



***IV^{ème} Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation
sur les risques naturels"***

***Etude du risque de submersion marine de la
commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Phase 1 – Etat des données existantes***

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 01-LIT-216

janvier 2002

BRGM/RP-51461 -FR



IV^{ème} Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation
sur les risques naturels"

Etude du risque de submersion marine de la
commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Phase 1 – Etat des données existantes

C. Oliveros, A. Lambert

janvier 2002

BRGM/RP-51461-FR



*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

Mots clés : Camargue, risque de submersion, recensement, bibliographie, synthèse des données

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Oliveros C., Lambert A (2002) – IV^{ème} Contrat de Plan Etat Région "Risques naturels et nuisances Action : Données informations, évaluation sur les risques naturels". – Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer Phase 1 : Etat des données existantes. Rapport BRGM/RP-51461-FR. 76 p. 4 fig. 7 tableaux.

© BRGM, 2002, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport a pour objectif le recensement et la connaissance de la bibliographie et des données existantes concernant la problématique du risque de submersion des Saintes-Maries-de-la-Mer.

La bibliographie, abondante, est constituée principalement d'ouvrages universitaires et techniques. Après lecture de ces travaux, la maîtrise de trois types de thèmes apparaît essentielle à la cohérence de l'étude : la connaissance des caractéristiques des dynamiques météo-marines, l'évaluation de l'état physique du littoral, et les politiques d'aménagement mises en place pour protéger ce dernier.

Les données, également abondantes, correspondent aux deux premières problématiques :

- Les dynamiques sont quantifiées à partir d'enregistreurs disposés sur le pourtour du littoral départemental. Les périodes couvertes par les enregistrements sont variables d'un type de capteur à un autre : la plus longue série statistique correspond aux variations marégraphiques, enregistrées quotidiennement depuis 1904. Les enregistrements de houles et de vent sont plus récents sur le delta (seconde moitié du XX^{ème} siècle pour l'anémométrie, dernier quart pour la houlographie). Ils sont effectués par des organismes publics (CETMEF et Météo France).
- L'état du littoral est évalué à partir de données topo-bathymétriques et de photographies aériennes. Les premières proviennent essentiellement des travaux des universitaires. La répétitivité et la durée de ces opérations sont essentielles à la connaissance du fonctionnement côtier, appréciable par la superposition de profils transversaux. Le comportement à long terme de l'ensemble du trait de côte est perceptible grâce à la superposition de clichés aériens effectués depuis la seconde guerre mondiale, réalisés par l'IGN ou des prestataires locaux.

L'existence de supports cartographiques numériques développés par l'IGN, permet la spatialisation des données recensées à des fins d'analyse et de réflexion.

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

Sommaire

SYNTHESE	3
INTRODUCTION	7
1. CADRE GEOGRAPHIQUE DE L’ETUDE	9
2. ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES	11
2.1. Dynamiques et périodes de retour	11
2.1.1. Les variations du niveau marin.....	11
2.1.2. Le climat de houle	13
2.1.3. L’anémométrie	15
2.2. Evolutions morphologiques récentes et actuelles du littoral de Camargue.....	15
2.2.1. Ensemble de la Camargue	16
2.2.2. Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.....	16
2.2.3. Camargue Orientale.....	17
2.3. L’aménagement du littoral camarguais	17
2.3.1. Inventaires	17
2.3.2. Etudes d’impact et rapports techniques.....	17
3. DONNEES EXISTANTES	19
3.1. Les Dynamiques	19
3.1.1. Les données de vent.....	19
3.1.2. Données marégraphiques.....	21
3.1.3. Données de mer et houlographie	21
3.2. Données topographiques et bathymétriques.....	23
3.2.1. Profils SOGREAH.....	23
3.2.2. Relevés CEREGE.....	23
3.2.3. Relevés bathymétriques du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine)	26
3.3. Données photographiques	26
3.3.1. Commune des Saintes-Maries	26
3.3.2. Beauduc à Piémanson (Commune d’Arles).....	26
3.3.3. Piémanson à la flèche de la Gracieuse (Commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône)	26
3.4. Supports cartographiques disponibles	26
3.4.1. Supports papiers	26
3.4.2. Supports numériques	27
CONCLUSION	29
ANNEXES	33
BIBLIOGRAPHIE	73

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

Introduction

Les phénomènes de submersion, en zone côtière basse, sont liés à trois principaux éléments :

- la tenue et la hauteur des systèmes de protection des terres qu'ils soient naturels (dune, haute plage ou cordon littoral) ou artificiels (digues, murs...),
- les surcotes du niveau de la mer en période de tempête (vent),
- l'énergie érosive des vagues à la côte.

Du fait de sa localisation, des phénomènes d'érosion séculaire qui affectent globalement tout le littoral jusqu'en Petite Camargue et de la configuration morphologique de la frange côtière (cordon littoral de faible largeur et altitude), la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer est particulièrement exposée aux risques de submersion. Les ouvrages de protection de la zone urbanisée y sont par ailleurs très importants. Des travaux complémentaires sont d'ores et déjà programmés.

Les objectifs majeurs de l'étude concernent :

- Rechercher des événements climatiques historiques exceptionnels dans le secteur large de la Camargue, qui ont pu conduire aux Saintes ou sur d'autres communes du littoral à des situations à caractère catastrophique ;
- Cartographier des submersions récentes et historiques d'origine marine ;
- Cartographier et analyser l'évolution du trait de côte (érosion, engraissement)
- Fournir, pour des situations météorologiques données, les valeurs de surcote associées (sur-élévation du niveau de la mer sous l'effet du vent et de la pression atmosphérique) et les conditions de houle au large ;
- Calculer des déformations des houles à la côte et de la sensibilité du littoral à l'érosion
- Analyser des facteurs et des conditions de submersion (synthèse des études locales réalisées) ; Rechercher sur les effets des surcotes sur les zones basses du littoral (plages sans ouvrages) ;
- Déterminer des situations critiques (état d'érosion des plages, situations météorologiques...) et contrôle des paramètres de dimensionnement des ouvrages en place (surcote et houle de projet) ;
- Etudier enfin la faisabilité d'un système d'alerte basé sur l'état du littoral, des infrastructures de défense et les prévisions météorologiques.

Le présent rapport concerne la première partie de l'étude, il présente un état des lieux des connaissances et des principales études disponibles sur la zone du projet, ainsi qu'un recensement des données brutes et traitées susceptibles d'être utilisées à des fins de complément des investigations menées au cours du projet.

Cette étude est réalisée dans le cadre du Contrat de Plan Etat / Région, au titre de la réalisation d'actions visant à la " réduction des risques naturels et nuisances ".

Elle est cofinancée par le Conseil Régional et la DIREN, d'une part, ainsi que par un apport des fonds propres du BRGM d'autre part.

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

1. Cadre géographique de l'étude

Cette étude porte sur le comportement du littoral des Saintes-Maries-de-la-Mer en réponse aux aléas de submersion marine. La zone d'étude correspond donc aux côtes comprises dans les limites communales. Elle s'étend de la limite départementale entre Gard et Bouches du Rhône, située au niveau de l'exutoire de l'ancien Rhône vif, en Petite Camargue, à la limite des communes d'Arles et des Saintes-Maries, située au niveau de la station de pompage de Beauduc.



Figure 1 : localisation du secteur d'étude

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

2. Eléments bibliographiques.

L'évolution du littoral du delta du Rhône a déjà fait l'objet de nombreuses études, correspondant à deux grands types de sources : les rapports effectués par les bureaux d'étude dans le cadre de l'aménagement du littoral de Camargue contre les agressions météo-marines, et les travaux des universitaires qui étudient les évolutions de la zone côtière à plus ou moins long terme. Après consultation de ces différents ouvrages, la prise en compte de trois types de thématiques bibliographiques semble judicieuse :

- les dynamiques météo-marines et leurs périodes de retour,
- les évolutions récentes et actuelles de la frange littorale du delta du Rhône,
- les politiques et les types d'aménagements mis en œuvre dans le cadre de la protection du littoral.

Les résumés des principaux ouvrages sont présentés en annexe (Annexe 1), et leur localisation sur la figure suivante (Figure 2).

2.1. DYNAMIQUES ET PERIODES DE RETOUR.

Les évolutions du littoral résultent des actions conjuguées de trois sortes de dynamiques : les variations du niveau marin à long et court terme, le climat de houle et l'anémométrie. La plupart des travaux traitant des processus littoraux abordent l'étude de ces 3 paramètres.

2.1.1. Les variations du niveau marin.

On appelle « marée observée », ou « niveau marin instantané » l'élévation instantanée de la surface. Cette valeur, très fluctuante dans le temps, est le résultat de la combinaison de deux variables qui sont d'une part, la « marée astronomique » (élévation périodique de la surface en réponse aux variations périodiques de l'attraction des astres), d'autre part, la « marée barométrique », qui traduit la réaction du plan d'eau à l'application locale des forces induites par la pression atmosphérique et le vent. Cette deuxième composante est appelée « surcote », ou « décote », suivant le type de variation de la surface qu'elle induit.

En terme d'aménagement côtier, les ouvrages sont calibrés à partir de valeurs de référence du niveau de la surface appelées à tort « surcotes de projet », car elles réfèrent non pas aux variations de la surface induites par les conditions atmosphériques, mais à la « marée observée », marée astronomique plus marée barométrique.

Les références des études citées ci-après sont répertoriées dans la liste bibliographique en fin de rapport.

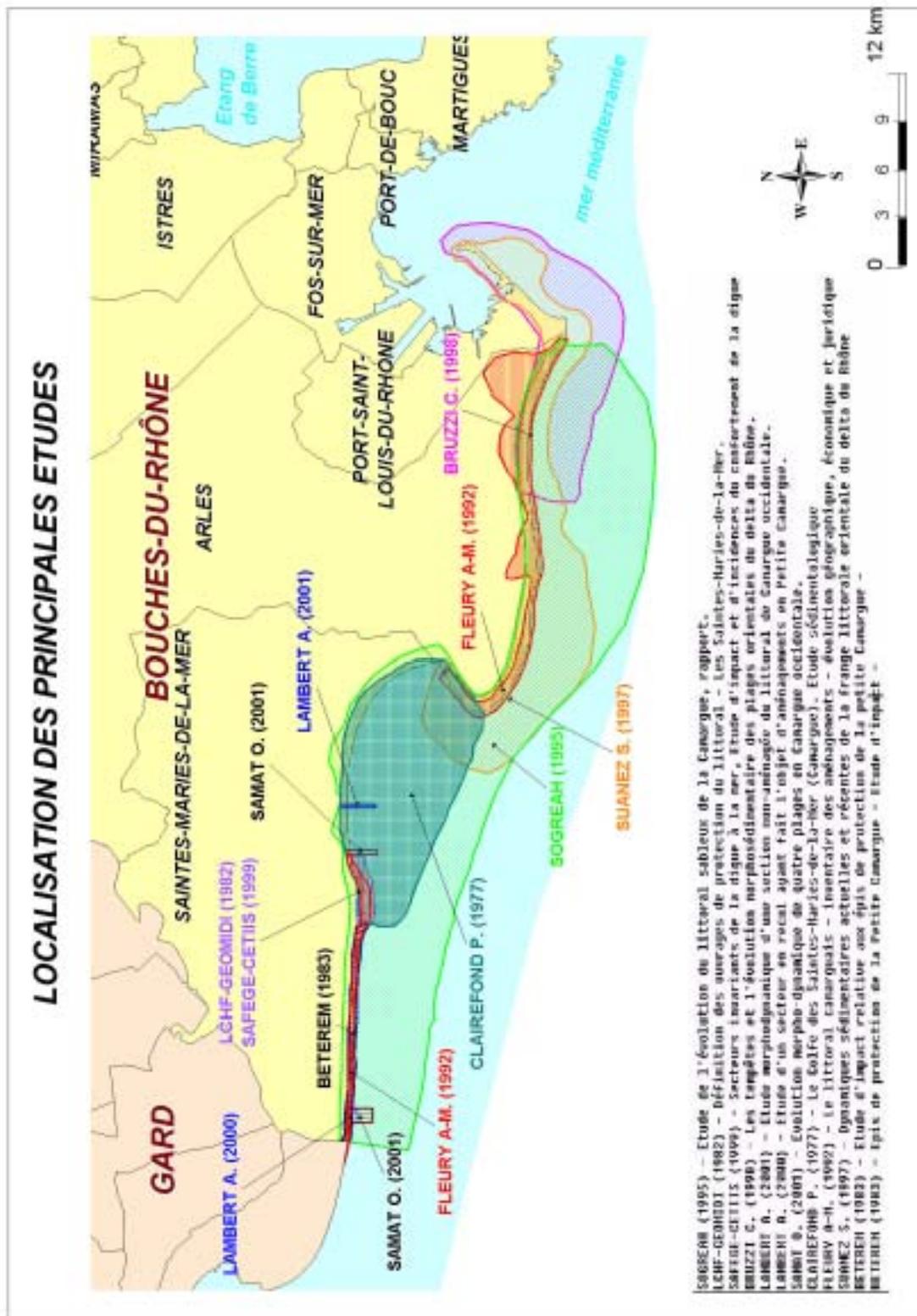


Figure 2 : Localisation des aires d'emprise des principales études.

a) Rapports techniques

Trois rapports abordent donc la problématique des variations du niveau marin :

- Le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) et le bureau d'étude GEOMIDI établissent en 1982 des cotes de projet de l'élévation du niveau marin.
- Le bureau d'étude SOGREAH actualise à la hausse en 1995 les surcotes de projet définies par LCHF-GEOMIDI.
- En 1996, Provansal *et al.* publie un état des lieux des connaissances sur l'élévation du niveau marin en Méditerranée

b) Etudes universitaires

Les universitaires ont principalement travaillé sur les impacts à la côte des variations instantanées ou longues du niveau marin :

- Dans le cadre d'un projet d'aménagement du littoral de la ville des Saintes-Maries, Clairefond (1977) propose une évaluation des niveaux extrêmes potentiels.
- Suanez (1993 et 1997) et Suanez *et al.* (1997) a également étudié les périodes de retour des surcotes paroxysmal. Ces conclusions aboutissent à des valeurs supérieures à celles retenues par SOGREAH (1995). Il propose de plus une projection de l'évolution de ces valeurs dans le futur en tenant compte de l'élévation eustatique globale pour les 50 années à venir. Il aboutit également à une évaluation de la vitesse annuelle moyenne de remontée du niveau marin dans le delta du Rhône depuis le siècle dernier. Enfin, il détermine la répartition saisonnière des plus hautes et plus basses valeurs marégraphiques.
- Bruzzi (1995,1996 et 1998) met en évidence les surcotes réelles (marée barométrique) en les isolant des oscillations astronomiques. Elle étudie ainsi la variabilité inter et intra annuelle des surcotes, et effectue le recensement des événements exceptionnels au cours du XX^{ème} siècle.

2.1.2. Le climat de houle.

Il est étudié dans les mêmes rapports et études que ceux traitant de la marégraphie. Il faut distinguer les valeurs de houle au large de celles à la côte, qui ont subis l'influence de la bathymétrie. Ces modifications sont dues au phénomène de réfraction, qui consiste en une adaptation des houles au contour du fond, les lignes de crêtes tendant à devenir de plus en plus parallèles aux cotes bathymétriques avec la diminution de profondeur.

a) Rapports techniques

On retrouve donc les mêmes rapports que précédemment :

- Le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF) et le bureau d'étude GEOMIDI établissent en 1982 les périodes de retour des houles décennales, cinquantennales et centennales.
- En 1995, le bureau d'étude SOGREAH actualise à la hausse les valeurs établies par LCHF-GEOMIDI, en se basant d'une part sur les enregistrements du large, d'autre part sur une série statistique supérieures à dix ans, enregistrée au Cap Couronne. A partir des valeurs de projet, des plans de houles numériques sont calculés par l'emploi d'un modèle informatique de propagation, ainsi que les coefficients de réfraction associés pour les principaux secteurs et pour différentes zones géographiques.
- En 1996, Provansal *et al.* font la synthèse des différents climats de houle en Méditerranée.

b) Etudes universitaires

De même que pour les rapports, les travaux universitaires concernant la houlographie en Camargue sont les mêmes que ceux traitant de la marégraphie, aux exceptions des travaux de Blanc. L'étude des houles est abordée de manières diverses :

- Vernier (1972) établit les corrélations entre mer du vent et mer des houles (en hauteur et direction) qui seront reprises dans tous les travaux postérieurs sur le Golfe de Fos et la Camargue orientale, ce jusqu'à l'installation d'un houlographe directionnel à la pointe de Beauduc.
- A partir des travaux de Vernier, Clairefond (1977) détermine une première série de valeurs de période de retour des houles, et établis les plans de vagues pour le Golfe des Saintes-Maries.
- Blanc (1977 et 1979) se consacre à l'étude des houles de tempête d'événements précis. A partir d'enregistrement de houle, il détermine les grandes périodes annuelles de morphogenèse côtière.
- Suanez (1997) établit manuellement les plans de vagues pour la section orientale du Delta du Rhône. A partir des travaux de Vernier (1972), et grâce à des données supplémentaires, il détermine le climat de houle saisonnier moyen ainsi que la variabilité annuelle des houles de tempêtes.
- Bruzzi (1995 et 1998) détermine à partir d'événements types les valeurs seuil de houles efficaces pour la morphogenèse.

- Sabatier (1997 et 2001) calcule manuellement, puis à l'aide d'un modèle, les plans de houles pour les secteurs central et occidental du delta, ainsi que les coefficients de réfraction associés.

2.1.3. L'anémométrie

Elle est étudiée dans les travaux traitant des dynamiques. La majorité des ouvrages se basent sur l'étude de la vitesse et de la direction du vent à 10m.

a) Rapports techniques

- SOGREAH (1995) propose les roses des vents de 3 stations météo, et une synthèse des régimes en terme de direction.
- Provansal *et al.* définissent les régimes moyens pour la côte méditerranéenne.

b) Etudes universitaires

- Vernier (1972) définit le régime anémométrique moyen de l'est du Delta du Rhône.
- Blanc (1977 et 1979) étudie les caractéristiques anémométriques de l'ensemble du delta (1977), ainsi que le rôle du vent dans des événements météo-marins types.
- Bruzzi (1995 et 1998) étudie également le rôle du vent dans les tempêtes de sa période d'étude à des fins de seuillage du vent « efficace » en période de tempête. Elle étudie également le rôle de l'anémométrie dans le développement des surcotes.
- Bony et Buffet (1996) étudient le rôle des vents de terre dans le transit sédimentaire aérien.
- Suanez (1997) reprend les travaux de Vernier dans la qualification des direction de houle à partir des caractéristiques anémométriques.

2.2. EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES RECENTES ET ACTUELLES DU LITTORAL DE CAMARGUE

Les auteurs traitant ce sujet ont souvent travaillé par emboîtement de deux dimensions, temporelle et géographique : les variations du trait de côte de l'ensemble du delta ou de grandes zones d'étude sont calculées à une échelle séculaire ; les évolutions saisonnières, faisant appel à l'étude des dynamiques instantanées, sont évaluées à l'échelle de transects locaux de la frange littorale.

2.2.1. Ensemble de la Camargue

Les travaux disponibles proposent le plus souvent deux types d'études de l'ensemble du littoral de Camargue : un état des lieux géomorphologique (état des cordons dunaires, position du trait de côte, etc...) à un instant donné, et une étude sur une période plus ou moins longue du déplacement du trait de côte :

- Blanc (1977) établit donc un état des lieux du littoral entre 1975 et 1977, s'étendant de l'arrière-dune à une profondeur d'une dizaine de mètre. Il étudie la position instantanée des barres d'avant-côte, des différents courants (courant de retour, rip currents, etc...)
- SOGREAH (1995) cherche d'une part à mettre en valeur les zones « à risque » du littoral par la réalisation de 104 profils sur l'ensemble du linéaire côtier, d'autre part, par une étude des cartes anciennes, une zonation des secteurs ayant le plus reculés au cours des cinquante dernières années.
- Sabatier (1997 et 2001) étudie l'état géomorphologique de la zone émergée du littoral allant de la pointe de l'Espiguette à l'embouchure du Grand Rhône. Il établit (1997) une typologie de l'état des cordons dunaires. Par photo-interprétation, numérisation de cartes anciennes et suivis au D-GPS, il met en évidence les phases de recul et d'avancée du trait de côte depuis le siècle dernier.
- Suanez (1997) a effectué le même type de travail que Sabatier pour la section orientale du littoral du delta.

2.2.2. Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer

La commune des Saintes-Maries, qui s'étend de l'embouchure de l'ancien Rhône Vif (limite Gard – Bouches du Rhône) à la station de Pompage de Beauduc n'a pas fait l'objet de beaucoup d'étude géomorphologiques en raison de l'aménagement du littoral de la ville et de la Petite Camargue :

- Blanc *et al.* (1982) et Blanc (1985) étudient les causes et effets de l'érosion littorale en Petite Camargue, et leurs relations avec les tempêtes et les aménagements.
- Clairefond (1977) se base sur une évaluation des phénomènes d'érosion dans le golfe des Saintes-Maries, à partir de laquelle il établit une projection du recul futur du littoral.
- Lambert (2000 et 2001) étudie les perturbations morphodynamique générés par les aménagements effectués sur une section du littorale de Petite Camargue (2000), puis le comportement morphologique et hydrodynamique d'un profil type non aménagé dans le Golfe des Saintes-Maries.

- Samat (2001) compare les évolutions de la morphologie immergée de quatre profils situés dans des secteurs aménagés et non aménagés du littoral.

2.2.3. Camargue Orientale

Peu de travaux sont consacrés à la géomorphologie du secteur oriental du delta du Rhône, en raison des difficultés d'accès à cette zone, mais aussi des importantes politiques d'aménagement (digues frontales, etc...) qui y ont été développées :

- Blanc (1996) étudie la morphologie des profils, les dynamiques qui s'y développent et les rythmes de l'érosion côtière sur le littoral de Faraman.
- Bruzzi (1995 - 1998) et Bruzzi *et al.* (1996) étudient les impacts morphosédimentaires des tempêtes sur les plages situées à l'est et à l'ouest de l'embouchure du Grand Rhône.

2.3. L'AMENAGEMENT DU LITTORAL CAMARGUAIS

Les données bibliographiques concernant la protection du littoral camarguais proviennent essentiellement des organismes en charge de sa gestion et de son aménagement. Ce sujet a très peu été étudié par les universitaires, aux exceptions notables de Sabatier (2001) et Clairefond (1977).

2.3.1. Inventaires

- Fleury (1992) fait l'inventaire des aménagements réalisés sur le littoral camarguais et qualifie leur état.

2.3.2. Etudes d'impact et rapports techniques

a) Ensemble du littoral

- SOGREAH (1995) propose des scénarios d'aménagement du littoral en fonction de différentes hypothèses d'élévation du niveau marin.
- En 1994, le bureau d'étude BCEOM édite un schéma de mise en valeur de la mer de la limite du département du Gard au Grand Rhône.
- La Compagnie des Salins du Midi et Salines de l'Est (CSMSE) dispose des plans, coupes types des ouvrages, liste et rapports d'état et de réparation, etc...
- La Région PACA édite en 1990 un rapport sur la protection du littoral en Camargue, contenant un état des lieux des aménagements côtiers en 1990.

b) Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.

- Clairefond propose en 1977 une première étude de la protection du littoral de la ville des Saintes-Maries.
- En 1978, le bureau d'étude GEOMIDI étudie les modalités de protection de l'embouchure du Petit Rhône.
- GEOMIDI propose en 1982 un projet de protection du littoral des Saintes-Maries. Le Laboratoire Central d'Hydraulique de France et GEOMIDI (1983) définissent conjointement les ouvrages de protection nécessaires. Le LCHF (1982) étudie l'impact de ces aménagement par la construction d'un modèle réduit sédimentologique.
- En 1999, le bureau SAFEGE-CETIIS effectue l'étude d'impact des aménagements du littoral des Saintes-Maries non effectués en 1984.
- La CSMSE étudie en 1983 la mise en place d'épis sur son littoral.
- En 1983, le bureau d'étude BETEREM effectue pour la CSMSE et la commune des Saintes-Maries l'étude d'impact relative à la mise en place d'épis de protection en Petite Camargue.

c) Camargue Orientale

- En 1986, le bureau d'étude GEOCONCEPT effectue pour la CSMSE l'étude d'impact des aménagements nécessaires à la protection du littoral des Salins de Giraud. En 1983, il publie une note d'étude complémentaire à cette étude d'impact.

3. Données existantes

Elles correspondent à 4 domaines : les informations concernant les dynamiques affectant le littoral de Camargue, les relevés topo-bathymétriques, les campagnes de photos aériennes existantes et les différents supports cartographiques. Certaines de ces données ont déjà fait l'objet d'un traitement dans les ouvrages sus-cités. On distinguera donc les bases de données brutes des séries statistiques obtenues par les auteurs.

3.1. LES DYNAMIQUES

Il s'agit principalement de données concernant les dynamiques météo-marines, responsables de l'évolution du trait de côte du delta du Rhône et donc à l'origine du risque de submersion (Figure 3).

Elles concernent :
- l'anémométrie
- la marégraphie
- le climat de houle.

3.1.1. Les données de vent

L'anémométrie est obtenue à partir d'enregistrements de vitesse et de direction du vent à 10m du sol. On dénombre 5 stations météo gérées par Météo France sur et à proximité de la zone d'étude. Seule la station de Port Guardian (Les Saintes-Maries-de-la-Mer) est située sur le littoral du Delta (Annexe 2).

a) Données brutes

Les données issues des stations permanentes sont disponibles à partir de la base de donnée informatique COLCHIQUE, sur le serveur Internet de Météo France. Les périodes d'enregistrement et les types de données disponibles pour chaque station sont précisées en annexe (Tableau 2. 1) .

b) Données interprétées

L'anémométrie du delta du Rhône à principalement été étudiée du point de vue de la caractérisation des régimes moyens et saisonniers, sur des périodes variables. Vernier (1972) à établi des corrélations entre régime des vents et houlographie, reprises par Suanez (1997) sur une série statistique plus longue (Annexe 2, tableau 2.1).

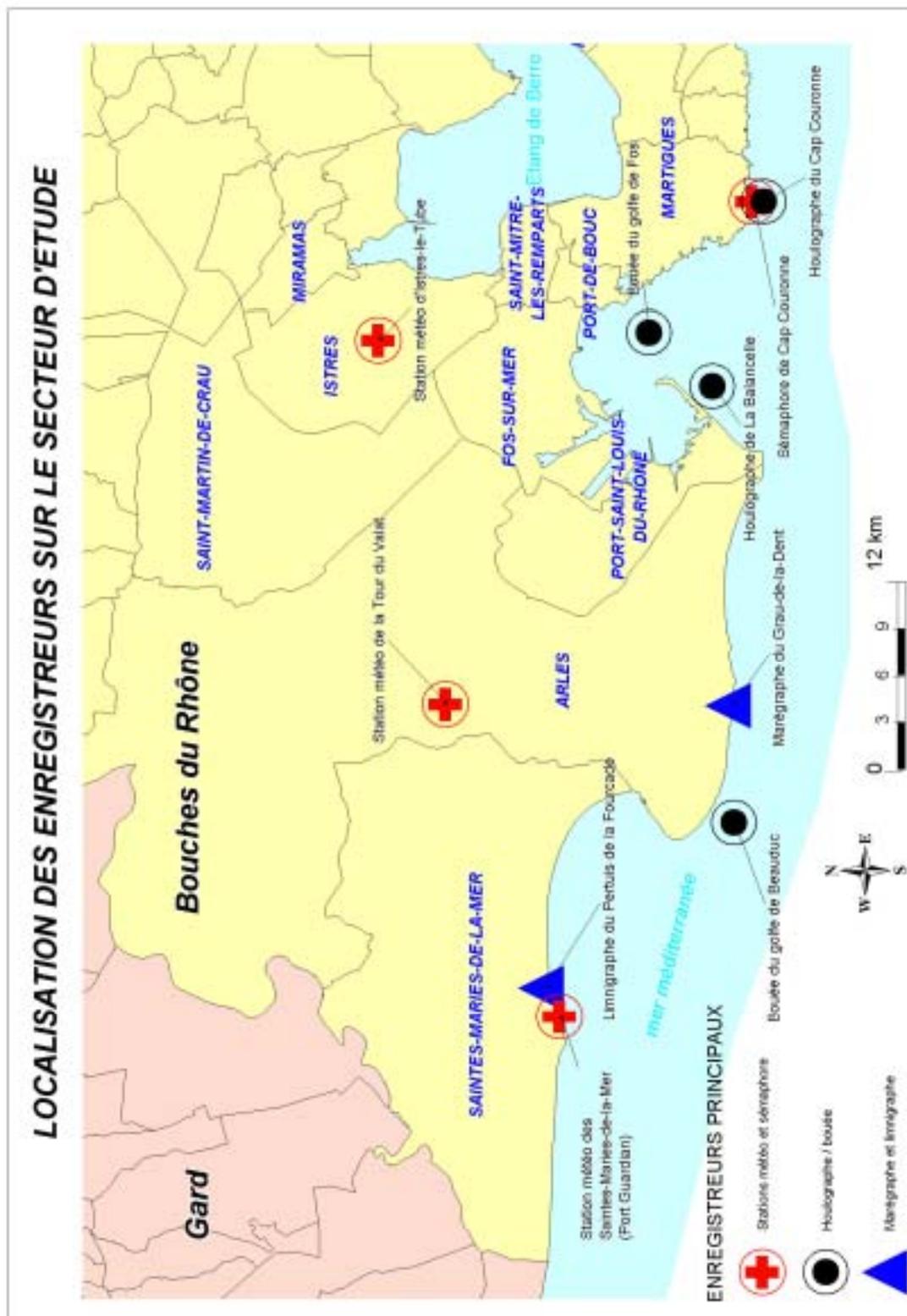


Figure 3 : Localisation des principaux enregistreurs.

3.1.2. Données marégraphiques

Elles proviennent du seul marégraphe existant en Camargue. Situé sur le littoral de Salin-de-Giraud (Grau de la Dent), l'appareil de type marégraphe fixe à flotteur est géré et entretenu par la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est (CSMSE).

Sur la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer, un limnigraphe indique les variations du niveau d'eau de l'étang de Vaccarès. Implanté au Pertuis de la Fourcade, sur la prise d'eau permettant le remplissage de l'étang, les mesures de cet appareil sont très largement influencées par les variations instantanées du niveau de la mer. SOGREAH (1995) s'en sert donc pour évaluer la fréquence de dépassement de la cote +70cm NGF (Annexe 4).

a) Données brutes

Les valeurs de marée à 7h du matin sont disponibles auprès de la CSMSE depuis décembre 1904. Un hiatus existe de 1962 à 1974, suite à la perte d'un document d'archive. A partir de 1974, les hauteurs maximales et minimales journalières sont relevées. Le limnigraphe du Pertuis de la Fourcade fournit les valeurs journalières maximales depuis juillet 1982 (Annexe 4, Tableau 3.1.).

b) Données interprétées

Les enregistrements du marégraphe du Grau de la Dent ont été utilisées à plusieurs fins. Suanez (1997), SOGREAH (1995) et LCHF-GEOMIDI (1982) proposent des analyses prévisionnelles des périodes de retour des niveaux d'eau (loi de Gumbel) à partir de séries plus ou moins étendues des relevés de la CSMSE. Suanez (1997) obtient par lissage et interpolation linéaire la vitesse séculaire d'élévation du niveau marin dans le delta du Rhône. Bruzzi (1998) extrait les surcotes réelles (surcotes barométriques) par déduction des élévations cycliques (Annexe 4, tableau 3.3.).

3.1.3. Données de mer et houlographie

On dénombre 5 enregistreurs sur ou à proximité du delta du Rhône, dont 4 sont encore en service à l'heure actuelle. Depuis l'arrêt du houlographe à ultrasons du Cap Couronne (1964-78), les données de houle proviennent toutes de bouées de type DATAWELL. Celles issues des appareils du CETMEF (houlographe de Beauduc et de Sète-Marseillan) sont accessibles à partir de la base de donnée CANDHIS (Centre d'Archivage National de Données de Houle in Situ), gérée par le Ministère de l'Equipement (CETMEF). Les bouées situées à l'est du Delta (Balancelle et Golfe de Fos) appartiennent au Port Autonome de Marseille (PAM). Seul le houlographe de Beauduc est situé sur le littoral du delta proprement dit (Annexe 4).

Les données de haute mer (houles et mers du vent) sont issues des observations des navires (synoships) codifiées par l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) et la Météorologie Nationale. La zone couvrant la méditerranée est sous la responsabilité du KNMI (Institut Météorologique Néerlandais Royal).

a) Données brutes

Houlographes

Seules les données issues du houlographe de Beauduc comportent la direction des houles et n'ont donc pas besoin d'être rapportées à l'anémométrie. Les enregistrements de cet appareil comportent les paramètres suivants, estimés par analyse spectrale : la direction (Dir) des vagues en degrés, l'estimation de la hauteur significative (H_{m0}), la période du pic (T_p), la période moyenne de la densité spectrale ($T_{0.1}$) et la période moyenne ($T_{0.2}$). De 1999 à 2001, ces données sont tri-horaires (horaires en période de tempête), puis horaires en permanence à partir de 2001.

Les bouées du Golfe de Fos, de la Balancelle et de Sète-Marseillan enregistrent les paramètres suivants, calculés par analyse vague par vague : hauteur et période maximales des vagues (H_{max} , T_{max}), hauteur et période significative des vagues (H_{sig} , T_{sig} , ou $H_{1/3}$, $T_{1/3}$). Ces données sont échantillonnées par pas de 15 à 30 mn pour les bouées du PAM, tri-horaire (horaire en tempête) pour celle du CETMEF. Elles ne fournissent pas de mesures de direction de houle. Les séries du PAM, disponibles depuis 1987, comportent des hiatus fréquents du fait de collisions des houlographes par les navires entrants et sortants de Fos. Le houlographe de Sète-Marseillan enregistre depuis 1987.

La série statistique la plus longue (14 ans) provient du houlographe de Cap Couronne, qui enregistra les hauteurs et périodes significatives de 1964 à 1978. Ces données sont accessibles par le CETMEF (Annexe 4, Tableau 4. 1).

« Synoships » (enregistrements de houle et de mer du vent au large)

Les données de haute mer proviennent des relevés effectués dans la zone comprise entre les 43^{ème} et 44^{ème} parallèles Nord, et les 4^{ème} et 5^{ème} méridiens Est, soit 3134 cotations de mer du vent et 3150 cotations de houles (Annexe 4, Tableau 4. 1).

b) Données interprétées

Houlographes

Les données issues des différents houlographes ont fait l'objet de nombreux traitements, en fonction des différentes thématiques de recherche : Vernier (1972) et SOGREAH (1995) ont étudié le climat de houle sur une période longue à partir des enregistrements du houlographe de Cap Couronne. Suanez (1997) a cherché à établir la distribution

annuelle des houles de tempête ainsi que leur variabilité saisonnière à partir des enregistrements des bouées de la Balancelle et de Fos. Bruzzi (1998) a caractérisé les grandes tempêtes des années 1994-1997 à partir de leur signature houlographique (Bouées de la Balancelle et de Fos). Sabatier (2001) et Lambert (2000, 2001) ont calculé les niveaux d'énergie atteints par les houles de tempête, ainsi que leurs répartitions par secteurs (Bouée de Beauduc ; Annexe 4, Tableau 4. 3).

« Synships »

Seul SOGREAH (1995) a traité ces données, principalement utilisées à des fins de calcul des fréquences de dépassement de la hauteur des vagues au large, de calcul des périodes de retour et de calcul de la distribution des fréquences des périodes (Annexe 4, Tableau 4. 4).

3.2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES

Il existe 3 catégories de relevés topographiques et bathymétriques de l'avant-côte et des côtes de Camargue (Figure 4) :

- les relevés topo-bathymétriques sous forme de transects allant de l'arrière-dune à une profondeur en mer inférieure à -7m, réalisés au théodolite,
- les relevés topo-bathymétriques couplant profils topographiques réalisés au théodolite et échosondage bathymétriques jusqu'à -10m,
- les bathymétries de l'avant-côte réalisées en haute mer par échosondage.

3.2.1. Profils SOGREAH

SOGREAH (1995) a effectué 104 profils topo-bathymétriques entre le 12 novembre 1993 et le 2 février 1994, sur l'ensemble du littoral de Camargue, du Rhône Vif au Grand Rhône. Ils correspondent au deuxième type de relevés (profils topographiques avec appareil Wild T1/DI 1000 et échosondage avec échosondeur Furuno FE 4300). Ils ont été effectués une seule fois chacun. Ils s'étendent de l'arrière-dune à -8m de fond pour la plupart, en suivant un axe perpendiculaire au trait de côte. Ils sont équidistants d'à peu près 400m du Rhône Vif (limite communale/départementale) à l'embouchure du Petit Rhône, de 210m de l'embouchure à la Fourcade, et de 800m de la Fourcade à la station de pompage de Beauduc (limite communale). Les têtes de profils et les gisements sont données en Annexe 5 (Tableau 5. 1 et Tableau 5. 2). Les valeurs chiffrées de ces profils sont disponibles auprès de SOGREAH.

3.2.2. Relevés CEREGE

Depuis 1999, l'équipe Géomorphologie Littorale du CEREGE effectue des relevés saisonniers et événementiels (avant et après tempête) sur 4 sites de Petite Camargue et de Camargue centrale : à 1km à l'est du Rhône Vif, 2 profils sont suivis depuis

septembre 1999 (65 et 64 relevés), un troisième transect a été mis en place à l'est de ce site depuis août 2000 (30 relevés). Les profils réalisés entre septembre 1999 et juillet 2000 s'étendent de l'arrière-dune à -2m; depuis juillet 2000, les mesures topographiques sont associées à des campagnes d'échosondage jusqu'à -7m. Trois profils ont également été mis en place sur la plage Ouest des Saintes-Maries (Est de l'embouchure), sur lesquels 20 relevés (par profil) ont été effectués entre septembre 1999 et mai 2000 de l'arrière-plage à -2m. A l'est des Saintes-Maries, les profils de la Fourcade et de Pont-de-Rousty (à la limite de la Réserve) sont suivis depuis août 2000 (38 relevés allant de l'arrière plage à -5m) par levés topographiques et échosondage (Annexe 5, Tableau 5. 3).

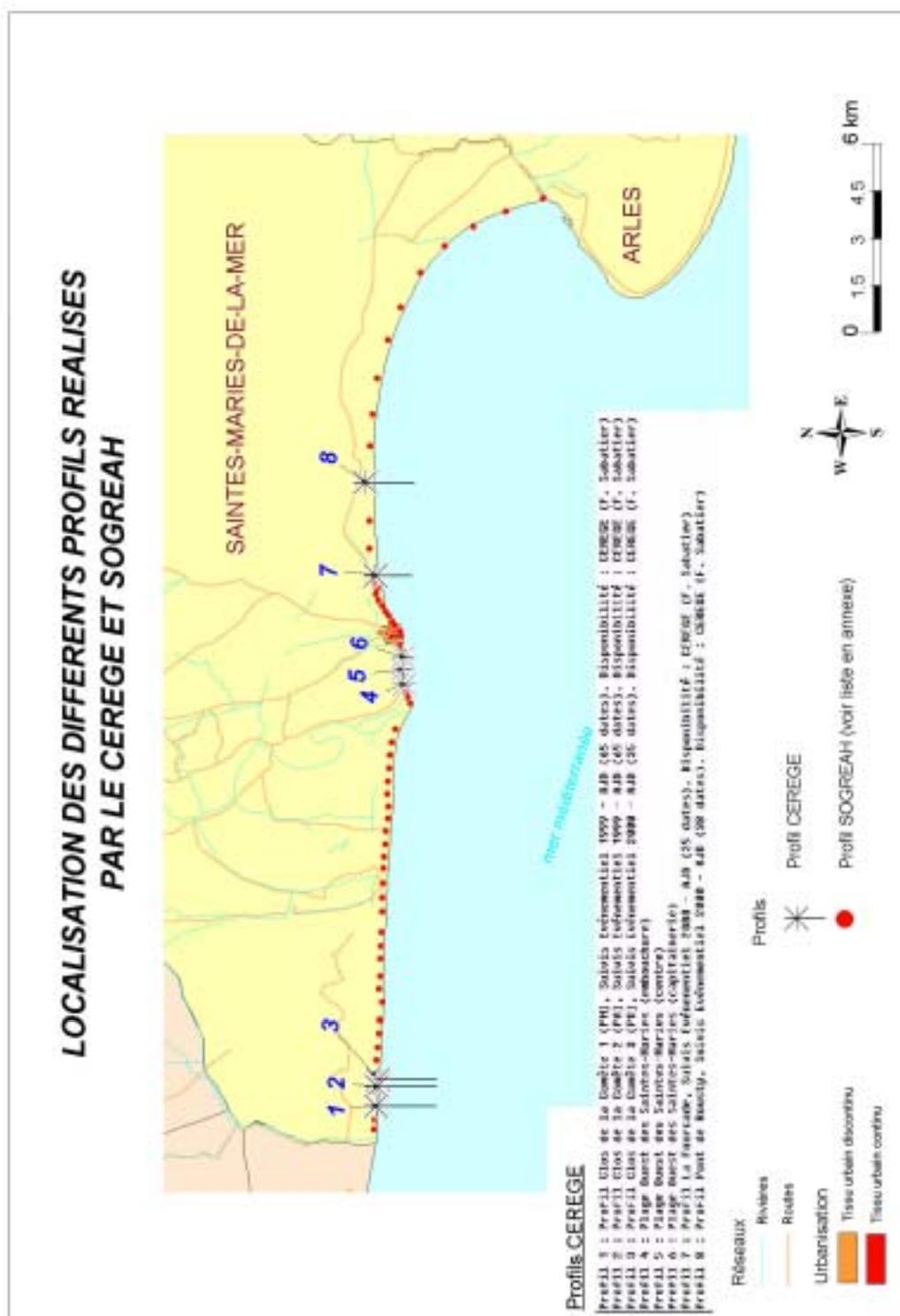


Figure 4 : localisation des têtes de profils topo-bathymétriques existants sur la commune des Saintes-Maries.

3.2.3. Relevés bathymétriques du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine)

Il s'agit de relevés destinés à établir et à mettre à jour les cartes bathymétriques de l'avant-côte du delta, ainsi que de missions plus spécifiques (Annexe 5, Tableau 5. 4). Les minutes des relevés du SHOM ont été numérisées par Sabatier (2001).

3.3. DONNEES PHOTOGRAPHIQUES

Les différentes campagnes de photographies aériennes ont été recensées auprès de l'IGN et des prestataires régionaux (entreprise Aérial, Aix-Les Milles). Le centre Camille Julian (CCJ) possède également des clichés anciens. Le découpage IGN des campagnes se fait à partir des limites communales. Le littoral de Camargue est à cheval sur 4 communes : Port-Saint-Louis-du-Rhône, Arles, Les Saintes-Maries-de-la-Mer et le Grau-du-Roi (Annexe 6).

3.3.1. Commune des Saintes-Maries

Il existe 25 campagnes couvrant plus de 90 % de la surface de la commune, à des échelles diverses. De 1936 à 1975, on compte 10 séries, 15 entre 1975 et 2001 (Annexe 6, Tableau 6. 1).

3.3.2. Beauduc à Piémanson (Commune d'Arles)

Le secteur littoral compris entre la station de pompage de Beauduc et l'embouchure du Grand Rhône appartient à la commune d'Arles. On dénombre 9 campagnes couvrant ce secteur (Tableau 6. 2).

3.3.3. Piémanson à la flèche de la Gracieuse (Commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône)

25 campagnes couvrent l'extrémité est du Delta du Rhône, depuis 1938 (Tableau 6. 3).

3.4. SUPPORTS CARTOGRAPHIQUES DISPONIBLES.

Il existe deux types de supports : les cartes papiers et les supports numériques. La diversité de ces supports permet de répondre à des problématiques différentes (Annexe 7).

3.4.1. Supports papiers

Il s'agit principalement des cartes topographiques IGN au 1/25 000, ainsi que des cartes géologiques au 1/50 000 établies par le BRGM.

a) Cartes topographiques IGN

L'ensemble de la Camargue est couvert par les fonds topographiques au 1/25 000 suivants : Istres – Golfe de Fos, Salin de Giraud – Etang de Vaccarès, Saintes-Maries-de-la-Mer, Aigues-Mortes – La Grande Motte (Annexe 7, Tableau 7. 1).

b) Cartes géologiques

L'ensemble du littoral de Camargue est couvert par 3 cartes au 1/50000 (Annexe 7, Tableau 7. 2) : Le Grau du Roi (XXVIII-44), les Saintes-Maries-de-la-Mer (XXIX-44-45) et l'embouchure du Rhône (XXX-45).

3.4.2. Supports numériques

Les données topographiques, photographiques et cadastrales ont été numérisées par l'IGN afin de pouvoir être exploitées plus aisément. Trois grands types de produits, regroupant diverses informations, ont été acquis par le BRGM : le SCAN 25 regroupe les fonds topographiques au 1/25000 scannés et géoréférencés, la base de donnée (BD) ORTHO correspond aux photographies aériennes IGN au 1/25 000 scannées et géoréférencées, la base de donnée (BD) CARTO est une représentation des limites cadastrales et communales du département, ainsi que des informations sur les unités administratives, l'occupation des sols, les différents réseaux, etc... (Annexe 7, Tableau 7. 3).

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

Conclusion

L'étude des éléments bibliographiques pré-existants et le recensement des données disponibles permettent de se rendre compte de l'importante quantité d'informations disponibles pour l'étude du risque de submersion de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.

La connaissance des méthodes d'acquisition de données dans les différents domaines sus-cités permettra d'adapter les modes opératoires afin d'assurer une compatibilité optimale entre les données déjà existantes et celles produites. Elle permettra également une meilleure interprétation des résultats acquis grâce à la comparaison des données issues de l'étude à celles déjà disponibles. La connaissance des interprétations effectuées à partir de ces données permettra, d'une part, une réponse plus fine aux problématiques de seuillage des dynamiques et l'établissement de périodes de retour fiables, d'autre part, une réduction de la marge d'erreur des modèles lors de la phase d'évaluation de l'aléa de submersion.

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

Liste des annexes

Annexe 1 : Fiches bibliographiques des principaux ouvrages	33
Annexe 2 : Données de vent.....	61
Annexe 3 : Données marégraphiques	62
Annexe 4 : Données de mer et houlographie.....	64
Annexe 5 : Données topographiques et bathymétriques	66
Annexe 6 : Données photographiques	70
Annexe 7 : Supports cartographiques disponibles.....	72

Liste des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : localisation du secteur d'étude.....	9
Figure 2 : Localisation des aires d'emprise des principales études.....	12
Figure 3 : Localisation des principaux enregistreurs.....	20
Figure 4 : localisation des têtes de profils topo-bathymétriques existants sur la commune des Saintes-Maries.....	25

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 : Caractéristiques des données anémométriques brutes.....	61
Tableau 2. 2 : Traitements statistiques effectués sur les données anémométriques.....	61
Tableau 3. 1 : Caractéristiques des données marégraphiques brutes.....	62
Tableau 3. 2 : Traitements statistiques effectués sur les données marégraphiques.....	62
Tableau 4. 1 : Caractéristiques des données de houles brutes.....	64
Tableau 4. 2 : Caractéristiques des données de « synships ».....	64
Tableau 4. 3 : Traitements statistiques effectués sur les données issus des houlographes.....	64
Tableau 4. 4 : Traitements statistiques effectués sur les données houlographiques du large issues des enregistrements de l'OMM.....	65
Tableau 5. 1 : Coordonnées des têtes de profils et gisements (SOGREAH 1995).....	66
Tableau 5. 2 : Dates des levés :.....	68
Tableau 5. 3 : Coordonnées et gisement des transects littoraux effectués par le CEREGE.....	69
Tableau 5. 4 : Date et profondeur des relevés bathymétriques du SHOM.....	69
Tableau 6. 1 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune des Saintes-Maries.....	70
Tableau 6. 2 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune d'Arles.....	71
Tableau 6. 3 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône.....	71
Tableau 7. 1 : Références des fonds IGN au 1/25000 couvrant la Camargue.....	72
Tableau 7. 2 : Références des cartes géologiques au 1/50000 couvrant le littoral de Camargue.....	72
Tableau 7. 3 : Références supports cartographiques numériques de l'IGN.....	72

Annexes

Annexe 1 : Fiches bibliographiques des principaux ouvrages

Etudes et rapport :

De Sète à Marseille : Partie B du catalogue sédimentologique des côtes françaises

Auteur :

SOGREAH (1984) - De Sète à Marseille : Partie B du *catalogue sédimentologique des côtes françaises*, n°52, Eyrolles, 113-196.

Résumé :

Le littoral, objet de cette partie B, est constitué, dans sa presque totalité, par une côte basse et sableuse provenant des alluvions de l'ancien delta du Rhône qui constituent la Camargue actuelle. Seule l'extrémité entre le golfe de Fos et Marseille est rocheuse, c'est la bordure du massif de l'Estaque baptisée « Côte bleue », avec de petites criques n'abritant que quelques rares « plages de poche ».

C'est certainement la zone littorale française dont l'évolution a été la plus forte au cours des siècles au fur et à mesure de la formation puis des transformations successives du delta du Rhône. Cette évolution se poursuit toujours avec des variations de la position de la laisse de plusieurs mètres et en certains endroits de plus de 10 mètres par an.

Ce littoral est constitué en majeure partie par un sable fin et assez homogène provenant surtout des alluvions anciennes ou récentes du Rhône. Très localement, entre Sète et Palavas, on trouve toutefois des graviers et des galets provenant de l'érosion d'un platier rocheux.

Le plateau continental est très large en face du golfe du Lion. Il se termine vers les fonds de 100 mètres par une pente assez forte. Cette courbe des 100 mètres joint presque en ligne droite le cap Creus dans les Pyrénées-Orientales au cap Croisette au sud de Marseille. Il est entaillé par de nombreux canyons, et recouvert de dépôts superficiels constitués par des cailloutis, sables et vases.

Les mouvements sédimentaires sont essentiellement dus à l'action des houles du secteur SE engendrées par les vents de mer et à celles du secteur W à SW le plus souvent en corrélation avec le mistral. La marée étant très faible, ses courants ne peuvent avoir d'action sur le transport des sédiments. Il en est de même du courant général est-ouest engendré par les mouvements des masses d'eau dans la Méditerranée Occidentale. Par contre, les courants de dérive dus aux vents, s'ils n'ont pas une vitesse suffisante pour arracher les matériaux meubles, peuvent cependant transporter les particules fines mises en suspension par la houle. Le vent a aussi une action non négligeable sur les évolutions du cordon dunaire sableux qui borde ce littoral.

L'évolution générale de ce littoral se traduit par un remodelage très important, sous l'effet principalement de la houle, des anciens apports alluvionnaires du Rhône (principalement le long du littoral de Camargue entre le Grau-du-Roi et le golfe de Fos). Le bilan du transport y est en général dirigé vers l'est et vers l'ouest, ce qui a provoqué la formation des flèches de Beauduc et de l'Espiguette. Toutefois, un transport en sens inverse se produit, d'une part, entre le petit Rhône et le fond du golfe de Beauduc et, d'autre part à l'est de l'embouchure du Rhône où il provoque l'évolution vers le NE du They de la Gracieuse. Quant à la zone comprise entre Sète et Le Grau-du-Roi, elle est le siège d'un transport résultant NE-SW entre les Aresquiers et Sète, puis d'un transport SW-NE au droit de Palavas et Carnon qui devient sensiblement nul vers la Grande-Motte. Mais les évolutions dans cette zone ouest du secteur considéré sont importantes que le long du littoral de la Camargue.

Dans le secteur ouest, des ouvrages de défense ont été rendus nécessaires car les habitations ont été construites en bordure de plage. Certains dispositifs de défense ont dû être renforcés ou mis en place lors de la construction des ports de plaisance à Frontignan, à Palavas et à Carnon.

Le long du littoral de la Camargue, les ouvrages sont beaucoup moins nombreux, cette zone étant beaucoup moins habitée. La seule bourgade construite en bordure de ce littoral, les Saintes-Maries-de-la-Mer est protégée par un système d'épis et de défense frontale qui a dû être renforcé à plusieurs reprises, mais la situation est encore très préoccupante, car la réduction très importante des apports solides du petit Rhône a provoqué un recul rapide de l'embouchure de celui-ci (l'ancien grau d'Orgon) et du littoral avoisinant. D'autres ouvrages de défense ont été réalisés le long du littoral de la petite Camargue, ainsi qu'en certains points de la côte de Faraman, pour éviter l'invasion.

Intérêt :

Ouvrage général de première approche bibliographique. Permet de replacer le delta du Rhône dans son contexte régional.

Disponibilité :

EDF, Services Maritimes des Bouches du Rhône, Services Maritimes du Languedoc-Roussillon.

Etude de l'évolution du littoral sableux de la Camargue

Auteur :

SOGREAH (1995). - Etude de l'évolution du littoral sableux de la Camargue, rapport, 3 volumes, 400p plus plans.

Résumé :

Etude non-exhaustive des modalités d'évolution du littoral du Parc Naturel Régional de Camargue, se basant sur la compilation de données provenant de quatre grands thèmes de réflexion :

- facteurs dynamiques du milieu : morphologie de l'ensemble du littoral (topographie, bathymétrie, écologie, sédimentologie), dynamiques météorologiques au large et à la côte (anémométrie, houlographie, marégraphie) et résultantes de l'application de ces forces sur la zone étudiée (mouvements sédimentaires, courantologie...)
- aménagements littoraux déjà réalisés : étude de leur fonctionnement et de leur impact tant sur le domaine maritime (épaves, digues frontales et aménagements portuaires) que sur le domaine terrestre
- évolution du littoral et des fonds servant de base à l'estimation des évolutions futures
- enjeux économiques et vocation des zones (touristique, agricole, salicole, ZNIEFF, etc...).

A partir de ces études préalables, des stratégies d'aménagement du littoral sont proposées. Pour les définir et apporter des éléments d'évaluation, deux classifications du littoral ont été établies : l'une, sur la base de la vulnérabilité de la côte (dans le sens de sa capacité d'évolution), l'autre en fonction des usages auxquels on la destine. Elles apportent des éléments d'évaluation pour l'établissement des stratégies d'aménagement. Au préalable, les effets d'une surélévation du niveau marin (0,4 m et 0,6 m) sur le littoral et les aménagements ont été examinés en considérant une surcote de +1 m dans chacun des cas. Trois scénarios sont proposés :

- Le scénario 0, correspondant à l'hypothèse d'intervention minimale : entretien des aménagements existant et maintien des usages (urbanisation, plaisance, baignade, pêche, aquaculture), mais sans aménagement nouveau.
- Le scénario 1, consistant à maintenir le trait de côte actuel et les formations dunaires.
- Le scénario 2, visant à améliorer la situation actuelle en développant et en augmentant les valeurs écologiques des milieux naturels.

Les stratégies d'aménagement et de suivi, principal objectif de l'étude, ont été établies sur la base de l'ensemble des données et plus particulièrement les unités composant le littoral, les tendances évolutives prévisibles, le fonctionnement, l'impact et le coût des ouvrages envisagés.

Intérêt :

Etablissement des fréquences de retour pour les surcotes, la houlographie et l'anémométrie. Calcul des coefficients de réfraction pour les houles de S, SE et SW. Evaluation du transit longshore à partir de la formule du CERC (1981). Recensement, chronologie, état et efficacité des aménagements déjà effectués. Classification du littoral en zones de vulnérabilité différente d'après une grille d'évaluation de la vulnérabilité du littoral. Simulation des impacts d'une remontée lente du niveau marin. Proposition d'aménagement suivant 3 scénarios. Propositions de suivis du littoral.

Disponibilité :

Parc Naturel Régional de Camargue

***Le littoral camarguais – inventaire des aménagements –
évolution géographique, économique et juridique
entre 1972 et 1992***

Auteur :

FLEURY A-M., (1992), Le littoral camarguais – inventaire des aménagements – évolution géographique, économique et juridique entre 1972 et 1992. DESS Activités et aménagements littoraux et maritimes – universités de Montpellier I, II et III. 2 parties, 135 p.

Résumé :

Inventaire et descriptions des aménagements réalisés entre le Rhône Vif et le Grand Rhône jusqu'en 1992. Synthèse bibliographique succincte du fonctionnement passé et actuel du littoral du Delta du Rhône. Aspects juridique et économique du littoral Camarguais.

Intérêt :

Banque de donnée sur les ouvrages jusqu'en 1992.

Disponibilité :

Réserve Naturelle de Camargue / Parc Naturel Régional de Camargue

Protection des littoraux sableux, méthodes d'études : l'exemple de la Camargue

Auteur :

BLANC J.J., (1979). - Protection des littoraux sableux, méthodes d'études : l'exemple de la Camargue, Centre National pour l'Exploitation des Océans, 78/4104, 56p.

Résumé :

Analyse des secteurs en cours d'érosion rapide du littoral de la Camargue. Les méthodes de photo-interprétation et les observations sur le terrain sont complétées par des mesures directes à partir de repères implantés au rivage par la Compagnie des Salins du midi.

Les tendances évolutives de la fonction érosion-temps obéissent à deux types de modèles : linéaire et exponentiel. Il est possible de calculer des rivages prévisionnels en fonction du temps. La comparaison des vitesses d'érosion mesurées et des vitesses d'érosion calculées permet de déterminer, à court et moyen terme, la tendance évolutive du littoral.

Les méthodes de lissage, moyennes mobiles et variogrammes permettent de mettre en évidence des rythmes annuels et pluri-annuels, ces derniers correspondant à des périodes de 2 à 2,5 ans, 4 à 5 ans et 25 ans.

Une analyse statistique basée sur l'interprétation de matrices de situations (événements significatifs) locales, puis globales et probabilistes, amène à la détermination des états dangereux, de phases d'accrétion compensatrices, des états d'équilibres, etc... en fonction des sites et des périodes de l'année. On remarquera tout particulièrement trois faits :

- 1 - Forte tendance érosive hivernale,
- 2 - Action sporadique des fortes tempêtes exceptionnelles, (mesure des taux d'érosion, ruptures des cordons)
- 3 - Contournement des ouvrages et des secteurs stabilisés par des déplacements latéraux de courants sagittaux.

L'analyse factorielle des correspondances appliquée aux données probabilistes de la matrice globale malgré un assez faible pourcentage d'inertie, permet de définir l'importance d'une accrétion modérée liée aux transits littoraux, aux phases d'accrétion (compensations estivales) et aux très fortes érosions (hiver-printemps) amenant les états dangereux.

L'ordination permet d'apprécier les zones à risque immédiat ou différé, l'influence des aménagements réalisés ou projetés. Un planning d'intervention en fonction des urgences et des moyens disponibles est projeté (1979).

Intérêt :

Tempête du 28/01/1978 étudiée en détail du point de vue des dynamiques et des conséquences sur le littoral oriental du delta - vitesses de recul proposées pour l'ensemble du littoral (à comparer avec des travaux plus récents, Sabatier 1997 & 2001) - impact de la première série d'épis sur le comportement sédimentaire du littoral de petite Camargue – Etude des probabilités d'événements morphogènes, mais non corrélés à des états d'énergie, de hauteur d'eau ou de direction.

Disponibilité :

CEREGE

Impact de l'élévation du niveau marin sur les côtes méditerranéennes françaises

Auteur :

PROVANSAL, M (1997) – Rapport de recherche – Impact de l'élévation du niveau marin sur les côtes méditerranéennes françaises. Ministère de l'Environnement, Université Aix-Marseille I URA 903 – CAGEP.

Résumé :

Les évolutions du trait de côte à moyen et long terme ainsi que l'impact des événements épisodiques brutaux sont étudiés sur différents sites du delta du Rhône et de la côte varoise. Elles permettent de mettre en évidence dans les évolutions à moyen et long terme le rôle dominant des sources sédimentaires et de la dérive littorale à l'origine de la distribution spatiale en secteurs en érosion, stables ou en accrétion. L'étude de la distribution chronologique des périodes d'érosion/accrétion permet d'individualiser 4 grandes périodes de comportement du trait de côte dans la seconde moitié du XX^{ième} siècle. L'étude des événements paroxysmaux montre que seuls les fortes tempêtes associées à des surcôtes (périodes de retour >50 ans : Hsig > 8m, niveau d'eau > +1,18m NGF) sont susceptibles de modifier durablement la morphologie de la bande littorale, avec pénétration de l'eau à l'intérieur des terres. Ces chiffres sont à minorer en fonction de l'état d'érosion préalable des différents sites, et de la présence d'aménagements qui amplifient les impacts des tempêtes. La formule de Bruun de prédiction de l'évolution du trait de côte est testée sur différents sites.

Intérêt :

Périodes de retour des surcôtes calculées d'après le niveau marin, rôle des associations tempêtes/surcôtes, réactions des secteurs naturels par rapport aux secteurs aménagés, test de la formule de Bruun qui sous-évalue systématiquement les reculs mesurés.

Disponibilité :

CEREGE

Secteurs invariants de la digue à la mer, justification du programme de protection de la digue à la mer. Dossier n°1

Auteur :

SAFEGE-CETIIS (1999) – Secteurs invariants de la digue à la mer, justification du programme de protection de la digue à la mer. Dossier n°1, Syndicat mixte d'aménagement des digues du Rhône et de la mer (SYMADREM), 17 p plus plans.

Résumé :

Synthèse succincte des études disponibles relatives à la définition des ouvrages de protection de l'embouchure Est du Petit Rhône à la zone Est des Saintes-Maries-de-la-Mer (la Fourcade). Historique des aménagements, conception des ouvrages, programmation des travaux et estimation des coûts, contrôle et entretien des ouvrages.

Intérêt :

Présentation des aménagements préconisés par l'étude LCHF-GEOMIDI (1982), puis repris par le rapport SOGREA (1995). Caractéristiques et dimensionnement des ouvrages effectués et encore à faire. Définition des houles et surcote de projet.

Disponibilité :

Parc Naturel Régional de Camargue

***Secteurs invariants de la digue à la mer, étude d'impact et
d'incidences du confortement de la digue à la mer. Dossier n°2***

Auteur :

SAFEGE-CETIIS (1999) – Secteurs invariants de la digue à la mer, étude d'impact et d'incidences du confortement de la digue à la mer. Dossier n°2, Syndicat mixte d'aménagement des digues du Rhône et de la mer (SYMADREM), 71 p plus plans et annexes.

Résumé :

Etude d'impact des travaux à réaliser dans le cadre de la protection de la ville des Saintes-Maries-de-la-Mer contre les effets des dynamiques météo-marines. Dossier N°1, augmenté d'une analyse de l'état initial des milieux concernés par le projet, de l'estimation des effets du projet sur le milieu, des mesures de correction et de compensation des effets négatifs et des mesures de contrôle et de suivis.

Intérêt :

Reprise des données de calibrage, des profils, des plans, des évaluations de débit et de transit littoral effectués par SOGREAH (1995). Etude de la pollution au droit de la ville. Etude de la flore et de la faune marine.

Disponibilité :

Parc Naturel Régional de Camargue

Travaux universitaires :

***Danger de l'érosion littorale en Petite Camargue
(aire occidentale du delta du Rhône)***

Auteur :

BLANC J.J., JEUDI de GRISSAC A. (1982), Danger de l'érosion littorale en Petite Camargue (aire occidentale du delta du Rhône, France), Tethys 10, 4, pp.349-354.

Résumé :

Etude dynamique et quantitative des phénomènes d'érosion en Petite Camargue, à l'ouest du delta du Rhône. Sont examinés d'abord l'influence des vents, vagues et houles, courants, marées et les relations : vitesse du vent, vitesse du courant de dérive et sa direction. Influence des durées d'applications et relations entre la houle significative (hauteurs, périodes, fréquences,...), les mesures de courant et les phases d'érosion. La procédure de mesure des taux d'érosion est ensuite décrite : profils repères, lissage des données, tableau des écarts d'érosion. L'attention est portée sur les états de passage (transitions) et l'analyse dynamique des phénomènes significatifs. Le rôle des rides littorales est examiné.

Intérêt :

Vitesses de recul en petite Camargue (15 mois) – Analyse spectrale des houles (15 mois) et marée (Grau de la dent) – Méthode statistique (définition de probabilité de passage d'un état à un autre en fonction de la durée des observations).

Disponibilité :

CEREGE

Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône

Auteur :

SUANEZ S., (1997). - Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône, Thèse de doctorat en géographie physique, Université d'Aix-Marseille 1, 282p.

Résumé :

La construction sédimentaire récente de la frange orientale du delta du Rhône se traduit par la présence de stocks constitués par les prodeltas fossiles du Bras de Fer (Faraman, ouest de l'embouchure) et du Pégoulie (flèche de la Gracieuse, est de l'embouchure). Ces corps sédimentaires conditionnent la bathymétrie générale du secteur étudié, caractérisée par une déformation localisée des isobathes vers le sud jusqu'à des fonds de -20m.

Les apports fluviaux annuels sont évalués entre 50000m³/an en fonctionnement modal et 4125000m³/an pour une crue cinquantennale. Ces chiffres attestent d'une grande variabilité hydrosédimentaire, qui laisse apparaître la frange littorale orientale du Delta du Rhône comme mieux alimenté que celle d'autres deltas méditerranéens (Ebre ou Nil), et donc susceptible de mieux participer à la défense de son littoral.

La circulation générale dans le secteur étudié s'organise comme suit : à l'Est de l'embouchure du Rhône (plage Napoléon et de la flèche de la Gracieuse), la dérive littorale s'oriente d'Ouest en Est. A l'Ouest de l'embouchure, elle est bidirectionnelle, le point de divergence se situant au niveau de l'étang de Ste Anne : une circulation d'Ouest en Est intéresse le littoral de Faraman et la plage de Piémanson jusqu'à l'embouchure, tandis qu'un courant d'Est s'oriente en direction du golfe de Beauduc. Le sens de la dérive de part et d'autre du Rhône est confirmé par un ensemble d'indicateurs (granulométriques conformément à la loi de McLAREN et BOWLES (1985) et morphologiques); elle conditionne le sens des transferts sédimentaires longshore.

L'étude des acteurs de la morphogénèse met en évidence un fonctionnement saisonnier des processus morphodynamiques qui conditionne les variations morphosédimentaires de la frange littorale :

- La période automnale est caractérisée par l'augmentation des épisodes de houles de tempête (>1m) associées à une montée du niveau de la mer supérieur au seuil de submersion de la plage émergée (+40cm NGF). A la dynamique marine s'ajoute la recrudescence des vents de mer morphogènes (>11m/s).
- La période hivernale est caractérisée par des événements tempétueux et la recrudescence des vents de terre particulièrement violents (mistral). Le recul de la côte est épisodiquement compensé par les apports éoliens prélevés sur la dune et la plage et rejetés à la mer.

- Au printemps, on enregistre de nouveau la présence des tempêtes d'équinoxe moins énergiques que celles d'automne. La dynamique éolienne prend le relais de la dynamique marine : les vents de terre jouent un rôle important dans le transfert sédimentaire cross-shore de la plage émergée vers la mer. Cette situation se poursuit jusqu'à la période estivale, caractérisée par une faible action des agents dynamiques.

La limite de mobilité à moyen terme (3 à 5 ans) du profil vertical est définie sur l'ensemble du linéaire côtier à -6m de profondeur. Elle permet de montrer que le recul du trait de côte s'accompagne généralement d'une érosion des fonds marins.

Intérêt :

Relation marégraphie-tempêtes-submersion. Calcul des périodes de retour des surcotes, houles et anémométrie. Mise en évidence des tendances saisonnières d'accrétion/érosion du trait de côte.

Disponibilité :

CEREGE

Etude d'un secteur en recul ayant fait l'objet d'aménagements en Petite Camargue

Auteur :

LAMBERT, A., (2000). – Etude d'un secteur en recul ayant fait l'objet d'aménagements en Petite Camargue. Mémoire de maîtrise. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 146p.

Résumé :

Etude du fonctionnement de profils littoraux de Petite Camargue, situés dans des casiers. Lors de la tempête décennale de 1997, les épis de ces sites ont été contournés par la mer, et les eaux ont pénétrées d'une centaine de mètres à l'intérieur des terres. Depuis lors, leur bilan sédimentaire est déficitaire d'une année sur l'autre. En 1999, la CSMSE réaménage ces sites en rallongeant les épis vers la terre et en remplaçant le cordon dunaire détruit par une digue frontale d'arrière plage. L'étude de ces sites juste après leur réaménagement montre une inversion de la tendance érosive pour les deux profils, mais qui s'exprime avec une intensité différente : le site PN (plage naturelle), qui possède encore un cordon dunaire peu développé en arrière plage, et une plage émergée de 75m d'extension en début de période, montre des vitesses de sédimentation presque deux fois supérieures à celles du site PA (plage aménagée), qui est équipée d'une digue frontale à seulement 45m du rivage. Les gradients dans les vitesses d'avancée (et de recul) sont liés à la présence de la digue frontale, à l'origine de phénomènes de réflexion des houles de tempête et à la faible extension de la plage émergée de PA, qui ne permet donc pas le stockage des matériaux lors de mêmes épisodes de tempête. Les matériaux sont donc repoussés vers la plage immergée, et alimentent de fait la dérive littorale. Les courants de retour se formant le long des épis sont étudiés, leur rôle dans l'évacuation des matériaux hors des casiers est mis en évidence.

Intérêt :

Relation entre présence d'aménagements et dynamiques sédimentaires. Détermination de types de profils en fonction des dynamiques météo-marines. Mise en évidence du rôle de la plage émergée en tant que stock sédimentaire des matériaux rejetés à la côte par les tempêtes.

Disponibilité :

CEREGE

Etude morphodynamique d'une section non-aménagée du littoral de Camargue occidentale

Auteur :

LAMBERT, A., (2001). – Etude morphodynamique d'une section non-aménagée du littoral de Camargue occidentale. Mémoire de DEA. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 81p plus annexes.

Résumé :

L'étude d'un profil non-aménagé du littoral de Camargue occidentale, situé dans la « zone neutre » (secteur caractérisé par un bilan sédimentaire stable d'une année sur l'autre) du golfe de Beauduc, permet de mettre en évidence le fonctionnement sédimentaire saisonnier « type » des littoraux sableux microtidaux. La dynamique d'échange entre les différentes unités morphologiques du profil est explicitée :

- Une zone de mobilité d'une soixantaine de mètres est nécessaire pour permettre au profil d'absorber par recul les impacts des tempêtes.
- En amont de cette zone, un secteur dégagé de soixante mètres est également nécessaire pour permettre un stockage optimal des matériaux repoussés à la côte par les tempêtes.
- La relation pendulaire de gains/pertes volumiques affectant la zone de mobilité peut être modélisée par la relation $V_e = -\frac{1}{2}V_{pe}$, c'est à dire que la moitié des matériaux perdus par l'estran en période de tempête sont rejetés sur la plage émergée, et que lors des périodes de progradation, l'estran récupère deux fois le volume de sédiments que perd la plage émergée.
- L'étude des relations entre secteur émergé et immergé, à partir des profils calés sur le 0 NGF de chaque relevé permet de mettre en évidence une relation linéaire existant entre le volume du secteur émergé et son extension telle que : $V_{se} = 4,3E_{se}$, qui explique 96% des observations.

Les variations volumiques du secteur immergé sont étudiées, il est démontré que les pertes volumiques affectant ce secteur sont causées par des dynamiques différentes de celles responsables des échanges terre-mer (cross-shore) stricto sensu.

Les modalités d'évolution de la zone des barres sont étudiées : l'immersion d'un courantomètre S4ADW sur la face externe de la barre externe durant une tempête de février 2001 permet de mettre en évidence le développement d'un flux puissant, dirigé vers le large, capable d'entraîner des matériaux. En l'absence d'autres dynamiques affectant cette zone, l'évolution vers le large des barres d'avant-côte observée en

période de tempête semble être imputable à ce flux, dont la vitesse est expliquée à 84% par les caractéristiques de houles H_{m0} , T_0 , C_0 , L_0 et direction.

Intérêt :

Mise en évidence des échanges saisonniers existants entre secteurs émergé et immergé, déplacements des barres, réaction aux tempêtes.

Disponibilité :

CEREGE

Evolution du profil des plages et phénomènes d'érosion littorale

Auteur :

BLANC J.J., (1976). - Evolution du profil des plages et phénomènes d'érosion littorale, Téthys 7, 2-3, pp 299-306.

Résumé :

Evolution du profil des plages. Relations entre le profil infralittoral, la granulométrie des matériaux et le degré d'usure. Modalités hydrodynamiques et stabilité des talus. Rôle de la cambrure des vagues incidentes. Niveaux d'énergie, granulométrie et pente des plages. L'exemple de Giens. Détermination des zones menacées en voie d'érosion. Discussion des résultats.

Intérêt :

Réaction des profils aux tempêtes – abaques – pentes d'équilibre .

Disponibilité :

CEREGE

Evolution morpho-dynamique de quatre plages en Camargue occidentale

Auteur :

SAMAT, O., (2001). – Evolution morpho-dynamique de quatre plages en Camargue occidentale. Mémoire de maîtrise. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 96 p plus annexes.

Résumé :

Cette étude porte sur la caractérisation des variations morphologiques de quatre profils littoraux transversaux, s'étendant de l'arrière de la dune à la limite de mobilité des sédiments, vers -6m. Ces profils sont situés à l'est du Rhône Vif, et à l'est de la ville des Saintes-Maries-de-la-Mer. Ils sont suivis de septembre 2000 à Juin 2001.

Elle met en évidence d'une part les évolutions saisonnières des profils caractéristiques, à savoir une forte agression pendant les périodes d'agitations intense, une relative stabilité générale en hiver (avec cependant de fortes fluctuations ponctuelles), et une accrétion en période de calme. Elle révèle d'autre part une relative similitude d'évolution des plages émergées sur chacun des profils, s'opposant à des évolutions divergentes des secteurs immergés d'un site à l'autre, conditionnant des bilans sédimentaires différents pour les mêmes événements météo-marins.

Une relation est déterminée entre les caractéristiques des barres (volume, position, profondeur), surtout la barre externe, et l'évolution des bilan sédimentaires globaux et locaux : le paramètre prépondérant dans la détermination de ces bilans semble surtout être la profondeur de la crête de la barre externe. Une barre externe éloignée et peu profonde semble en effet caractériser un bilan sédimentaire global stable.

L'importance du rôle de la dérive littorale sur les modifications topographiques et volumétriques des profils à été démontrée.

Intérêt :

Mobilité du secteur émergé lors des tempêtes de février 2001. Relations barres/bilans volumiques.

Disponibilité :

CEREGE

Impacts morphosédimentaires des tempêtes sur les côtes de Provence

Auteur :

BRUZZI, C., PROVANSAL, M. (1996) - Impacts morphosédimentaires des tempêtes sur les côtes de Provence, *Quaternaire*, 7, 2-3, 129-137.

Résumé :

L'analyse des caractéristiques météo-marines des tempêtes de l'hiver 1994-1995 sur le littoral provençal permet de définir les seuils d'efficacité morphogénique de ces événements et de décrire la succession des dynamiques qui affectent les plages. La mesure des impacts morphologiques montre le rôle déterminant de la hauteur et de la direction des houles ainsi que des caractères morphologiques des plages. On met en évidence les caractères texturaux et structuraux des dépôts de tempête et leur organisation séquentielle.

Intérêt :

Détermination d'un seuil d'efficacité des surcôtes en relation avec le vent ($h > +80\text{cm}$ / $V > 10\text{m/s}$), mise en évidence d'une relation inversement proportionnelle entre extension de la plage émergée et risque de submersion à surcote égale.

Disponibilité :

CEREGE

Le Golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer (Camargue). Etude sédimentologique ; aménagement et protection

Auteur :

CLAIREFOND, P., 1977 - Le Golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer (Camargue). Etude sédimentologique ; aménagement et protection, thèse de troisième cycle, Aix-Marseille II, 141p. et annexes.

Résumé :

Les plages bordant le golfe de Beauduc (Basse Camargue occidentale) sont le résultat de l'évolution récente du delta du Rhône. Cette dernière se traduit par des zones à bilan sédimentaire déficitaire et d'autres à bilan positif. Les unes comme les autres peuvent faire l'objet d'aménagements littoraux afin de protéger de l'érosion ou de l'ensablement.

Pour comprendre les processus sédimentaires littoraux, trois approches ont été retenues :

- 1 - Etude du matériel sédimentaire constituant les plages,
- 2 - Les facteurs hydrodynamiques locaux régissant les mouvements sédimentaires,
- 3 - L'évolution du littoral et les caractères morphologiques des plages.

Les études minéralogiques et sédimentologiques apportent des renseignements sur le sens des transferts, les zones d'arrachement ou de piégeage des particules. Les variations des différents stocks, à partir des histogrammes de fréquence, permettent de définir une dynamique des sables entre les différentes zones de la plage et le long du littoral.

Les conditions océanographiques locales qui régissent les transferts sont nombreuses et souvent complexes. L'étude des houles et des courants permet d'expliquer les déplacements transversaux et longitudinaux des sédiments qui sont responsables à long terme des modifications de la côte.

Les structures morphologiques des plages sont décrites sur les diverses zones. Elles permettent également de dégager les caractéristiques des secteurs érodés et des secteurs stables ou en voie d'engraissement.

Ces recherches, ainsi que l'historique détaillé de la région, permettent de définir les causes, modalités, et les conséquences de l'évolution rapide des rivages de Basse Camargue et de localiser les "points neutres", limites dynamiques entre les secteurs érodés et les secteurs engraisés.

Enfin à partir de ces résultats, différentes hypothèses d'aménagement sont proposées afin de protéger des installations industrielles d'une part, et surtout la ville des Saintes

Maries de la Mer dont la situation vis à vis de l'agression marine est de plus en plus alarmante.

Intérêt :

Etude du climat de vent sur une période de 11 ans (1962~1973), des houles sur six ans (1964~1969). Met en évidence la supériorité du potentiel d'agressivité des houles de SSE à SE, surtout renforcées de vents portants. Projet d'aménagement des SMM (1977!).

Disponibilité :

CEREGE

Les dynamiques sédimentaires du littoral du delta du Rhône

Auteur :

SABATIER, F. (1997) - Les dynamiques sédimentaires du littoral du delta du Rhône, Mémoire de D.E.A de Géographie Physique, Université de Provence, Aix-en-Provence, 105 p.

Résumé :

Les dynamiques sédimentaires du littoral de la partie occidentale du delta du Rhône s'organisent par zones géographiques :

- Le golfe de Beauduc reçoit continuellement du matériel sédimentaire de l'Ouest. L'action très modérée des houles permet à ce secteur de se colmater peu à peu. Les variations des vitesses de ce colmatage sont difficiles à appréhender, sans doute à cause de la convergence des apports du Grand et Petit Rhône.
- L'embouchure du Petit Rhône a montré des vitesses de recul très élevées, elles sont aujourd'hui stabilisées par les aménagements effectués. La charge sédimentaire du fleuve considérée comme très réduite s'oriente sur son côté Est, au détriment du rivage de la Petite Camargue, très attaqué par les houles.
- La partie Ouest du fleuve enregistre des vitesses de recul très rapides, mais une répartition géographique existe au sein de cet ensemble. Le secteur proche de l'embouchure (Icard et Grand Radeau) affiche des reculs inquiétants qui n'ont pu être ralentis que par des protections importantes (épis et digue frontale). En Petite Camargue, les plages au cordon dunaire peu développé se sont montrées les plus sensibles à l'érosion. Le rôle protecteur des radeaux n'est pas clairement apparu, seul le radeau des Deux Pins a montré un meilleur comportement face aux actions érosives des agents de la morphogenèse. A partir de ce secteur les vitesses de reculs sont moins élevées. Le tracé de côte de la Petite Camargue orienté E-W se traduit par une action érosive des houles de secteur SE et SW. Elle est donc constamment agressée. Le matériel sédimentaire transite vers la pointe de l'Espiguette, mais aussi en direction du golfe de Beauduc.
- Le Sud de la pointe de l'Espiguette constitue une zone charnière entre le littoral en érosion et celui en accumulation. La pointe de l'Espiguette reçoit du matériel sédimentaire provenant essentiellement de la Petite Camargue. Depuis la construction de Port Camargue, les vitesses de progression du trait de côte sont encore plus rapides.

Sur tout le littoral aménagé en épis, des résultats positifs ont pu être enregistrés les premières années. La durée de leur efficacité est estimée à 5 ou 10 ans. Ensuite, les vitesses de recul du littoral retrouvent des rythmes comparables à ceux des années « naturelles ».

Sur le terrain, les mesures de distances de la ligne du rivage mises en relation avec le traitement par photo-interprétation ont permis de démontrer que le recul de la Petite Camargue n'est pas linéaire, mais rythmé par l'intensité des agents morphogènes auxquels se sont superposés les phénomènes induits par la construction des épis.

Intérêt :

Etat des plages de Petite Camargue. Mise en évidence de l'existence de plusieurs secteurs, de comportement différent vis-à-vis des dynamiques météo-marines. Vitesses de recul calculées de la fin du XVIII^{ième} siècle à 1995 pour chacun des secteurs délimités. Impact des aménagements sur les différents secteurs. Chronologie des aménagements en petite Camargue.

Disponibilité :

CEREGE

Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône

Auteur :

BRUZZI, C. (1998). – Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône. Thèse de doctorat en géographie physique, Université d'Aix-Marseille 1, 325p.

Résumé :

Les tempêtes sont devenues un risque sur la marge orientale du delta du Rhône, risque devant lequel les acteurs du littoral ont répondu par des politiques d'aménagements légers ou lourds. Les impacts morphosédimentaires des tempêtes ont été étudiés, de part et d'autre du Rhône, sur des plages aux caractères morphologiques et morphométriques spécifiques, dans des contextes sédimentaires différents (proximité du Rhône, des prodeltas actuel ou fossiles). L'étude des tempêtes repose sur une réflexion menée à l'échelle événementielle, du moyen et du long terme.

Ce travail permet d'aboutir à quelques résultats qui vont parfois à l'encontre des idées reçues sur les tempêtes d'est et leurs impacts. Ainsi, elles peuvent être constructives et pas uniquement destructrices, les apports sédimentaires pouvant avoir pour origine des stocks immergés plus ou moins profonds (barres littorales, prodeltas actuel et fossiles). Leur rôle dans l'alimentation des plages est mis en évidence notamment par l'affinement granulométrique des dépôts de tempêtes prélevés sur la plage aérienne, ce type de matériel correspondant aux stocks sédimentaire distal immergé.

L'orientation des plages par rapport aux dynamiques de tempêtes conditionne l'importance des transits sédimentaires et la redistribution des stocks mobilisés. A l'est du Rhône, le littoral pourtant bien alimenté en contexte modal, apparaît fragile car orienté perpendiculairement aux tempêtes d'est et mal alimenté par les stocks sous-marins. A l'ouest du Rhône, le littoral, orienté W-E, tendanciellement en recul ou stable est surtout confronté à des dynamiques longitudinales d'est qui redistribuent les apports fluviaux rhodaniens.

Ce travail permet de distinguer le fonctionnement modal de celui de tempête et de faire le point la question de la cicatrization des plages à moyen et long terme dans un contexte de participation variable des sources sédimentaires vive ou fossiles.

Intérêt :

Etude des tempêtes et des variations marégraphiques depuis le XVIII^{ième}. Caractérisation des tempêtes de 1995, 96, 97 du point de vue de la marégraphie, anémométrie, houlographie. Définition des seuils de tempête.

Disponibilité : CEREGE

Plages en recul et dynamiques des profils littoraux à Faraman, (Camargue, Delta du Rhône), méthodes d'études, essai d'analyse prévisionnelle

Auteur :

BLANC J.J. (1996) – Plages en recul et dynamiques des profils littoraux à Faraman, (Camargue, Delta du Rhône), méthodes d'études, essai d'analyse prévisionnelle, Quatenaire, 7,1, 53-62.

Résumé :

Les observations et mesures du recul des plages et des modifications des profils littoraux mettent en évidence l'érosion généralisée du littoral de Faraman (Est de la Camargue, delta du Rhône). Les bilans sédimentaires sont nettement déficitaires (érosion: 74%, sédimentation: 26 %) malgré un certain ralentissement de la tendance érosive.

Les larges plages sont très exposées aux vagues obliques déferlantes, à mode dissipatif. La dérive littorale, les courants sagittaux, l'influence des ondes de bord façonnent les tracés et les profils littoraux (effets non-linéaires), les barres sableuses ainsi que leurs espacements respectifs.

Les observations de terrain et les mesures de la CSMSE (compagnie des salins du midi et salines de l'est) ont permis une quantification des mouvements de matériaux sableux de 1988 à 1992. Les relevés ont été traités par les méthodes suivantes : lissages, analyses des tendances, ajustements polynomiaux, fonction d'autocorrélation et corrélations croisées, matrices des transitions, analyse de Markov. Des analyses prévisionnelles ont été réalisées en chiffrant l'ajustement du modèle avec les profils réels évolutifs ainsi qu'avec un profil de référence.

On discrimine cinq types de profils littoraux et de situations. Le degré de risque (érosion rapide des plages (2 à 5 m/an) et des profils sous-marins) demeure corrélé aux variables suivantes : reculs rapides du rivage, courants sagittaux actifs, taux d'érosion sous-marine élevés (- 0,3 m à - 0,6 m/an), forts écarts négatifs par rapport au profil théorique.

Dans le cas d'accrétions locales et de ralentissement de l'érosion, on relève les variables actives suivantes: taux d'érosion encore élevés mais oscillants, au rivage, pentes élevées pour la régression ajustée aux profils, signaux en phase puis forts déphasages entre les profils dans le sens d'un retard vis à vis des secteurs les plus stables.

La mobilité des barres sableuses et la réduction de leur nombre apparaissent comme des phénomènes généraux. Les essais d'analyse prévisionnelle confirment le maintien d'une érosion certaine, parfois ralentie. Les mesures de protection du littoral doivent être développées.

Intérêt : Méthode – Définition de régimes de tempêtes et surcôtes

Disponibilité : CEREGE

Recherche de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi

Auteur :

BLANC J.J., (1977). - Recherche de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi, Centre National pour l'Exploitation des Océans, 75/1193, 69p.

Résumé :

A partir d'une définition des régimes-types susceptibles de porter atteinte à l'intégrité du rivage, l'auteur découpe le littoral en plusieurs secteurs en fonction de leur morphologie (émergée et immergée), de leur sédimentologie, et des dynamiques qui s'y appliquent. Un état des lieux, correspondant à la situation de 1977 est ainsi dressé, mettant notamment en évidence les phénomènes d'érosion généralisé au littoral de petite Camargue et de basse Camargue occidentale (Saintes-Maries et est de la ville). Des vitesses de recul (peu réalistes au regard de travaux plus récents) sont proposées, et les zones sus-citées sont qualifiées de « secteurs menacés ou des mesures de protection appropriées doivent être entreprises ». Les aménagements déjà effectués sont critiqués, et d'autres types de protection sont suggérées par l'auteur.

Intérêt :

Données sur les dynamiques de tempêtes (vent, houle et surcotes), tableau récapitulatif de l'état du rivage, des incidences pratiques et des transferts hydrodynamiques existants pour chaque secteur. Complet, mais des erreurs (« subsidence nulle depuis la période historique », points neutres mal placés...), très descriptif et relativement ancien (1977).

Disponibilité :

CEREGE

Rupture d'équilibre au littoral de Provence occidentale : l'action des tempêtes, relations avec les aménagements

Auteur :

BLANC J.J., (1985). - Rupture d'équilibre au littoral de Provence occidentale : l'action des tempêtes, relation avec les aménagements, Téthys 11, 3-4, pp 350-359.

Résumé :

Les ruptures d'équilibre sédimentaire présentent un réel danger, immédiat ou différé, pour les littoraux et les peuplements naturels. De telles situations sont induites par l'action de fortes tempêtes et par les aménagements. A l'aide de quelques exemples, les conséquences de ces actions et la recherche de solutions appropriées sont examinées.

Intérêt :

Etude détaillée (houlographie, marégraphie, barométrie) de la tempête semi-séculaire de 1982 et de ses impacts (géomorphologie, aménagements) en Camargue – Réflexion sur le calibrage de l'onde centenaire, les submersions en fonction de l'élévation de la surface, etc... à partir de cette tempête.

Disponibilité :

CEREGE

Variation relative du niveau marin dans le delta du Rhône, implications tectoniques et/ou climatiques

Auteur :

SUANEZ, S., PROSPER-LAGET, V., PROVANSAL, M. (1997) - Variation relative du niveau marin dans le delta du Rhône, implications tectoniques et/ou climatiques, *C.R Acad Sci. Paris*, t. 324, série II a, 639-646.

Résumé :

La comparaison des variations séculaires du niveau marin dans le delta du Rhône et à Marseille permet de faire la part entre la remontée tendancielle du plan d'eau et les mouvements négatifs du sol sur la marge deltaïque. La tendance est associée à des oscillations cycliques, qui relèvent de la variabilité climatique. L'accélération future du risque de submersion est analysée.

Intérêt :

Surcotes de projets calculées à partir des enregistrements des maximums journaliers sur 20 ans (1974~1995) supérieures à celles de SOGREAH (1985~1993), influence de l'élévation eustatique sur les périodes de retour, évaluation de l'élévation annuelle relative du niveau marin au marégraphe du grau de la dent (2,1mm/an).

Disponibilité :

CEREGE

Annexe 2 : Données de vent

Tableau 2. 1 : Caractéristiques des données anémométriques brutes.

Stations météorologiques	Périodes d'enregistrement	Type de donnée	Disponibilité
Sémaphore de Cap Couronne	1962-1996	Vent maximal instantané (force et direction), moyennes sur 10 minutes (force et direction), moyennes tri-horaires (force et direction)	Météo France
Tour du Valat	(1962) 1987-AJD		
Pomègues (Hérault)	1955-AJD		
Saintes-Maries-de-la-Mer (Port Guardian)	1998-AJD		
Istres – Le Tube	1988-AJD		

Tableau 2. 2 : Traitements statistiques effectués sur les données anémométriques.

Stations météorologiques	Période de traitement	Type de traitement	Disponibilité
Sémaphore de Cap Couronne	16-22 janvier 1995 9-15 novembre 1995 5-18 mars 1996 10-17 octobre 1996 2-19 novembre 1997 14-22 décembre 1997	Suivi événementiel des tempêtes de la période 1994-1997	Carole Bruzzi
	1962-1994	Caractérisation des régimes moyen et saisonniers sur la période.	Serge Suanez
	1964-1974	Idem Suanez	SOGREAH
Tour du Valat	1962-1980	Idem Suanez	SOGREAH
Pomègues	1955-1980	Idem Suanez	SOGREAH
Saintes-Maries-de-la-Mer (Port Guardian)	Décembre 1998 – Juin 2001	Idem Suanez + événementiel	François Sabatier
	Septembre 1999 – mai 2000	Idem Suanez + événementiel	Adrien Lambert
Istres – Le Tube	16-22 janvier 1995 9-15 novembre 1995 5-18 mars 1996 10-17 octobre 1996 2-19 novembre 1997 14-22 décembre 1997	Suivi événementiel des tempêtes de la période 1994-1997	Carole Bruzzi

Annexe 3 : Données marégraphiques

Tableau 3. 1 : Caractéristiques des données marégraphiques brutes

Stations marégraphiques	Périodes d'enregistrement	Type de donnée	Disponibilité
Marégraphe du Grau-de-la-Dent	décembre 1904 – AJD, hiatus de mai 1962 à octobre 1974 (perte d'un document)	Relevé quotidiens à 7h AM, puis 7h plus maximum journalier à partir de 1974.	Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est (CSMSE)
Limnigraphe du Pertuis de la Fourcade	1982 – AJD	Relevés des maximums journaliers	DIREN/SNPN

Tableau 3. 2 : Traitements statistiques effectués sur les données marégraphiques.

Stations marégraphiques	Période de traitement	Type de traitement	Disponibilité
Marégraphe du Grau-de-la-Dent	1960 - 1980	Pourcentages par tranches centimétriques des minimas et maximas hebdomadaires sur la période.	SOGREAH
	1985 - 1993	Application d'une loi statistique de Gumbel pour déterminer les niveaux d'eau selon la période de retour.	SOGREAH
	1904 - 1997	Lissage de la série et régression linéaire afin d'obtenir une vitesse séculaire moyenne de montée relative du niveau marin pour le Delta du Rhône.	Serge Suanez
	1974 -1995	Application d'une loi statistique de Gumbel pour déterminer les niveaux d'eau selon la période de retour.	Serge Suanez

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

	1974 - 1995	Distribution saisonnière des niveaux supérieurs à 40cm NGF afin d'obtenir la répartition saisonnière des niveaux exceptionnels.	Serge Suanez
	1904 - 1997	Extraction des surcotes réelles par déduction des élévations cycliques (composantes harmoniques), variabilité inter et intra annuelle des surcotes sur la période, recensement des surcotes exceptionnelles du XXIème siècle.	Carole Bruzzi
Limnigraphe du Pertuis de la Fourcade	1982 - 1994	Extraction des niveaux supérieurs à 70cm NGF pour la période considérée.	SOGREAH

Annexe 4 : Données de mer et houlographie

Tableau 4. 1 : Caractéristiques des données de houles brutes

Houlographes	Périodes d'enregistrement	Type de donnée	Disponibilité
Cap Couronne (houlographe à ultrasons)	1964 - 1978	Hsig, Tsig	SOGREAH/Ponts et Chaussées Maritimes de Marseille (CETMEF)
La Balancelle (Datawell non directionnelle, -20m)	1987 – AJD, existence de hiatus dans la série	Hmax, Tmax, Hsig, Tsig, par pas de 15 à 30mn	Port Autonome de Marseille (PAM)
Bouée du golfe de Fos (Datawell non directionnelle, -20m)	1987 – AJD existence de hiatus dans la série	Hmax, Tmax, Hsig, Tsig, par pas de 15 à 30mn	Port Autonome de Marseille (PAM)
Bouée du golfe de Beauduc, (Datawell, directionnelle -20m)	1999 – AJD existence de hiatus dans la série	Dir, Hm ₀ , T ₀₁ , T ₀₂ , données tri-horaires puis horaires.	CETMEF
Bouée de Sète-Marseillan (Datawell non-directionnelle, -32m)	1988 – AJD existence de hiatus dans la série	Hmax, Tmax, Hsig, Tsig, données tri-horaires (horaire en tempête)	CETMEF

Tableau 4. 2 : Caractéristiques des données de « synships »

Zone d'observation	Période d'enregistrement	Type de données	Disponibilité
43~44° N 4~5°E	1961 - 1980	Cotations de vent, de mer et de houle.	Organisation Météorologique Mondiale (OMM), Météorologie Nationale.

Tableau 4. 3 : Traitements statistiques effectués sur les données issus des houlographes

Houlographes	Période de traitement	Type de traitement	Disponibilité
Cap Couronne	1964 - 1978	Répartition des hauteurs et périodes significatives par secteur.	SOGREAH
	1964 - 1972	Mise en relation de l'orientation des houles et des régimes de vent.	E. Vernier

C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
 Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
 Synthèse des données existantes

La Balancelle	1987 - 1995	Etude de la variabilité saisonnière	Serge Suanez
	1993 - 1995	Etude de la distribution annuelle des houles de tempête.	Serge Suanez
	16-22 janvier 1995 9-15 novembre 1995 5-18 mars 1996 10-17 octobre 1996 2-19 novembre 1997 14-22 décembre 1997	Suivi événementiel des tempêtes de la période 1994-1997	Carole Bruzzi
Golfe de Fos	1987 - 1995	Etude de la variabilité saisonnière	Serge Suanez
	1993 - 1995	Etude de la distribution annuelle des houles de tempête.	Serge Suanez
	16-22 janvier 1995 9-15 novembre 1995 5-18 mars 1996 10-17 octobre 1996 2-19 novembre 1997 14-22 décembre 1997	Suivi événementiel des tempêtes de la période 1994-1997	Carole Bruzzi
Golfe de Beauduc	1999 – 2001		François Sabatier
	1999 - 2000	Caractérisation des coups de mers en fonction de l'énergie et de la direction des houles.	Adrien Lambert
	2000 – 2001	Calcul de l'énergie des houles et de sa répartition sur la période, par secteur.	Adrien Lambert

Tableau 4. 4 : Traitements statistiques effectués sur les données houlographiques du large issues des enregistrements de l'OMM.

Zone d'observation	Période de traitement	Type de traitement	Disponibilité
43~44° N 4~5°E	1961 - 1980	Calcul des fréquences de dépassement de la hauteur des vagues au large, calcul des périodes de retour, calcul de la distribution des fréquences des périodes.	SOGREAH

Annexe 5 : Données topographiques et bathymétriques

Tableau 5. 1 : Coordonnées des têtes de profils et gisements (SOGREAH 1995)

N° Profil	Coordonnées LAMBERT III sud		Z (NGF)	Gisement (grades)	N° Profil	Coordonnées LAMBERT III sud		Z (NGF)	Gisement (grades)
	X	Y				X	Y		
1	801915,625	118069,732	0,813	231,28	53	771130,845	130730,663	1,088	179,809
2	801464,017	118278,559	0,782	230	54	770933,023	130692,633	1,246	180,581
3	801018,676	118516,743	1,981	224,4	55	770743,685	130633,230	1,249	180
4	800570,857	118748,509	2,233	224,1	56	770553,501	130659,045	1,807	193,248
5	800112,523	118962,911	2,315	224	57	770352,386	130583,838	2,743	194,79
6	799642,025	119153,747	2,429	220,17	58	770180,037	130464,876	2,214	171,856
7	799169,152	119317,497	2,127	219,92	59	770004,651	130360,057	1,787	168,579
8	798676,01	119485,826	2,17	214	60	769876,793	130276,468	2,055	162,6411
9	798203,888	119718,369	1,539	213,907	61	769675,843	130145,24	2,3	167,6211
10	797672,012	119613,826	3,419	212,62	62	769560,724	130070,639	2,059	196,435
11	797148,781	119610,601	2,595	205,71	63	769381,849	129912,144	2,312	166,951
12	796656,865	119677,003	2,002	208	64	769227,31	129889,84	2,02	171,034
13	796145,82	119663,379	1,86	203,519	65	768942,66	129869,586	1,42	188,731
14	795643,13	119671,936	2,084	201,259	66	768738,493	129791,011	1,701	212,352
15	795143,158	119620,63	2,731	204,5	67	768514,869	129869,814	4,406	204,875
16	794640,417	119631,785	3,493	200,807	68	768304,564	129887,049	3,605	201,521
17	794139,161	119607,933	1,945	198,36	69	768095,974	129911,066	2,826	213,523
18	793639,679	119600,385	3,51	200,114	70	767850,54	129901,576	2,226	184,128
19	793124,618	119574,497	2,275	187,86	71	767664,965	129824,936	2,654	180,02
20	792691,18	119392,02	3,6	188,2	72	767478,744	129747,355	2,481	180,91
21	792206,716	119264,043	2,161	184,350	73	767292,124	129672,585	1,842	174,388
22	791698,731	119350,166	3,996	199,755	74	767104,01	129594,95	2,54	161,8801
23	791203,564	119330,109	2,198	187,758	75	766289,773	130063,031	2,284	222,996
24	790701,429	119230,31	1,853	185,621	76	765883,384	130175,405	2,148	199,8581

*C.P.E.R. – REGION Provence-Alpes-Côte d'Azur
Etude du risque de submersion marine de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer
Synthèse des données existantes*

25	790215,771	119113,079	2,184	185,676	77	765473,58	130231,129	2,238	207,03
26	789853,089	118997,559	2,552	196,787	78	765065,62	130258,953	2,309	202,251
27	789384,004	119079,337	5,18	201,131	79	764652,543	130299,564	2,223	213,368
28	788889,849	119218,821	2,3	189,661	80	764239,582	130311,608	2,249	201,354
29	788573,829	119001,385	2,547	192,324	81	763851,46	130283,615	4,289	195,397
30	788074,303	119076,762	2,373	220,269	82	763473,707	130300,085	2,445	205,179
31	787614,446	119264,470	3,857	215,964	83	763071,298	130364,579	1,078	211,12
32	787125,004	119329,66	1,948	202,833	84	762665,918	130383,961	2,741	211,0441
33	786623,853	119400,87	2,125	211,976	85	762260,71	130411,215	2,642	200,117
34	786154,453	119483,912	1,997	202,775	86	761908,977	130433,925	2,369	215,647
35	785663,01	119583,61	1,94	211,24	87	761435,829	130449,035	2,457	202,1581
36	783003,21	120123,15	1,86	223,526	88	760962,045	130476,45	3,66	198,501
37	780755,74	121369,68	3,04	244,516	89	760529,188	130477,215	6,844	200
38	779936,96	123158,1	0,47	322,299	90	759874,968	130505,402	5,362	206,504
39	781551,76	124219,33	4,22	351,395	91	759437,68	130519,84	4,8	201,704
40	783056,686	125435,889	1,42	300,413	92	759051,806	130549,056	3,148	202,716
41	782636,63	126600,09	0,65	288,953	93	758485,998	130535,905	5,239	203,52
42	782168,050	127605,51	0,69	262,555	94	758085,751	130575,942	3,331	199,345
43	781542,07	128499,96	0,6	247,713	95	757676,053	130482,238	2,659	200,6861
44	780709,960	129258,4	0,57	237,829	96	757125,416	130560,53	4,884	199,9901
45	779626,95	120889,75	0,61	219,061	97	756700,682	130576,491	5,879	207,3911
46	778564,2	130272,04	0,83	216,72	98	756267,71	130615,11	4,486	205,662
47	777345,4	130617,5	0,81	216,134	99	755861,858	130659,23	2,288	202,893
48	776215,35	130754,14	0,78	210,363	100	755412,651	130721,016	3,46	201,7
49	775224,57	130838,35	0,71	207,793	101	754847,036	130670,334	4,294	198,311
50	774092,6	130876,74	0,75	206,724	102	754472,328	130747,565	2,574	201,939
51	772860,210	130870,089	0,89	194,9968	103	754001,719	130715,901	3,59	193,722
52	771997	130860,11	0,81	193,87	104	753682,23	130749,761	5,6201	208,7681

Tableau 5. 2 : Dates des levés

Vendredi 12 novembre 1993	Profils n° 62 à 74
Lundi 22 novembre 1993	Profils n° 52 à 61
Mardi 23 novembre 1993	Profils n° 43 à 51
Jeudi 2 décembre 1993	Profils n° 35 à 42
Vendredi 3 décembre 1993	Profils n° 25 à 34
Mardi 14 décembre 1993	Profils n° 16 à 24
Mardi 4 janvier 1994	Profils n° 8 à 15
Mercredi 5 janvier 1994	Profils n° 1 à 7
Mercredi 12 janvier 1994	Profils n° 75 à 82
Jeudi 13 janvier 1994	Profils n° 83 à 90
Vendredi 14 janvier 1994	Profils n° 91 à 97
Mercredi 2 février 1994	Profils n° 98 à 104

Tableau 5. 3 : Coordonnées et gisement des transects littoraux effectués par le CEREGE.

Profils	Coordonnées des têtes de profil (LAMBERT II carto)		Gisement (Grades)	Début des mesures et nombre de profils réalisés
	X	Y		
Clos de la Comète 1 (PN)	754660	1830540	200	09/1999, 65
Clos de la Comète 2 (PA)	755290	1830520	200	09/1999, 64
Clos de la Comète 3 (PD)	755500	1830490	200	08/2000, 30
Plage Ouest des Saintes-Maries (embouchure)	767970	1829680	200	09/1999-05/2000, 20
Plage Ouest des Saintes-Maries (centre)	768450	1829740	200	09/1999-05/2000, 20
Plage Ouest des Saintes-Maries (capitainerie)	768840	1829690	200	09/1999-05/2000, 20
La Fourcade	771400	1830600	200	08/2000, 38
Pont de Rousty	774350	1830890	200	08/2000, 38

Tableau 5. 4 : Date et profondeur des relevés bathymétriques du SHOM.

Date	Secteur	Profondeur	Origine	Disponibilité
1895	Ensemble de la Camargue	20~25m	SHOM	François Sabatier
1974	Roustan – Petite Camargue	>80m	SHOM et PAM	François Sabatier
1958-61	Espiguette	20~30m	SHOM	François Sabatier
1982	Espiguette – Petite Camargue	>80m	SHOM	François Sabatier

Annexe 6 : Données photographiques

Tableau 6. 1 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune des Saintes-Maries

Date	Référence	Echelle	Type	Provenance	Disponibilité
1936	NP4	1/21000	N&B	IGN	IGN
1942	NIMES - CAMARGUE	1/24000	N&B	IGN	IGN
1944	23SG 700 1300F/24	1/15000	N&B	Centre Camille Julian (CCJ)	François Sabatier
1953	Nîmes – Stes Maries F 2942-2944	1/25000	N&B	IGN	François Sabatier
1954	St Pons – Le Grau du Roi	1/25000	N&B	IGN	François Sabatier
1962	Nîmes – St Maries F 2942-2944	1/25000	N&B	IGN	François Sabatier
1963	Sète – Le Grau du Roi	1/25000	N&B	IGN	François Sabatier
1965	CDP 6453	1/15000	N&B	IGN	IGN
1970	F 2944	1/30000	N&B	IGN	IGN
1975	FR 2672 C	1/16000	Couleur	IGN	IGN
1977	FR 2928	1/60000	N&B	IGN	IGN
1977	FR 2904 lot 9	1/20000	N&B	IGN	François Sabatier
1978	FR 9071	1/14500	N&B	IGN	IGN
1979	F 2944-3244	1/30000	N&B	IGN	IGN
1980	Littoral Camargue	1/20000	N&B	Aériel	Aériel
1982	IPLI 21	1/20000	N&B	IGN	IGN
1984	F 2944-3244	1/30000	N&B	IGN	IGN
1985	Littoral Camargue	1/20000	N&B	Aériel	Aériel
1987	Stes Maries – Le Grau du Roi – Istres F 2844-3044	1/30000	N&B	IGN	François Sabatier
1992	FD 13 P	1/20000	N&B	IGN	IGN
1992	FD 13 C	1/20000	Couleur	IGN	IGN
1995	F28244 – 2944/300 Stes Maries	1/20000	Couleur	IGN	François Sabatier
1996	Littoral Camargue	1/15000	N&B	Aériel	Aériel
1998	FD 13-83	1/25000	Couleur	IGN	IGN
2001	La Fourcade - Grau Comtesse	1/10000	Fausses couleurs	Aériel	François Sabatier
2001	Littoral CSMSE	1/10000	Couleur	Aériel	CSMSE

Tableau 6. 2 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune d'Arles.

Date	Référence	Echelle	Type	Provenance	Disponibilité
1942	NIMES - CAMARGUE	1/25000	N&B	IGN	IGN
1975	FR 2672 C	1/20000	Couleur	IGN	IGN
1977	FR 2928	1/14500	N&B	IGN	IGN
1977	FR 2904 LOT 9	1/20000	N&B	IGN	IGN
1978	FR 9071	1/14500	N&B	IGN	IGN
1982	IPLI 21	1/20000	N&B	IGN	IGN
1990		1/20000	Couleur	Aérial	Sabatier/Suanez
1992	Littoral Camargue	1/20000	Couleur	Aérial	Sabatier/Suanez
1998	FD 13-83	1/25000	Couleur	IGN	IGN

Tableau 6. 3 : Références et caractéristiques des photographies aériennes couvrant la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

Date	Référence	Echelle	Type	Provenance	Disponibilité
1938	NP2	1/20000	N&B	IGN	IGN
1944		1/50000	N&B	CCJ	Sabatier/Suanez
1947	F 3042-3044	1/25000	N&B	IGN	IGN
1955	F 3042-3044	1/25000	N&B	IGN	Sabatier/Suanez
1960	F 3044-3544	1/25000	N&B	IGN	Sabatier/Suanez
1963	FR 484	1/10000	N&B	IGN	IGN
1968	F 3044-3144	1/25000	N&B	IGN	IGN
1969	CDP 6939	1/20000	N&B	IGN	IGN
1971	F 3044	1/30000	N&B	IGN	Sabatier/Suanez
1974	F 3044-3144	1/30000	Couleur	IGN	IGN
1974	FR 2588	1/30000	Couleur	IGN	IGN
1975	FR 2672 C	1/16000	N&B	IGN	IGN
1977	FR 2904 LOT 9	1/20000	N&B	IGN	IGN
1978	FR 7006	1/60000	N&B	IGN	IGN
1978	FR 9071	1/14500	N&B	IGN	IGN
1979	F 2944-3244	1/30000	N&B	IGN	Sabatier/Suanez
1982	IPLI 21	1/20000	N&B	IGN	IGN
1984	F 2944-3244	1/30000	N&B	IGN	IGN
1987	F 2844-3044	1/30000	N&B	IGN	IGN
1988	F 3044	1/30000	N&B	IGN	IGN
1989		1/20000	Couleur	Aérial	Sabatier/Suanez
1992		1/20000	Couleur	Aérial	Sabatier/Suanez
1992	FD 13 P	1/20000	Couleur	IGN	IGN
1994	F 3043-3044	1/30000	N&B	IGN	Sabatier/Suanez
1998	FD 13-83	1/25000	Couleur	IGN	IGN

Annexe 7 : Supports cartographiques disponibles

Tableau 7. 1 : Références des fonds IGN au 1/25000 couvrant la Camargue.

Référence	Secteur	Date de parution	Editeur
N° 3044 Est	Istres – Golfe de Fos	Révision 1989	IGN
N° 2944 Est	Salin de Giraud – Etang de Vaccarès	Révision 1980	IGN
N° 2944 Ouest	Saintes-Maries-de-la-Mer	Révision 1980	IGN
N° 2944 Est	Aigues-Mortes – La Grande Motte	Complétée sur le terrain en 1987	IGN

Tableau 7. 2 : Références des cartes géologiques au 1/50000 couvrant le littoral de Camargue.

Référence	Secteur	Date de parution	Editeur
Le Grau du Roi XXVIII-44	Littoral de Carnon (Gard) au Clos de Brasinvert (Petite Camargue)	1993	BRGM
Les Saintes -Maries-de-la-Mer XXIX-44-45	Littoral du Clos de Brasinvert au Grau de la Dent (Littoral de Faraman)	1975	BRGM
Embouchure du Rhône XXX-45	Littoral de Faraman à la Flèche de la Gracieuse	1980	BRGM

Tableau 7. 3 : Références supports cartographiques numériques de l'IGN.

Référence	Secteur couvert	Type de donnée	Disponibilité
SCAN 25 Bouches-du-Rhône CD ½ et 2/2	Département 13	Fonds topographiques au 1/25000 scannés et géoréférencés.	BRGM
BD ORTHO Bouche-du-Rhône, CD N° 17, 20 à 26, 29 à 33, 36 à 38.	Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer	Photographies aériennes IGN (campagne de 1998) scannées et géo référencées.	BRGM
BD CARTO	Département 13	Limites cadastrales et communales du département.	BRGM

Bibliographie

- BCEOM – VNF (1994) – Schéma de mise en valeur de la Mer (de la limite du département du Gard au Grand Rhône) – Section 1 – Version provisoire avril 1994, révision octobre 1994.
- BETEREM 1983 - Etude d'impact relative aux épis de protection de la petite Camargue - Rapport pour CSMSE, CIAM et Commune des Saintes-Maries.
- BETEREM 1983 - Epis de protection de la Petite Camargue - Etude d'impact - CSMSE, CIAM, Commune des Saintes-Maries de la Mer - Marseille, pp. 1-100.
- BLANC J.J. (1977) - Recherche de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi, Centre National pour l'Exploitation des Océans, 75/1193, 69p.
- BLANC J.J. (1979) - Protection des littoraux sableux, méthodes d'études: l'exemple de la Camargue, Centre National pour l'Exploitation des Océans, 78/4104, 30p.
- BLANC J.J. JEUDI de GRISSAC A. (1982), Danger de l'érosion littorale en Petite Camargue (aire occidentale du delta du Rhône, France), Tethys 10, 4, pp.349-354.
- BLANC J.J. (1985) - Rupture d'équilibre au littoral de Provence occidentale : l'action des tempêtes, relation avec les aménagements, Téthys 11, 3-4, pp 350-359.
- BLANC J.J. (1996) – Plages en recul et dynamiques des profils littoraux à Faraman, (Camargue, Delta du Rhône), méthodes d'études, essai d'analyse prévisionnelle, Quaternaire, 7,1, 53-62.
- BONY P. et BUFFET R. (1996). - Dynamique éolienne et bilan sédimentaire sur le littoral du delta du Rhône, mémoire de maîtrise, Université de Provence, Aix en Pce, 190p.
- BRUZZI C. (1995) - Impacts morphosédimentaires des tempêtes sur quelques plages de Provence, mémoire de D.E.A, Institut de Géographie, Aix en Provence, 141p.dact. et ann.
- BRUZZI C. (1996) - Introduction méthodologique à l'étude des tempêtes. Exemple du littoral camarguais, Méditerranée, pp51-55.
- BRUZZI C. (1998) – Les tempêtes et l'évolution morphosédimentaire des plages orientales du delta du Rhône. Thèse de doctorat en géographie physique, Université d'Aix-Marseille 1, 325p.

- CLAIREFOND P. (1977) - Le Golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer (Camargue). Etude sédimentologique ; aménagement et protection, thèse de troisième cycle, Aix-Marseille II, 141p. et annexes.
- CSMSE (1983) - Travaux de défense contre la mer -Stabilisation du littoral.
- CSMSE - Documents divers (factures, dossiers de concession, plans et coupes types des ouvrages, suivi du trait de côte, etc.) Salins de Giraud et Salins d'Aigues-Mortes.
- FLEURY A-M. (1992), Le littoral camarguais – inventaire des aménagements – évolution géographique, économique et juridique entre 1972 et 1992. DESS Activités et aménagements littoraux et maritimes – universités de Montpellier I, II et III. 2 parties, 135 p.
- GEOCONCEPT (1986) - Epis et digues de protection du littoral des Salins de Giraud - Etude d'impact - CSMSE, Fr : 1-51.
- GEOCONCEPT (1987) – Epis et digues de protection du littoral de Salin de Giraud – Note complémentaire à l'étude d'impact – Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est – Exploitation des Salins de Giraud.
- GEOMIDI (1978) - Embouchure du Petit Rhône - Etude de protection - Commune des Saintes Maries-de-la-Mer, Fr.: 1-44 + cartes.
- GEOMIDI (1982) - Protection du littoral de la Camargue et de l'embouchure du Petit Rhône Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer, Fr. : 1-33.
- LCHF (1982) – Commune des Saintes-Maries-de-la-Mer – Etude sur modèle réduit sédimentologique, R 82061
- LCHF-GEOMIDI (1982) – Définition des ouvrages de protection du littoral – Les Saintes-Maries-de-la-Mer.
- LAMBERT A. (2000) – Etude d'un secteur en recul ayant fait l'objet d'aménagements en Petite Camargue. Mémoire de maîtrise. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 146p.
- LAMBERT A. (2001) – Etude morphodynamique d'une section non-aménagée du littoral de Camargue occidentale. Mémoire de DEA. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 81p plus annexes.
- PROVANSAL M., SUANEZ S., BRUZZI C., COURTAUD J., ARNOUX-CHIAVASSA S. et FRAUNIE P. (1996a) - Impact de l'élévation du niveau marin sur les côtes méditerranéennes françaises, *Rapport de recherches pour le Ministère*

- de l'environnement « Elévation du niveau de la mer », Université de Provence, 45 p.*
- REGION PACA (1990) – La protection de la Camargue – 1^{ère} étape : la protection du littoral – Conseil Régional – Préfecture de Région – 59 pages.
- SABATIER F. (1997) - Les dynamiques sédimentaires du littoral du delta du Rhône, Mémoire de D.E.A de Géographie Physique, Université de Provence, Aix-en-Provence, 105 p.
- SABATIER F. (2001) – Fonctionnement et dynamiques morfo-sédimentaires du littoral du delta du Rhône, Thèse de Géoscience de l'environnement, option Géographie, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III, Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérôme. 272 pages et annexes.
- SAFEGE-CETIIS (1999) – Secteurs invariants de la digue à la mer, justification du programme de protection de la digue à la mer. Dossier n°1, Syndicat mixte d'aménagement des digues du Rhône et de la mer (SYMADREM), 17 p plus plans.
- SAFEGE-CETIIS (1999) – Secteurs invariants de la digue à la mer, étude d'impact et d'incidences du confortement de la digue à la mer. Dossier n°2, Syndicat mixte d'aménagement des digues du Rhône et de la mer (SYMADREM), 71 p plus plans et annexes.
- SAMAT O. (2001) – Evolution morfo-dynamique de quatre plages en Camargue occidentale. Mémoire de maîtrise. Université de Provence Aix-Marseille I, Institut de Géographie, UFR des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. 96 p plus annexes.
- SOGREAH (1995) - Etude de l'évolution du littoral sableux de la Camargue, rapport, 3 volumes, 400p plus plans.
- SUANEZ S. (1993) - Etude des modifications morfo-sédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône: plages de Piémenson et Napoléon, mémoire de D.E.A, Institut de Géographie, Aix en Provence, 128p.
- SUANEZ S. (1997) - Dynamiques sédimentaires actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône, Thèse de doctorat en géographie physique, Université d'Aix-Marseille I, 282p.
- SUANEZ S., PROSPER-LAGET V. et PROVANSAL M. (1997) - Variation relative du niveau marin dans le delta du Rhône, implications tectoniques et/ou climatiques, *C.R Acad Sci. Paris, t. 324, série II a, 639-646.*

