

Étude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon

In: Méditerranée, Tome 78, 3-4-1993. La Camargue et le Rhône, hommes et milieux. pp. 43-56.

Résumé

Un premier bilan de l'évolution géomorphologique du cordon dunaire à proximité de l'embouchure du Rhône, a permis de mettre en évidence un ensemble de processus morphosédimentaires. Les plages de Piémanson et Napoléon correspondent à deux systèmes fonctionnels à granulométrie différente. Leur alimentation s'effectue à partir de deux stocks sédimentaires indépendants l'un de l'autre. Les premiers résultats montrent un bilan sédimentaire semestriel globalement positif, caractérisé par un engraissement du cordon dunaire (pied de dune) et une accréation de la dépression d'arrière plage. Cette sédimentation montre le rôle essentiel joué par les dynamiques éolienne et fluviale.

Abstract

A first evaluation based on the study of the modification of the dune at an interannual scale, has showed different morphosedimentary processus. The beaches of the Piémanson and Napoléon have been described as two different functional systems characterised by a different size of grain sediment. Their feed is carried out from two different sedimentary stocks which are both indépendant one from the other one. The first results have showed that the sedimentary balance is globally positive. It is characterised by a accretion of the dune (bottom of the dune) and the back shore. This sedimentation has showed the importance of the eolian and fluvial dynamic.

Citer ce document / Cite this document :

Suanez Serge, Provansal Mireille. Étude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon. In: Méditerranée, Tome 78, 3-4-1993. La Camargue et le Rhône, hommes et milieux. pp. 43-56.

doi : 10.3406/medit.1993.2834

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/medit_0025-8296_1993_num_78_3_2834

Etude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon

Serge SUANEZ*
Mireille PROVANSAL**

Résumé. Un premier bilan de l'évolution géomorphologique du cordon dunaire à proximité de l'embouchure du Rhône, a permis de mettre en évidence un ensemble de processus morphosédimentaires. Les plages de Piémanson et Napoléon correspondent à deux systèmes fonctionnels à granulométrie différente. Leur alimentation s'effectue à partir de deux stocks sédimentaires indépendants l'un de l'autre. Les premiers résultats montrent un bilan sédimentaire semestriel globalement positif, caractérisé par un engraissement du cordon dunaire (pied de dune) et une accrétion de la dépression d'arrière plage. Cette sédimentation montre le rôle essentiel joué par les dynamiques éolienne et fluviale.

Abstract. A first evaluation based on the study of the modification of the dune at an interannual scale, has showed different morphosedimentary processes. The beaches of the Piémanson and Napoléon have been described as two different functional systems characterised by a different size of grain sediment. Their feed is carried out from two different sedimentary stocks which are both independent one from the other one. The first results have showed that the sedimentary balance is globally positive. It is characterised by a accretion of the dune (bottom of the dune) and the back shore. This sedimentation has showed the importance of the eolian and fluvial dynamic.

1 - INTRODUCTION

Il est admis que l'accélération de la montée eustatique mondiale du niveau marin pourrait atteindre 31 à 110 cm d'ici l'an 2100 (OERLEMANS, 1989; TOOLEY *et al.*, 1992). Un tel phénomène affecterait l'ensemble des littoraux, et *a fortiori* les marges humides deltaïques. Il peut apparaître d'autant plus grave si l'on considère d'une part, l'instabilité endogène localisée (tassement, subsidence) augmentant le mouvement propre de la mer, d'autre part, la diminution d'apports sédimentaires due à l'aménagement des cours d'eau dans le bassin-versant. Le littoral du delta du Rhône répond à l'ensemble de ces conditions. Situé à l'aval d'un bassin versant largement anthropisé, il est destiné à subir d'importantes modifications environnementales dans les décennies à venir (L'HOMER, 1992). L'étude du système littoral à l'embouchure du Rhône (SUANEZ, 1993) s'inscrit dans cette réflexion générale. Il associe trois unités morphodynamiques : la plage, le cordon dunaire et la dépression vaseuse d'arrière dune (Fig. 1).

La plage regroupe trois unités morphologiques bien distinctes : le bas de plage correspond à l'étage médiolittoral à submersion quotidienne. Ce stock sédimentaire humide n'est donc pas mobilisable par le vent. Le bourrelet de plage constitue la zone de contact entre l'arrière plage et la mer. Son profil légèrement bombé se présente sous la forme d'un bourrelet. Excepté durant les tempêtes d'est où la submersion de la plage est totale, cet espace reste formé par un sable sec et mobile constituant un stock sédimentaire éolien potentiel. La dépression d'arrière plage est constituée par une large bande sableuse déprimée comprise entre le bourrelet de plage et le cordon dunaire. Cette unité morphologique fait par sa largeur (> à 100 m) et sa forme concave l'originalité des plages de Camargue. Elle joue un rôle essentiel dans l'ensemble des dynamiques morphosédimentaires affectant le système plage-cordon dunaire.

* Doctorant, URA 903 CNRS, Université de Provence, Aix-en-Provence.

** URA 903 CNRS, Université de Provence, Aix-en-Provence.

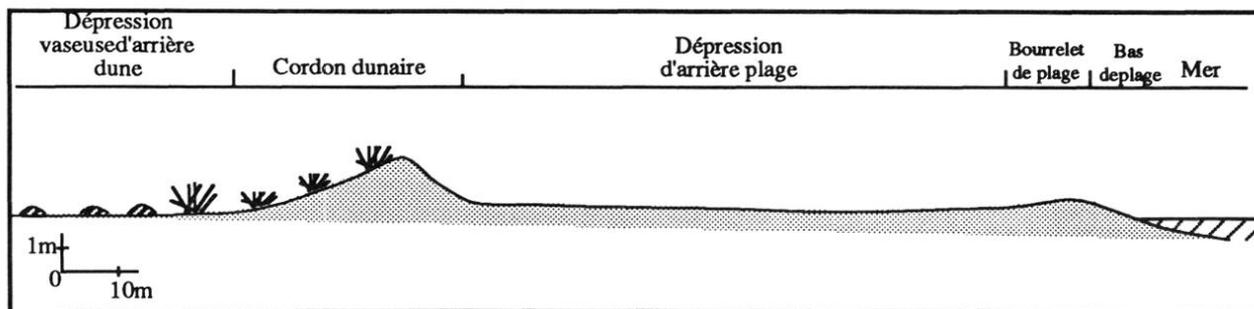


Fig. 1 - COUPE TRANSVERSALE DE LA PLAGE

Le cordon dunaire se définit comme une construction sableuse d'origine éolienne allongée parallèlement au rivage. Il constitue une barrière naturelle entre la plage et la dépression vaseuse d'arrière dune. Pour l'espace qui nous intéresse, il ne dépasse pas trois mètres de hauteur. Sa vulnérabilité face à la déflation dépend pour beaucoup de sa couverture végétale et de l'orientation du vent.

La dépression vaseuse d'arrière dune se situe directement derrière le cordon dunaire. Elle se présente comme une dépression peu marquée, occupée par une formation végétale halophile (la sansouire), et quelques étangs. Elle correspond à un substrat sablo-limoneux où l'importance des limons est liée aux apports fluviaux. La présence d'anciennes barres d'embouchure et cordons dunaires abandonnés lors de la progradation du delta, constitue localement un stock sédimentaire sableux.

Une recherche en cours se propose d'étudier l'évolution géomorphologique actuelle du cordon dunaire, première barrière défensive face à la remontée du niveau marin. Ces travaux ont fait l'objet d'un DEA de géographie physique (SUANEZ, 1993) dont les premiers résultats sont ici présentés.

2 - ÉVOLUTION DU CORDON DUNAIRE

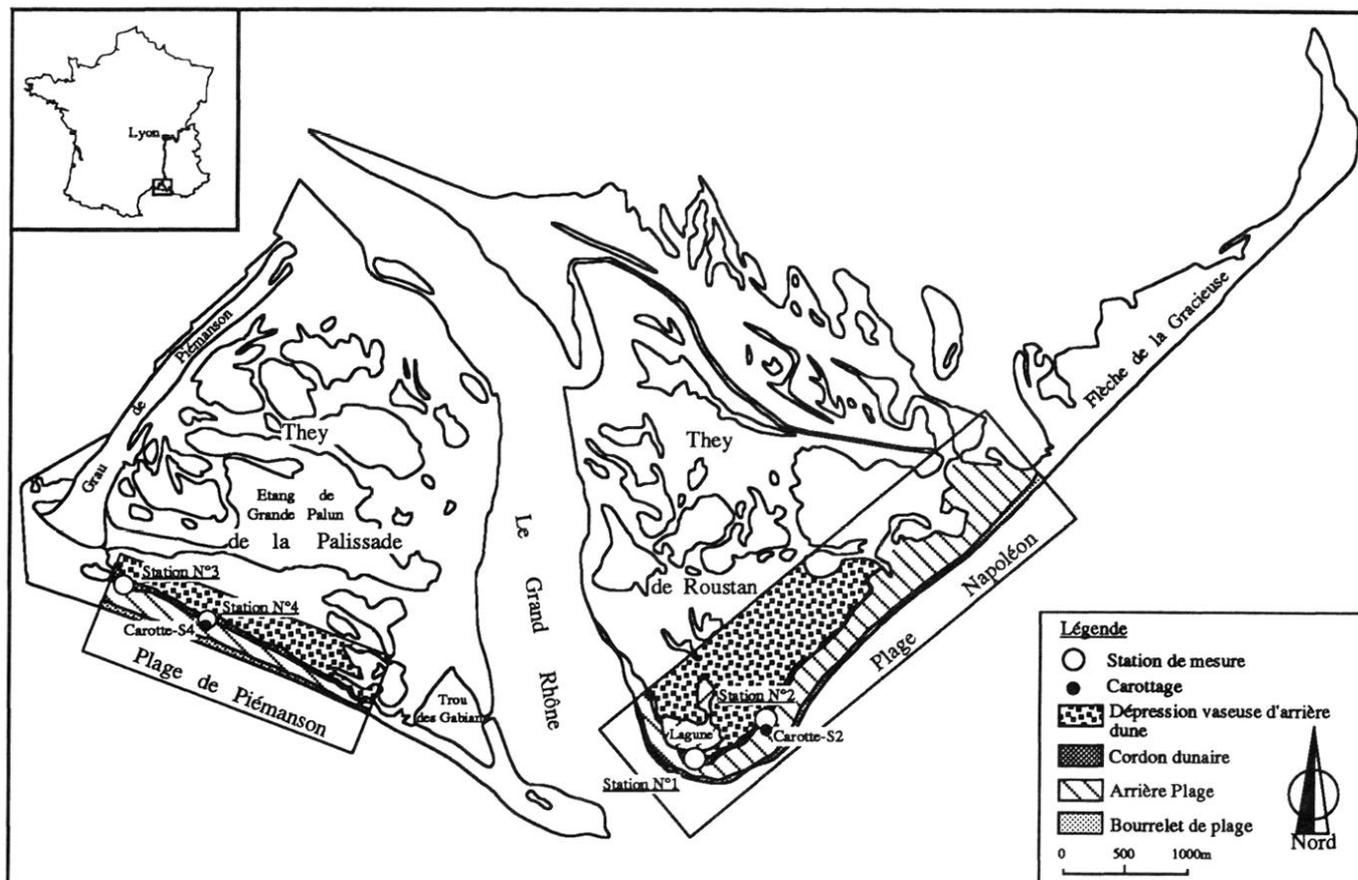


FIG. 2 - LOCALISATION DES STATIONS ET DES CAROTTES ÉTUDIÉES

La quantification de l'évolution du cordon dunaire a été réalisée à partir de mesures stationnelles. Quatre stations ont été installées de part et d'autre de l'embouchure du Rhône sur le système dunaire, perpendiculairement à la côte. Deux stations sur la plage de Piémanson en rive droite du fleuve et deux

stations sur la plage Napoléon en rive gauche (Fig. 2). Les six mois d'observation (du 14/11/92 au 15/5/93), ont permis de mettre en évidence un ensemble de dynamiques morphosédimentaires particulièrement efficaces par vent de NW (Mistral), de SE et par tempête d'est et de donner un premier bilan de l'évolution du cordon dunaire à l'échelle saisonnière.

2.1. Méthodologie

Les mesures de la mobilité du cordon dunaire ont été réalisées à partir de piquets gradués à section plate, installés perpendiculairement à la côte, sur le cordon dunaire. Chacune des parties du cordon a fait l'objet d'une mesure régulière : pied de dune, haut de dune et arrière dune ainsi que la dépression vaseuse d'arrière dune, mettant en évidence l'accrétion et l'érosion enregistrées par chacun des piquets.

Les enregistrements ont été assurés avec une périodicité de 7 à 15 jours. L'interprétation des processus morphosédimentaires a tenu compte du contexte météorologique dans lequel les modifications ont été observées (données de la station météorologique de la Tour du Valat et mesures anémométriques *in situ*).

2.2. Critiques et limites de la méthode employée

L'utilisation de piquets à section plate pour l'enregistrement des mesures a induit des perturbations dans les courants d'air près du sol (phénomènes tourbillonnaires créant des cavitations au bas des piquets) qui rendent la mesure approximative. En ce qui concerne les points d'échantillonnage situés à l'arrière du cordon dunaire et *a fortiori* dans la dépression vaseuse d'arrière dune, la méthode s'est révélée vaine : l'évolution sédimentaire est à cet endroit trop faible (de l'ordre du millimètre en 6 à 8 mois) pour être appréciée à partir de piquets.

On soulignera par ailleurs la discontinuité des observations qui n'a permis de mesurer que des bilans sédimentaires hebdomadaires à bi-hebdomadaires.

Enfin, il convient de mentionner les perturbations induites par l'action anthropique : on sait en effet que le littoral camarguais est un lieu de tourisme particulièrement fréquenté, surtout en période estivale (PICON, 1988). D'autre part, cette fréquentation se traduit par une détérioration épisodique des stations d'échantillonnage, créant ainsi des trous dans les séries d'enregistrement. Ces lacunes nous ont, à plusieurs reprises, obligé à lisser l'information au risque de fausser les résultats.

2.3. Les dynamiques morphosédimentaires du cordon dunaire (Fig. 3 et 4)

Les modèles théoriques montrent deux types de situations possibles : par vent de mer, le cordon dunaire tend à s'engraisser par les apports prélevés à la plage, à l'inverse, par vent de terre la déflation favorise le démaigrissement des dunes emportant les sables vers la mer (GUILCHER, 1954; PETHICK, 1984). Dans le détail, les observations nous ont montré que les processus affectant le cordon dunaire à l'embouchure du Rhône sont modérés par deux paramètres importants : l'orientation de la côte et la couverture végétale.

Les modifications morphosédimentaires les plus spectaculaires concernant la mobilité du cordon dunaire et à plus grande échelle, du «système plage», ont été enregistrées par Mistral (NW), tempête d'est et vent de SE.

a - Par vent de NW (Mistral), l'ablation du haut de dune peut être très importante si la disposition du cordon dunaire ou le taux de couverture végétale le permet (> à 50 cm pour la station N° 4, Fig. 4). La déflation est aussi très importante sur l'arrière plage. Bien qu'une partie du matériel soit rejeté à la mer, un stockage des sables se réalise en arrière du bourrelet de plage sous la forme d'un cordon barkanoïde parallèle au rivage et atteignant 1 m de hauteur. L'ensemble du matériel n'est donc pas totalement perdu, une partie de ces sables est stockée en milieu émergé sur la plage. Son avancée est stoppée par un chenal d'écoulement parallèle à la côte dans lequel transite de l'eau marine (Fig. 5; Ph. 1). Le matériel formant le cordon barkanoïde est redistribué sur l'arrière plage par tempête d'est ou vent de SE. Cette morphogenèse est observable de part et d'autre de l'embouchure du Rhône, mais demeure beaucoup plus importante sur la plage Napoléon que sur celle de Piémanson. L'ensemble des dynamiques éoliennes affectant le cordon dunaire est largement influencé par la densité du couvert végétal.

- Lorsque la couverture végétale est importante (> à 50%), la végétation fixe les sables au sommet des dunes. Sa répartition sur le versant nord du cordon (face au Mistral) freine de façon efficace les effets du vent, créant des phénomènes de turbulence dans la partie sommitale. Ces phénomènes provoquent des éboulis sableux sur la pente située sous le vent. Il arrive que ce matériel entraîne dans sa chute, une partie des sables du haut de dune. L'engraissement du cordon dunaire (pied de dune), se fait au détriment de

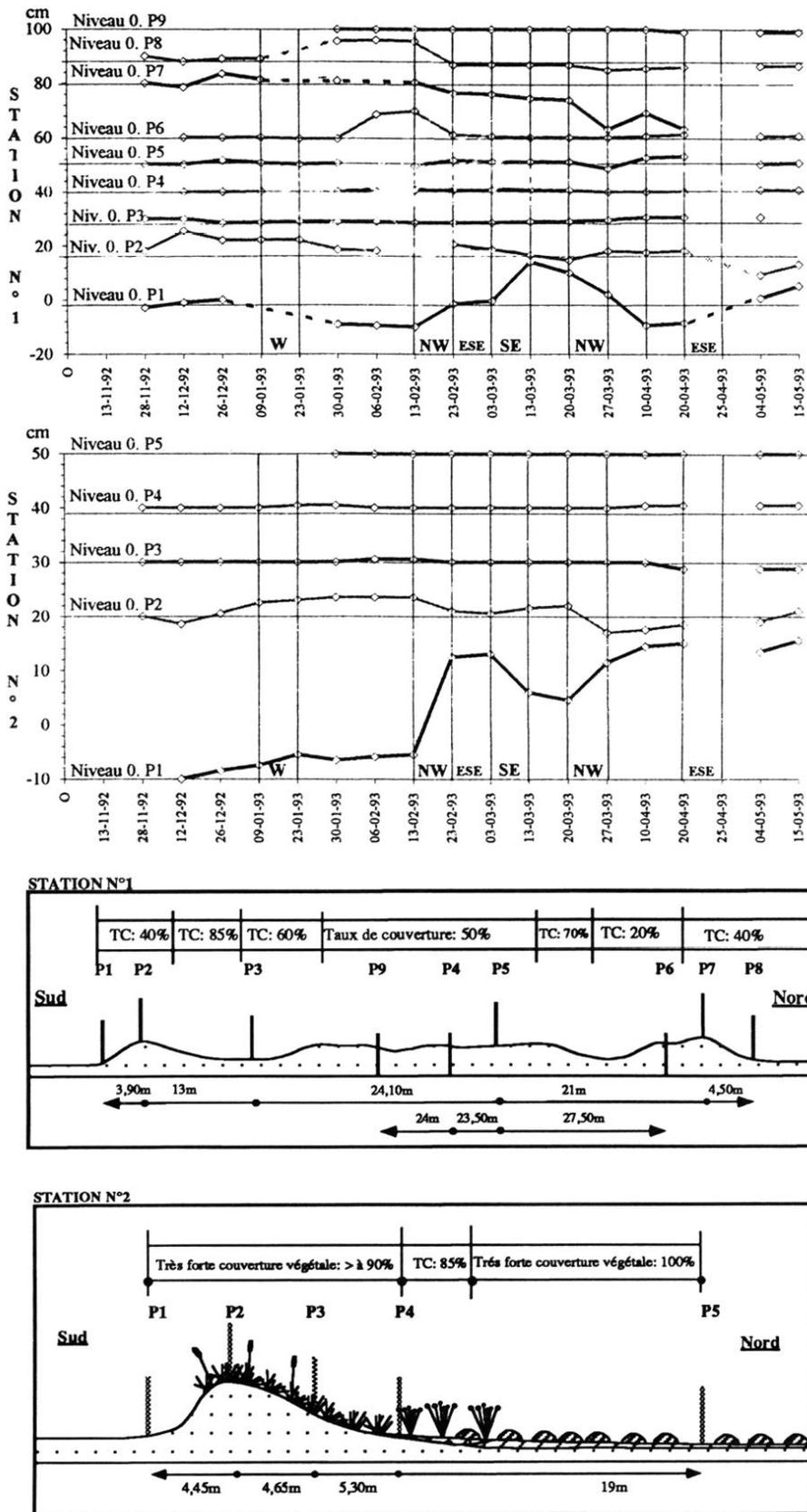


Fig. 3 - ÉVOLUTION DU CORDON DUNAIRE DES STATIONS DE PIÉMANSON

s'effectue au pied du cordon dunaire, sur une topographie de raccordement subsistant entre l'arrière plage submergée et le cordon dunaire. L'engraissement du pied de dune se fait donc par transfert latéral du matériel du cordon lui-même, arraché aux zones de déflation privilégiées (hauts de dune non protégés par la végétation, pieds de dune les plus exposés). Ce fonctionnement expliquerait le comportement de la station N° 4 qui enregistre pour les périodes du 13/03/93 et 24-25/04/93, une ablation de la partie sommitale de 14 et 18,5 cm (Fig. 4).

la partie sommitale érodée d'une part, mais aussi par changement du profil de la pente située sous le vent.

- Lorsque la couverture végétale est pauvre (< à 30%), l'importance de la déflation est favorisée par l'absence de végétation. Les mesures effectuées ont montré que le recul du pied de dune était associé à une ablation extrêmement marquée en haut de dune : - 14 cm pour la période du 13/02 au 23/02/93 pour la station N° 4 (Fig. 4). On peut penser que cette absence de végétation élimine les phénomènes de turbulence dans la partie sommitale, augmentant par là même, la compétence et l'efficacité éolienne au pied du cordon dunaire.

b - Les tempêtes d'est entraînent des phénomènes de submersion de la plage par les eaux marines (Ph. 2). Ces phénomènes s'accompagnent de destructions partielles et très localisées du cordon dunaire. Ces percées appelées trabas, favorisent les intrusions d'eau marine dans la dépression vaseuse d'arrière dune. On met en évidence un ensemble de processus caractérisé par deux étapes, bien observées sur la plage de Piémanson.

- Dans un premier temps, prédominance de l'action éolienne. L'infiltration des eaux de pluie reste encore importante et retarde les effets de compactage et de cohésion permettant encore au vent de déplacer les sables disponibles. Ce transport de matériel orienté SE-NW,

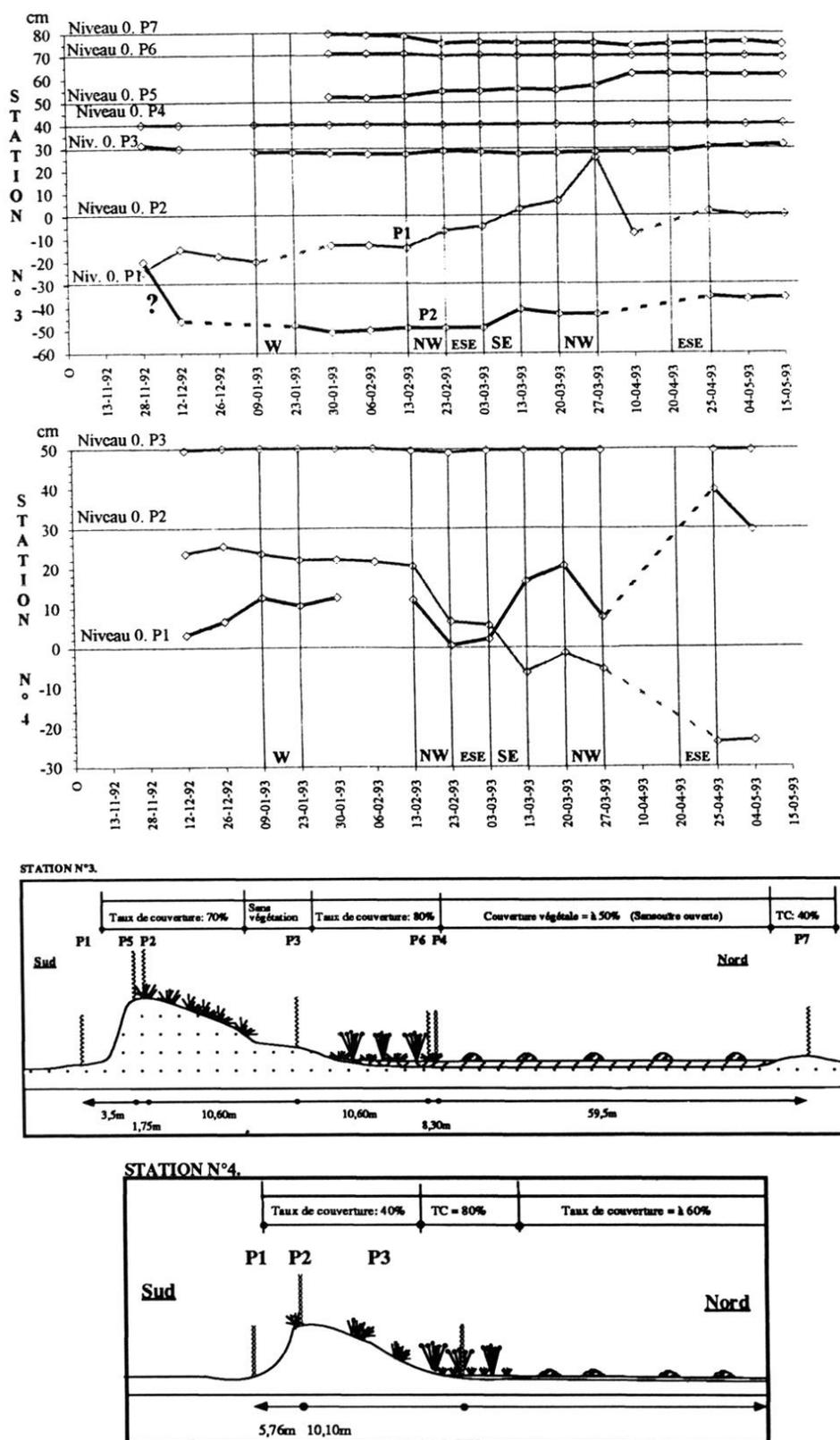


Fig. 4 - ÉVOLUTION DU CORDON DUNAIRE DES STATIONS DE NAPOLÉON

les eaux marines. Cet élément permet l'alimentation du cordon dunaire à partir des sables mobilisables prélevés sur le bourrelet de plage. A l'inverse les parties sommitales des dunes non végétalisées sont érodées. Cette dynamique est observable sur la plage de Piémanson et la plage Napoléon.

2.4. Bilan global

Pour l'ensemble de la période couvrant les six mois d'échantillonnage (du 14/11/92 au 15/05/93), le bilan sédimentaire de l'évolution du cordon dunaire de part et d'autre de l'embouchure du Rhône est le suivant :

- Dans un deuxième temps, l'augmentation et l'intensification des précipitations annihilent l'action éolienne. Cela se traduit par une disparition du transport des sables au pied du cordon dunaire. De part et d'autre de l'embouchure, les seules zones de déflation encore fonctionnelles sont les parties sommitales du cordon, là où l'infiltration des eaux dans le sable reste importante. A l'inverse, la dynamique marine perdue, entraînant l'inondation totale de la dépression vaseuse d'arrière dune et/ou l'augmentation du niveau des eaux dans les étangs et marais d'arrière dune.

Les deux rives de l'embouchure du Rhône subissent une évolution très différente. L'exacerbation des processus morphodynamiques observés sur la plage Napoléon s'explique par l'orientation de la côte. Par vent d'E-SE, elle offre un angle d'attaque maximum aux dynamiques éoliennes et marines. La déflation entraîne le transport des sables vers la dépression vaseuse d'arrière dune, tandis que les phénomènes de submersion sont directement orientés vers le cordon dunaire. A l'inverse, sur la plage de Piémanson, l'orientation de la côte quasiment parallèle à la direction du vent, tend à limiter son action.

c - Les vents de SE se différencient essentiellement des tempêtes d'est par l'absence de submersion de la plage par

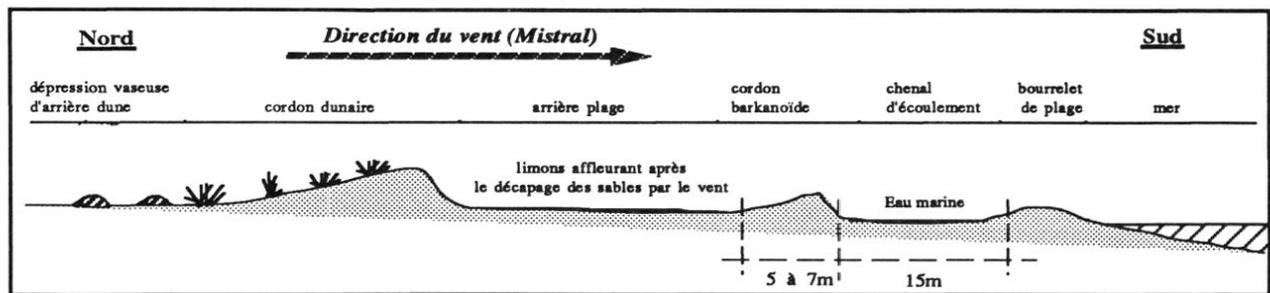


Fig. 5 - PROFIL TRANSVERSAL DE LA PLAGE PAR VENT DE NW (MISTRAL)

a - Deux systèmes évoluent de toute évidence à des échelles différentes : un premier espace, constitué par le haut et le pied de dune (auquel se rattache la plage), est particulièrement mobile et extrêmement sensible aux variations saisonnières. Il contraste avec l'ensemble que constitue l'arrière dune et, à plus grande échelle, la dépression vaseuse d'arrière dune, qui n'enregistre aucune modification notable à l'échelle semestrielle.

b - L'importance du couvert végétal dans la conservation du cordon dunaire. Les parties sommitales caractérisées par les taux de couverture les plus faibles, enregistrent la plus forte ablation.

c - L'engraissement généralisé du cordon dunaire (au niveau du pied de dune) de part et d'autre de l'embouchure. Le taux d'accrétion varie entre 10 et 30 cm pour les six mois écoulés (soit une moyenne de 20 cm pour six mois), soit environ 10 cm/an. Pour les parties sommitales, le bilan s'équilibre, excepté pour la station N° 4 qui est caractérisée par un faible taux de couverture végétale et qui subit une ablation moyenne de 50 cm sur six mois. La somme des données recueillies au 15/05/93, atteste donc d'un bilan général globalement positif (avec des accumulations plus significatives sur la plage de Piémanson témoignant, une fois de plus, de l'importance de l'orientation de la côte).

La poursuite des observations faites sur une année météorologique complète devrait confirmer ou infirmer ce résultat. Des recherches sont en cours sur ce sujet.

2.5. Conclusion

L'ensemble des données recueillies sur les processus morphosédimentaires qui commandent l'évolution du cordon dunaire, permet de distinguer deux espaces évoluant de façon différente. Un premier système, composé de la plage et de la partie du cordon dunaire située face à la mer, est extrêmement sensible aux variations saisonnières. Un second ensemble, constitué de l'arrière dune et de la dépression vaseuse d'arrière dune, est beaucoup plus figé et semble évoluer à l'échelle pluriannuelle. Pour ce dernier, il est important de souligner que les seules modifications observables interviennent lors des tempêtes d'est, lorsque la détérioration du cordon dunaire favorise les intrusions marines. L'ensemble de ces éléments confirme le rôle de barrière naturelle joué par le cordon dunaire.

Un second découpage oppose les deux rives de l'embouchure du Rhône. Il se traduit par une intensification des processus morphodynamiques d'ouest en est et par les détériorations partielles enregistrées par la flèche de la Gracieuse, aujourd'hui considérée comme un espace très menacé. Cette différenciation s'explique en grande partie, par l'orientation de la côte par rapport aux vents, laquelle aggrave la submersion marine sur la plage Napoléon par tempêtes d'est. Mais il est probable que des héritages topographiques locaux amplifient ces phénomènes (en l'occurrence, ici, la présence de l'exutoire fossile du grau de Pégoulie).

3 - LE RÔLE ORIGINAL DE LA DÉPRESSION D'ARRIÈRE PLAGE

La dépression d'arrière plage est constituée par une large bande sableuse (environ 100 m) déprimée comprise entre le bourrelet de plage et le cordon dunaire sur laquelle transite l'ensemble des flux éoliens et hydriques : transit des sables en saltation, débordement des eaux fluviales lors des crues du Rhône, submersion régulière des eaux marines par tempête d'est.

3.1. Observations des flux en cours en 1992-93

a - Les observations faites sur l'évolution du cordon dunaire ont montré qu'indépendamment de la direction du vent, une vitesse supérieure à 30 km/h était requise afin que s'opère le transit des sables en saltation. Ces déplacements de matériel ont par ailleurs fait l'objet de prélèvements sédimentaires (Cf. *infra*).

b - Les crues du Rhône qui ont marqué l'automne 1992 ont induit une accumulation argilo-limoneuse déposée sur le fond de la dépression d'arrière plage inondée. L'inondation de la dépression d'arrière plage se produit dès que le Rhône atteint un débit égal à 1500 m³/s. Mais le transfert d'une charge solide argilo-limoneuse sur la dépression d'arrière plage est, semble-t-il, uniquement lié aux débits de crues supérieurs à 4000 m³/s. Il reste cependant à analyser plus finement si toutes les crues ont des impacts similaires (dépendance de la charge solide par rapport à l'origine du bassin versant). Ce phénomène a été observé de part et d'autre de l'embouchure du Rhône, sur les plages de Piémanson et de Napoléon (Ph. 3). Par vent de NW (Mistral), ces dépôts argilo-limoneux protègent les sables sous-jacents de la déflation, jouant un rôle important dans la protection de l'arrière plage.

c - Par tempête d'est la dépression d'arrière plage est totalement submergée par les eaux marines. L'existence d'une sédimentation d'origine marine liée à ces phénomènes de submersion n'est pas exclue.

L'ensemble de ces dynamiques morphosédimentaires contribue à la construction de l'arrière plage. Un bilan sédimentaire de ces différents apports est proposé à partir de la stratigraphie de carottages réalisés sur l'arrière plage.

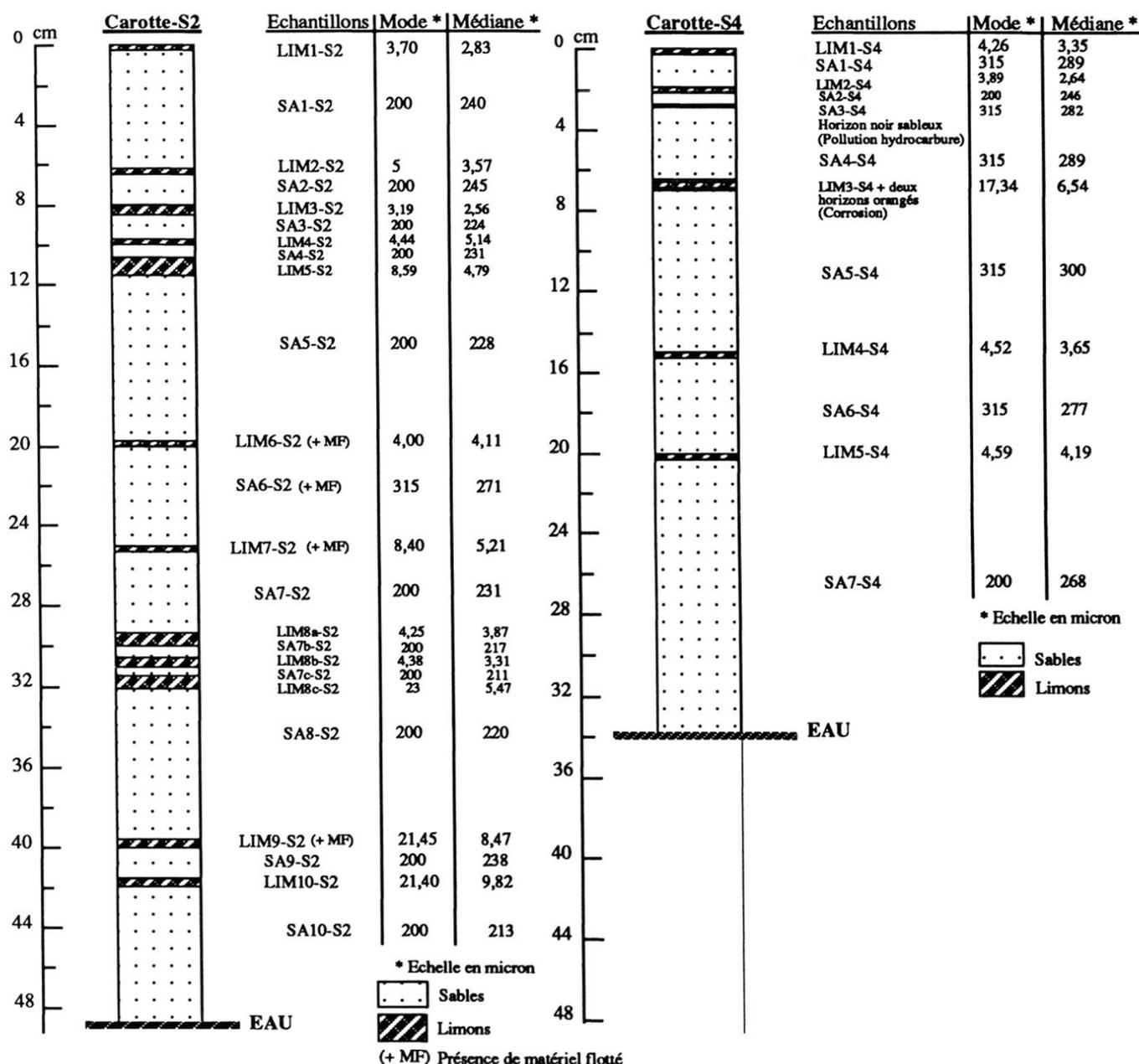


Fig. 6 - STRATIGRAPHIE ET DONNÉES SÉDIMENTOLOGIQUES OBTENUES SUR LES CAROTTES S2 ET S4

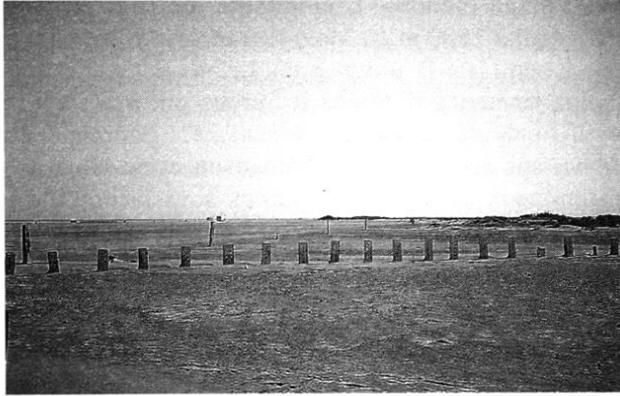


Photo 1 - PLAGE NAPOLÉON (THEY DE ROUSTAN) : PROFIL DE LA PLAGE PAR VENT DE NORD : ARRIÈRE PLAGE NON SUBMERGÉE. (CLICHÉ : S. SUANEZ)

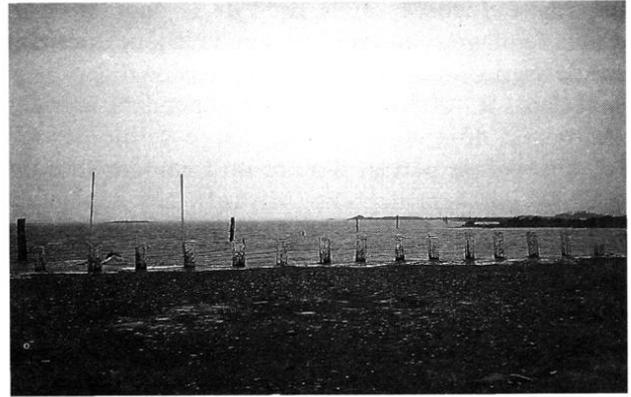


Photo 2 - PLAGE NAPOLÉON (THEY DE ROUSTAN) : PROFIL DE LA PLAGE PAR TEMPÊTE D'EST : ARRIÈRE PLAGE TOTALEMENT SUBMERGÉE PAR LES EAUX MARINES JUSQU'AU CORDON DUNAIRE. (CLICHÉ : S. SUANEZ)



Photo 3 - PLAGE NAPOLÉON (THEY DE ROUSTAN) : FORMES D'ÉROSION OBSERVÉE SUR L'ARRIÈRE PLAGE. MISE EN ÉVIDENCE DES DÉPÔTS ARGILO-LIMONEUX EN SURFACE. (CLICHÉ : S. SUANEZ)



Photo 4 - PLAGE NAPOLÉON (THEY DE ROUSTAN) : PROFIL DE LA PLAGE PAR VENT DE NW (MISTRAL). CONSTRUCTION D'UN CORDON BARKANOÏDE SUR LA DÉPRESSION D'ARRIÈRE PLAGE SÉPARÉ DU BOURRELET DE PLAGE PAR UN CHENAL D'ÉCOULEMENT. (CLICHÉ : S. SUANEZ)

3.2. Stratigraphie de la dépression d'arrière plage

Deux carottages à la tarière à main ont été réalisés, de part et d'autre de l'embouchure, à quelques mètres en avant du cordon dunaire : la carotte-S4 sur la plage de Piémanson, la carotte-S2 sur la plage Napoléon (Fig. 1).

a - L'analyse stratigraphique a confirmé l'existence d'une alternance régulière de couches argilo-limoneuses (épaisseur variant de 3 à 5 mm) et de couches sableuses (épaisseur variant de 1,5 à 8 cm) (Fig. 6).

b - Les lits argilo-limoneux sont liés à l'intervention de flux hydriques comme en témoigne, à leur partie sommitale, la présence de matériel flotté (charbons de bois, brindilles, tiges de végétaux, feuilles, et morceaux de bois). Leur analyse sédimentologique met en évidence la prédominance des limons fins (médiane comprise entre 2,56 et 10,4 microns) d'origine fluviale en bonne concordance avec les études réalisées jusqu'ici sur la charge turbide rhodanienne. J.C. ALOISI *et al.* (1979) montrent en effet que la couche turbide des eaux superficielles marines à l'embouchure du Rhône est caractérisée par un matériel dont la taille des grains et des agrégats varie entre 5 et 75 microns. De même, C. CARRIO (1988) a pu montrer que les valeurs de la médiane concernant la couche turbide superficielle des eaux du Rhône à l'embouchure, variaient peu. Elles se situent entre 4,21 et 10 microns, avec une moyenne de 6 microns (les tailles supérieures correspondraient à la zone de floculation du « choc salin », entraînant la formation de gros agrégats). Enfin, les valeurs obtenues sur les prélèvements effectués au niveau du palier d'Arles

(pK 283,5) durant la crue du mois de novembre 1992 ont montré que l'ensemble des échantillons était caractérisé par une médiane se situant entre 2,41 et 10,41 microns (RODITTS, 1993).

c - L'alternance sables/limons est beaucoup plus rapide sur la plage Napoléon que sur la plage de Piémanson traduisant peut être une invasion plus fréquente du Rhône sur la rive gauche que sur la rive droite. Mais rien ne permet de confirmer cette hypothèse car ces lits argilo-limoneux sont facilement détériorables par l'action anthropique, entraînant l'accélération des formes d'érosion sur la dépression d'arrière plage par l'action éolienne.

d - Les lits sableux posent le problème de leur origine : marine ou éolienne ? L'analyse sédimentologique de ces sables montre un matériel dans son ensemble très bien trié ($0,29 < So < 0,44$) et dont la médiane se situe entre 211 et 300 microns. L'hypothèse d'une origine marine se traduirait par la présence d'un matériel «théoriquement» plus grossier et bien moins trié (DEGIOVANNI, 1972), arraché par la houle à la plage médiolittorale (zone de ressac). Ce matériel serait donc d'origine éolienne. Il proviendrait de toute évidence du stockage d'une partie des sables transportés en saltation sur la dépression d'arrière plage et arraché par le vent au cordon dunaire ou au bourrelet de plage. Les prélèvements effectués sur ces unités morphologiques confirment cette hypothèse : le matériel sédimentaire a les mêmes caractères (médiane, mode, indices) que celui du cordon dunaire et du bourrelet de plage.

3.3. Conclusion

a - Le piégeage des sables sur la dépression d'arrière plage joue le rôle de stock sédimentaire «réservoir» dans le fonctionnement général de la plage et plus particulièrement dans les échanges entre le cordon dunaire et le bourrelet de plage.

b - Le stockage des sables est facilité par les dépôts de limons fluviaux qui jouent le rôle de «croûte» protégeant les sables inférieurs contre la déflation. L'ensemble de ces processus morphosédimentaires nous montre un système en équilibre dépendant de deux facteurs :

- D'une part, l'arrivée de la charge solide rhodanienne sur la dépression d'arrière plage. Ce transit s'opère par le système lagunaire d'arrière dune et les anciens graus reliant le Rhône à la plage. Cet élément confirme le rôle essentiel joué par l'ensemble des communications existant entre le système lagunaire d'arrière dune et la plage ainsi que la nécessité d'entretenir ce réseau hydrologique.

- D'autre part, l'action anthropique : la destruction partielle des limons protecteurs déstabilise l'équilibre du système entraînant des formes d'érosion en sillon au dépend du matériel sableux (Ph. 4). Ces couches argilo-limoneuses restent donc très sensibles aux piétinements et aux passages des voitures extrêmement fréquents sur les plages de Camargue.

Pour les six mois d'observation, le bilan sédimentaire est globalement positif : 3 mm de dépôts argilo-limoneux se sont déposés durant les crues des mois d'octobre, novembre et décembre 1992. Postérieurement à ce dépôt, 3 cm de sables sont venus s'accumuler. Cette sédimentation soulève deux interrogations. Que représente l'accrétion verticale de la dépression d'arrière plage à l'échelle pluriannuelle ? Aucun élément de datation n'a permis de donner une estimation du bilan de la sédimentation. Sommes nous en présence d'une tendance continue qui tendrait à faire de la plage un système morphodynamique «accrétionnaire» non menacé par la remontée du niveau marin ? Quelle est la part des tassements ou de l'érosion non perçue en regard de cette éventuelle accrétion ?

c - L'image CM obtenue d'après la méthode PASSEGA (1963, 1964) sur les limons fluviaux nous montre un matériel de type lutite transporté jusqu'à l'arrière plage en suspension pélagique. Ces dépôts de décantation correspondent aux nappes d'eau stagnantes ou aux bras morts éloignés des chenaux d'écoulement (BRAVARD *et al.*, 1989). Ils supposent une dynamique fluviale très calme où les courants tractifs sont relayés par la décantation. Les mesures effectuées durant les crues du Rhône des mois d'octobre à décembre 1992 ont montré qu'une partie du matériel avait transité sur la dépression d'arrière plage à partir du système lagunaire d'arrière dune (prélèvements effectués par l'équipe du Pr. John DAY, au niveau du canal artificiel reliant le Rhône à l'étang de Grande Palun, K.H. PRINS, 1993).

Les enregistrements effectués au niveau du palier d'Arles pour le maximum de la crue du mois d'octobre 1992 (durant le pic du 29-30-31 octobre), ont montré une augmentation de la charge solide à partir du 30 octobre (430 mg/l), pour un débit liquide du Rhône supérieur à 4000 m³/s. Les mesures effectuées pour la même période ont montré un flux rhodanien extrêmement chargé en MES (+ 767,5 g/s) rentrant dans le système Palissade.

Pour la crue du mois de novembre 1992, les teneurs en MES enregistrées au niveau du palier d'Arles, au maximum de la crue (23 et 24 novembre), atteignent 1508,33 mg/l pour un débit liquide supérieur

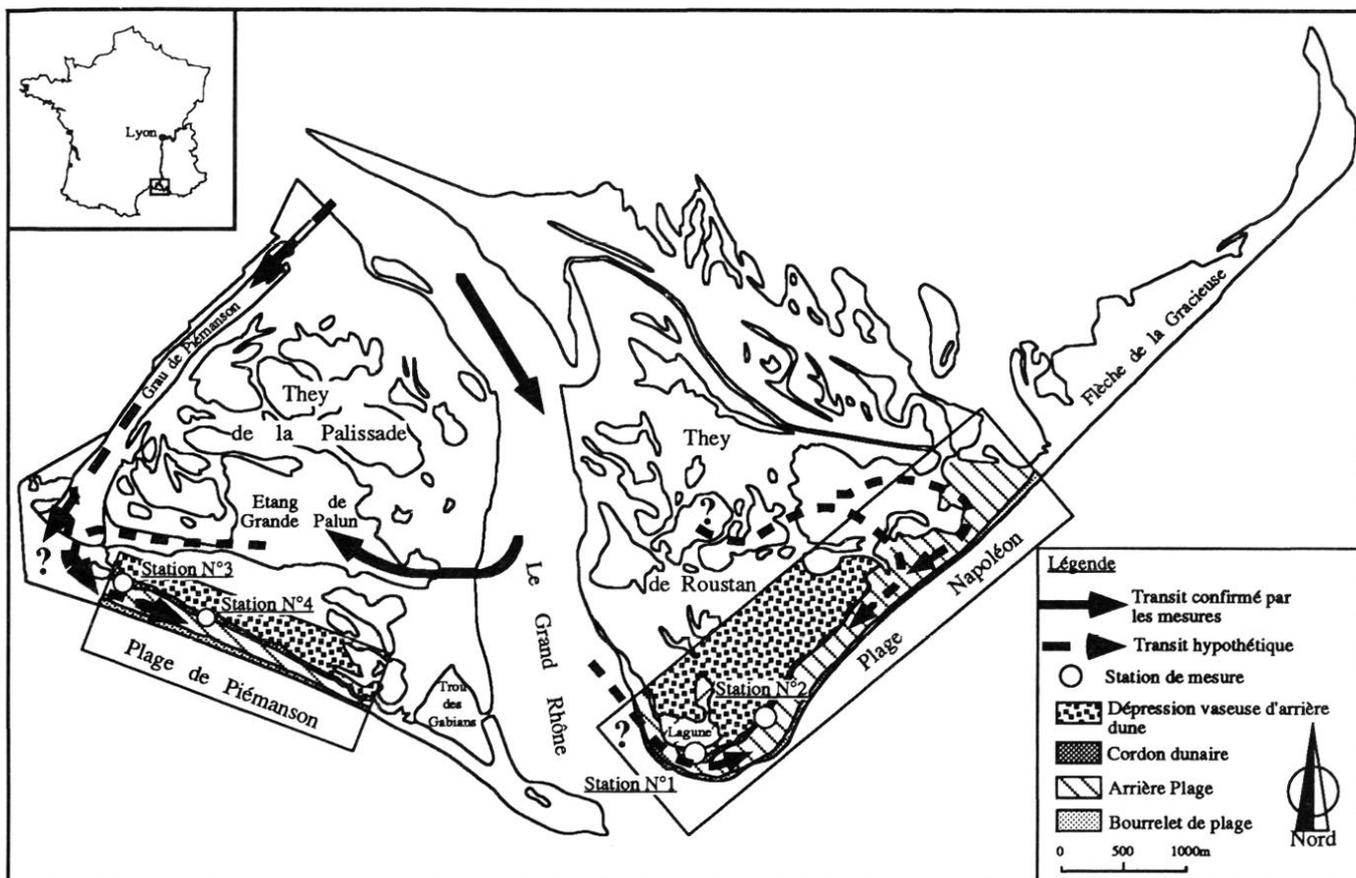


Fig. 7 - HYPOTHÈSES FAITES SUR LE TRANSIT DES M.E.S. DU RHÔNE VERS LA DÉPRESSION D'ARRIÈRE PLAGE (PLAGES DE PIÉMANSON ET NAPOLÉON)

à $5.600\text{m}^3/\text{s}$. Les mesures obtenues au niveau du canal artificiel de la Palissade ont été effectuées 2 à 3 jours après le pic de crue (26-27-28 novembre 1992). Elles montrent un flux de faible importance sortant du système Palissade et très peu chargé en MES ($0,3\text{ g/s}$). Comme pour la crue du mois d'octobre, on peut penser qu'une importante quantité de MES a pu transiter du Rhône vers le système Palissade. La faible importance des teneurs en MES ré-exportées vers le Rhône, nous montre qu'une grande partie de ce matériel a pu être repris par le système hydrologique d'arrière dune.

Pour la crue du mois de décembre 1992, les données disponibles ne concernent que les mesures effectuées au niveau du palier d'Arles. Elles enregistrent une augmentation des teneurs en MES. Durant le pic du 7-8-9 décembre 1992, le débit solide atteint $477,72\text{ mg/l}$ pour un débit liquide supérieur à $4700\text{ m}^3/\text{s}$.

Pour la plage de Piémanson, une partie du matériel capté par le système lagunaire d'arrière dune, transite vers la dépression d'arrière plage à partir du canal naturel reliant l'étang de Grande Palun à l'embouchure du Grau de Piémanson (Fig. 7). Cette circulation entraîne un taux d'accrétion du système lagunaire très important ($0,0023\text{ gr/m}^2/\text{jour}$) suffisant pour contrebalancer la remontée du niveau marin dans ce secteur (DAY, 1993).

Pour la plage Napoléon, il est difficile de donner une interprétation. Il est fort possible qu'en période de crue une partie du matériel accumulé puisse provenir des étangs d'arrière dune. Cependant, à l'inverse des mesures effectuées sur le they de la Palissade, aucune observation ne permet d'établir le lien entre les eaux du Rhône et le système lagunaire d'arrière dune pour le they de Roustan.

4 - MISE EN ÉVIDENCE DE DEUX STOCKS SÉDIMENTAIRES : STOCK FOSSILE ET STOCK VIF

L'ensemble des prélèvements sableux effectués sur les plages de Piémanson et Napoléon a montré l'existence de deux stocks sédimentaires différenciés par leur mode et se répartissant de part et d'autre de l'embouchure du Rhône.

4.1. Le système fonctionnel : deux stocks granulométriques

Tabl. 1- LES SABLES EN MOUVEMENTS. ANÉMOMÉTRIE, SÉDIMENTOLOGIE

Prélèvement	Plage	Date	Vent	Vitesse (km/h)	Poids (gr.)	Mode	Med.	Tri	Sk
Station N° 1	Napoléon	23/01/93	W	40-45	138,05	0,200	0,228	0,31	-0,05
Station N° 1	Napoléon	23/01/93	W	30-35	27,80	0,200	0,232	0,33	-0,03
Station N° 1	Napoléon	28/02/93	NW	50-60	374,0	0,200	0,228	0,31	-0,17
Station N° 1	Napoléon	28/02/93	NW	50-60	137,05	0,200	0,237	0,31	-0,13
Station N° 2	Napoléon	13/03/93	SE	40-45	347,5	0,200	0,237	0,33	-0,20
Station N° 3	Piémanson	28/02/93	NW	60-80	328,55	0,200	0,266	0,33	-0,10
Station N° 3	Piémanson	28/02/93	NW	60-80	84,4	0,315	0,304	0,32	0,12
Station N° 3	Piémanson	13/03/93	SE	45-50	192,7	0,315	0,316	0,32	0,32
Station N° 3	Piémanson	24/04/93	E-SE	70-80	1353,1	0,315	0,290	0,32	0,08
Station N° 3	Piémanson	24/04/93	E-SE	70-80	1521,4	0,315	0,278	0,33	-0,01

a - Dix échantillons sableux ont été prélevés sur la charge solide transportée en saltation. L'ensemble des prélèvements ont été effectués sur la dépression d'arrière plage de part et d'autre de l'embouchure du Rhône (plages de Piémanson et Napoléon) et prenant en compte plusieurs directions du vent (Tabl. 1). Quelque soit la direction du vent l'analyse sédimentologique de ces sables nous montre que l'ensemble des prélèvements effectués sur la plage de Piémanson est caractérisé par un mode à 315 μ , contrastant des valeurs obtenues pour la plage Napoléon dont le mode se situe à 200 μ .

b - Des prélèvements effectués en surface (2 à 3 mm) sur les zones considérées comme les sources sédimentaires (bourrelet de plage et haut de dune) ont confirmé les résultats obtenus sur l'étude des sables en saltation. Les résultats obtenus pour la plage de Piémanson montrent que les sables de bourrelet de plage et de haut de dune sont caractérisés par un mode à 315 μ (Tabl. 2), à l'exception d'un seul échantillon. A l'inverse, les valeurs obtenues pour la plage Napoléon montrent que l'ensemble des prélèvements sont caractérisés par un mode à 200 μ (Tabl. 3).

Tabl. 2 - SÉDIMENTOLOGIE DES SABLES DE HAUT DE DUNE

Prélèvement	Plage	Mode	Méd.	Tri	Sk
Station N° 1	Napoléon	0,200	0,226	0,28	0,02
Station N° 2	Napoléon	0,200	0,226	0,34	-0,03
Station N° 3	Piémanson	0,200	0,264	0,31	-0,10
Station N° 4	Piémanson	0,315	0,296	0,33	0,15

Tabl. 3 - SÉDIMENTOLOGIE DES SABLES DE BOURRELET DE PLAGE

Prélèvement	Plage	Mode	Méd.	Tri	Sk
Station N° 1	Napoléon	0,200	0,234	0,31	-0,14
Station N° 2	Napoléon	0,200	0,228	0,36	0,07
Station N° 3	Piémanson	0,315	0,297	0,34	0,18
Station N° 4	Piémanson	0,315	0,320	0,32	0,37

c - Les stratigraphies de l'arrière plage (carottes S2 et S4) confirment cette dichotomie. La construction de la dépression d'arrière plage de la plage Napoléon s'effectue à partir d'un matériel d'origine éolienne et dont le mode se situe à 200 μ , alors que pour la plage de Piémanson l'ensemble du matériel est caractérisé par un mode à 315 μ (Tabl. 4, Tabl. 5).

Tabl. 4 - SÉDIMENTOLOGIQUES DES LITS SABLEUX DE LA CAROTTE S2 (PLAGE NAPOLÉON).

Profondeur (cm)	Épaisseur (mm)	Mode	Méd.	Tri	Sk
-3	60	0,200	0,240	0,37	-0,13
-63	15	0,200	0,245	0,36	-0,12
-82	12	0,200	0,224	0,29	0,02
-97	5	0,200	0,231	0,38	-0,09
-116	80	0,200	0,228	0,36	-0,03
-199	50	0,315	0,271	0,41	0,05
-252	40	0,200	0,231	0,33	0,05
-299	4	0,200	0,217	0,43	0,07
-308	3	0,200	0,211	0,44	0,10
-318	75	0,200	0,220	0,38	0,12
-397	15	0,200	0,238	0,40	-0,09
-416	84	0,200	0,213	0,44	0,01

Tabl. 5 - SÉDIMENTOLOGIE DES LITS SABLEUX
DE LA CAROTTE S4 (PLAGE DE PIÉMANSON).

Profondeur (mm)	Epaisseur (mm)	Mode	Méd.	Tri	Sk
-2	15	0,315	0,289	0,32	0,07
-18	8	0,200	0,246	0,32	-0,13
-26	2	0,315	0,282	0,34	0,07
-28	24	0,315	0,289	0,34	0,12
-57	80	0,315	0,300	0,34	0,21
-139	48	0,315	0,277	0,35	0,04
-190	150	0,200	0,268	0,35	-0,05

4.2. Interprétation

L'ensemble des résultats sédimentologiques met en évidence la présence de deux stocks sédimentaires. On peut s'interroger sur l'origine de ces stocks. Le système plage - cordon dunaire répond à un fonctionnement complexe où interfèrent la dynamique marine et éolienne. L'alimentation de la plage est assurée par les courants de dérive littorale. En Camargue il existe un courant de dérive littorale orientée d'ouest en est correspondant au contre courant de la circulation générale orientée d'est en ouest (système Liguro-Provençal). L'action de la houle a pour effet de projeter ces sables sur le littoral. L'ensemble de ce matériel est ensuite repris par les vents de mer construisant le bourrelet de plage et venant engraisser le cordon dunaire et la dépression d'arrière plage.

Le matériel à 200 μ est fourni par les transports solides rhodanien actuels. Pour la plage Napoléon, ces sables fins (200 μ) rejetés par le Rhône (CORRE, 1988; CARRIO, 1988) sont repris par les courants de dérive littorale (les plus grossiers se situant à des profondeurs plus importantes, alimentent directement la construction du prodelta). Les indices d'asymétrie (*Skewness*) obtenus sur les sables de bourrelet de plages montrent que ce matériel subit un tri en se déplaçant vers l'est. Les particules les plus fines sont exportées sur des distances très importantes (parce que plus légères), tandis que la fraction grossière, de ce fait beaucoup mieux représentée (asymétrie négative) et très bien triée, vient engraisser le bourrelet de plage. Le matériel est donc très bien trié pour les fractions les plus grossières et caractérisé par un enrichissement en particules fines croissant d'ouest en est.

L'origine du matériel à 315 μ qui constitue la plage de Piémanson ne peut être la même. On fait l'hypothèse que ces sables proviennent de l'ancien promontoire du grau de Piémanson (si l'on considère que cette embouchure a pu fonctionner comme celle du Rhône actuel, les sables fins sont alors pratiquement absents). Comme le montre les indices d'asymétrie obtenus sur les sables de bourrelet de plage, durant son trajet vers l'est, ce matériel subit les mêmes phénomènes que ceux décrits précédemment. Les particules les plus fines sont exportées sur des distances très importantes, tandis que la fraction grossière beaucoup mieux représentée et très bien triée, vient engraisser le bourrelet de plage (Fig. 8).

5 - CONCLUSION

L'ensemble des données obtenues sur les six mois d'observation montre un bilan sédimentaire globalement positif. Il est caractérisé par l'engraissement du pied du cordon dunaire (20 cm en 6 mois, soit 10 cm/an) et l'accrétion verticale de l'arrière plage (3,3 cm en 6 mois). Cette sédimentation a essentiellement été réalisée par vent de mer (est et sud-est). A l'inverse, les parties sommitales des dunes non végétalisées ont pu enregistrer une ablation pouvant atteindre 50 cm en six mois. Le revers du cordon dunaire et la dépression vaseuse d'arrière dune n'enregistrent aucune modification. L'ensemble de ces processus morphosédimentaires permet de distinguer deux espaces évoluant de façon différente. Un premier système est composé de la plage et de la partie du cordon dunaire situé face à la mer, extrêmement sensible aux variations saisonnières. Un second ensemble est constitué par le revers du cordon dunaire et par la dépression vaseuse d'arrière dune qui évoluent plus lentement. Les taux d'accrétion proposés pour une période de 6 mois devront être nuancés dans une évolution pluriannuelle. Ce bilan sédimentaire est le fruit d'un système d'échange, apparemment en équilibre, entre la plage et le cordon dunaire.

L'alimentation en sables étant principalement réalisée à partir des prélèvements effectués par vent de SE sur le bourrelet de plage, l'accélération de la remontée du niveau marin suffirait à déstabiliser l'ensemble de ce système. La submersion répétée et beaucoup plus importante du bourrelet de plage empêcherait le prélèvement des sables par l'action éolienne. L'alimentation de la plage et du cordon dunaire par les vents de mer ne se ferait plus ou que très faiblement, entraînant un déficit du bilan sédimentaire.

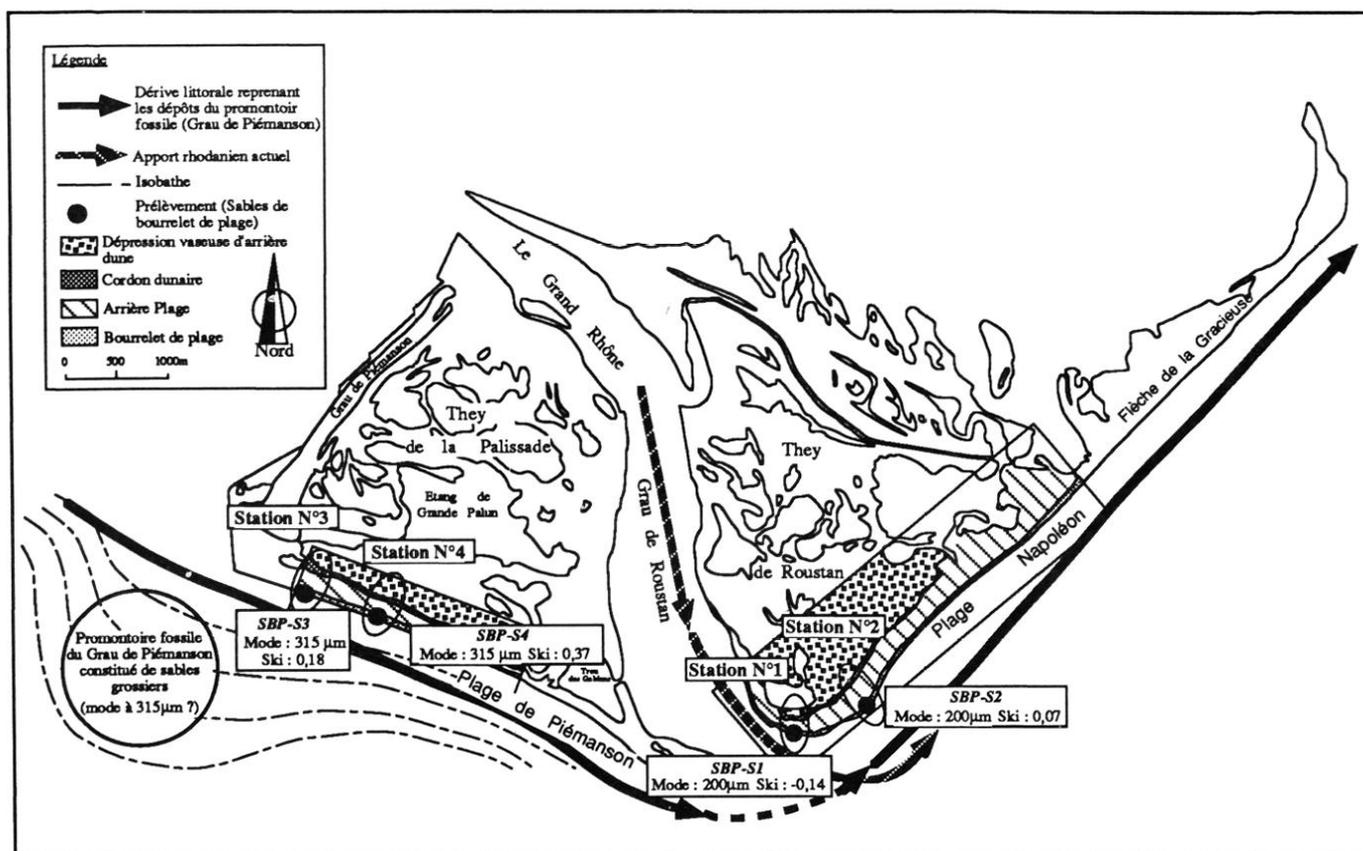


Fig. 8 - FONCTIONNEMENT ET ALIMENTATION DES PLAGES DE PIÉMANSON ET NAPOLÉON À PARTIR DE LA COURANTOLOGIE LOCALE

Le rôle de couche protectrice que jouent les lits argilo-limoneux montre que l'accrétion verticale pluriannuelle enregistrée par la dépression de l'arrière plage est liée aux apports du Rhône. Cet élément souligne l'importance du maintien du débit solide du Rhône et la nécessité d'entretenir le réseau hydrologique existant entre le système lagunaire d'arrière dune et la plage. P. HEURTEAUX (1989) a montré que la remontée du niveau marin entraverait les écoulements gravitaires des étangs d'arrière dune vers la mer. Ce phénomène affecterait le transit des eaux de crue du Rhône sur l'arrière plage, empêchant la sédimentation fluviale.

L'impact de la remontée du niveau marin ne peut être perçu comme la vision simpliste d'un littoral submergé par les eaux marines. Les effets secondaires qu'il suppose entraîneraient un ensemble de risques non négligeables.

L'existence de deux stocks sédimentaires à granulométrie différente pose la question d'une résistance différenciée de part et d'autre de l'embouchure du Rhône. Ce phénomène pourrait expliquer, en partie, la fragilisation de la flèche de la Gracieuse (plage de Napoléon). La plage de Piémanson alimentée par un stock fossile (théoriquement non renouvelable ?) représente un système menacé. Tout aménagement devra en tenir compte.

BIBLIOGRAPHIE

- ALOISI J.C., MILLOT C., MONACO A., PAUC H., (1979). - Dynamique des suspensions et mécanismes sédimentogénétiques sur le plateau continental du Golfe du Lion, *C. R. Acad. Sc. Paris*, Tome 289, Série D, N° 13, p.879-882.
- BLANC J.J., (1977). - *Recherches de sédimentologie appliquée au littoral du delta du Rhône, de Fos au Grau du Roi*, Contrat C.N.E.X.O. 75/1193, 69 p.
- BLANC J.J., (1982). - La dynamique littorale et ses applications sédimentologiques du grand Rhône à la presqu'île de Giens, *Méditerranée*, Tome 46, N° 3-4, p.25-33.
- CARRIO C., (1988). - *Contributions à l'étude dynamo-sédimentaire du delta rhodanien et du processus d'émergence de la plaine deltaïque associée. Exemple du domaine de la Palissade, Camargue, France*, Thèse de 3^e Cycle, Université de Provence, Aix, 359 p.

- CORRE J.J., (1988). - *Implication des changements climatiques. Etude de cas le golfe du Lion (France)*, Programme des Nations Unis pour l'Environnement, Plan d'action pour la Méditerranée, 87 p.
- CORRE J.J., (1992). - The coastline of the gulf of Lions: impact of a warming of the in the next few decades, in TOOLEY M.J., JELGERSMA S., (1992) - *Impacts of sea-level rise on european coastal lowlands*, Ed. Blackwell, UK, p. 153-169.
- DAY J., (1993). - *Short term sedimentation patterns in the Camargue*, Rapport dactylographié, 15 p.
- DEGIOVANNI C., (1972). - Essai d'interprétation hydrodynamique de la granulométrie des sableux, plage de Pramouquier, Var (France), in *The Mediterranean Sea, a natural sedimentation laboratory*, sous la direction de D.J. Stanley, p.305-320.
- GORNITZ V., LEBEDEFF S., (1987). - Global sea-level changes during the past century, *The Society of Economic Paleontologists-Mineralogists*, Special Publications 41, p. 3-16.
- GUILCHER A., (1954). - *Morphologie littorale et sous-marine*, PUF, Paris, 216 p.
- HEURTEAUX P., (1989). - *Conséquences prévisibles pour la Camargue d'une élévation du niveau marin de 0,20m à l'horizon 2025*, Note interne, 5 p.
- L'HOMER A., (1992). - Sea level changes and impacts on the Rhone delta coastal lowlands, in TOOLEY M.J., JELGERSMA S., (1992).- *Impacts of sea-level rise on european coastal lowlands*, Ed. Blackwell, UK, p.136-152.
- OERLEMANS J., (1989). - A projection of future sea level, *Climatic Change*, N° 15, p. 151-174.
- PASSEGA R., (1963). - Analyses granulométriques outil géologique pratique, *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, Nov. 1963, p.1489-1499.
- PAUC H., (1971). - Les courants de sortie des eaux du Rhône. Conséquences sédimentologiques, *Vie et Milieu*, Vol. XXII, Fasc. 2 (B), p.239-246.
- PETHICK J., (1984). - *An introduction to coastal geomorphology*, Edward Arnold, Great Brintain, 260 p.
- PRINS K.H., (1993). - *Material transport between the river Rhone and a wetland area in the Camargue*, Rapport dactylographié, p.16-45.
- RODITIS J.C., (1993). - *Caractérisation de la charge solide en suspension et alluvionnement du Rhône dans le secteur Beaucaire-Arles. Crues et transfert sédimentaire. Bilan actuel et évolution récente*, Mémoire de DEA, Institut de Géographie, Aix-en-Provence, 130 p.
- SUANEZ S., (1993). - *Etude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon*, Mémoire de DEA, Institut de Géographie, Aix-en-Provence, 128 p.
- TOOLEY M.J., JELGERSMA S., (1992). - *Impacts of sea-level rise on european coastal lowlands*, Ed. Blackwell, UK, 267 p.