière de défense contre la mer ? », MATE, 2002

Collectif, « La défense des plages contre l'érosion dans la zone RAMOGE », RAMOGE, 2002

Collectif, « Guide technique : gestion physique du littoral » EID Méditerranée, 2002.

Collectif, « Evaluation of erosion hazards », The Heinz Center, 2000.

Collectif, « Données géographiques de référence en domaine littoral marin » SHOM, IFREMER 2000.

COURTAUD J., « Dynamiques géomorphologiques et risques littoraux, cas du tombolo de Giens » Thèse de 3^e cycle, Marseille 2000.

CREOCEAN, 2002. Mise en place d'un suivi topographique et bathymétrique sur la plage de Bonnegrâce. - note technique 100130-NT-2.

EOL, « Analyse de l'évolution morphosédimentaire des plages du SIVOM du littoral des Maures - Rapport de campagne n° 3 », 2003.

EOL, 2003. suivi de l'évolution des plages de la commune Hyères -les-palmiers.

ERAMM, 2003. Aménagements et protection de la partie sud de la plage de Bonnegrace - Alvéole. - Préconisations pour protection définitive du site et des ouvrages construits.

GARRY G., GRASZK E., TOULEMENT M., "Plans de prévention des risques littoraux (PPR), guide méthodologique » MATE, METL, La Documentation française, 1997.

IN VIVO, SOGREAH, « Gestion dynamique des sédiments sur les côtes de l'île de Ré », Conseil général de Charente-Maritime, 2003.

LANFRANCHI H., « Définition de la politique départementale d'aide aux communes pour la mise valeur et la protection de la mer et du littoral ; extension du dispositif aux communes riveraines des lacs » Conseil général du Var, 2004.

LNH, SOGREAH « Catalogue sédimentologique des côtes françaises - Côtes de la Méditerranée », EYROLLES, 1984.

PICON B., PROVENSALE M., « Faut-il se protéger de la mer ? Instabilités naturelles et politiques publiques dans le delta du Rhône » Faire Savoirs n° 2, 2002.

OCEANIDE, 1991. Etude de l'implantation d'un ouvrage de protection au sud de la plage de Bonnegrace.

OCEANIDE, 1991. Etude de la dynamique et du bilan sédimentaire de la plage de Bonnegrace à Six fours les plages.

OCEANIDE, 1998. Aménagements de la plage de Bonnegrace - validation en canal à houle de rechargements (rapport).

OCEANIDE, 1992. Définition d'un schéma directeur et d'un avant projet d'aménagement de protection de la baie des Sablettes contre l'érosion marine.

PNUE/PAM/PAP, « Livre blanc : Gestion des zones côtières en méditerranée » Split, programme d'actions prioritaires, 2001.

RIGONI M., « Erosion du littoral de la mer Méditerranée : les conséquences pour le tourisme », Conseil de l'Europe, 2003.

Université d'Aix Marseille III, 2001. définition et cartographie des unités sédimentaires du littoral Méditerranéen Français, synthèse bibliographique- caractérisation de l'évolution du trait de cote depuis 50 ans.

SOGREAH, 1986. Stabilisation de la plage de Bonne Grace.

7. FICHE SIGNALÉTIQUE ET DOCUMENTAIRE

Renseignements généraux concernant le document envoyé	
Titre de l'étude	L'évolution du trait de côte du littoral varois - Novembre 2004
Nombre de pages	123 pages
Nombre de planches / figures	55 figures
Maître d'ouvrage	Conseil Général du Var
Adresse	390, avenue des Lices BP 1 303 83076 TOUTLON Cedex
Tel ; fax ; mail	Tél. 04.94.18.61.62, Fax : 04.94.18.61.89
N° marché/ Date de notification	Notifié le 17/12/2003 N/Ref : CA /PP/011

Historique des envois				
Documents envoyés	Nombre d'exemplaires	Nombre de CD-ROM	Date d'envoi	N° récépissé
Rapport provisoire	1	0	28/06/04	311
Rapport final	3	1 jeu	30/11/04	339

Intervenants dans l'élaboration des documents	
Rédacteur	Régis BIZIEN ; Roland GRUNCHEC
Cartographe / Illustrateur	Roland GRUNCHEC
Intervenants extérieurs	Yannick Fagon, DDE - SM - Brest

Contrôle interne de la qualité		
	Niveau 1 : Auteur(s)	Niveau 2 :
Contrôlé par	Jean-Philippe PAGOT	Régis BIZIEN
Date	30/11/04	30/11/04