

Quelques données nouvelles sur l'évolution mi-séculaire du littoral camarguais à l'embouchure du Rhône (France, Sud-Est) (New data about the half-secular evolution of the shore of Camargue, Rhone mouth, South-East France)

In: Bulletin de l'Association de géographes français, 72e année, 1995-5 (décembre). Les milieux littoraux. pp. 440-454.

Résumé

Résumé. - L'étude des modifications du littoral camarguais de part et d'autre de l'embouchure du Rhône est appréhendée par l'analyse diachronique d'images aériennes et satellitaires. L'évolution mi-séculaire du trait de côte montre un littoral globalement progradant. Certains secteurs évoluent très rapidement sous l'action d'événements épisodiques de forte amplitude (crues, tempêtes). L'ensemble du littoral se déplace vers l'est sous l'action des courants de dérive littorale orientés d'ouest en est.

Abstract

Abstract. - The study of the camarguese coastal changes in the mouth area is carried out using diachronic analysis of aerial and satellite imageries. The half- secular evolution of the shoreline shows a progradation of the littoral. Some areas change rapidly in relation to the importance of episodic events (floods, storms). The whole coast is moving to the east because of the drift current processes oriented from west to the east.

Citer ce document / Cite this document :

Suanez Serge. Quelques données nouvelles sur l'évolution mi-séculaire du littoral camarguais à l'embouchure du Rhône (France, Sud-Est) (New data about the half-secular evolution of the shore of Camargue, Rhone mouth, South-East France). In: Bulletin de l'Association de géographes français, 72e année, 1995-5 (décembre). Les milieux littoraux. pp. 440-454.

doi : 10.3406/bagf.1995.1859

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bagf_0004-5322_1995_num_72_5_1859

Serge SUANEZ*

**QUELQUES DONNÉES NOUVELLES SUR L'ÉVOLUTION MI-SÉCULAIRE
DU LITTORAL CAMARGUAIS À L'EMBOUCHURE DU RHÔNE
(FRANCE, SUD-EST)**

(NEW DATA ABOUT THE HALF-SECULAR EVOLUTION OF THE CAMARGUE
SHORE NEAR THE RHONE MOUTH, SOUTH-EASTERN FRANCE)

RÉSUMÉ. – *L'étude des modifications du littoral camarguais de part et d'autre de l'embouchure du Rhône est appréhendée par l'analyse diachronique d'images aériennes et satellitaires. L'évolution mi-séculaire du trait de côte montre un littoral globalement progradant. Certains secteurs évoluent très rapidement sous l'action d'événements épisodiques de forte amplitude (crues, tempêtes). L'ensemble du littoral se déplace vers l'est sous l'action des courants de dérive littorale orientés d'ouest en est.*

Mots-clés: littoral, analyse diachronique, progradant, événements épisodiques, courants de dérive littorale.

ABSTRACT. – *The study of the camarguese coastal changes in the mouth area is carried out using diachronic analysis of aerial and satellite imageries. The half-secular evolution of the shoreline shows a progradation of the littoral. Some areas change rapidly in relation to the importance of episodic events (floods, storms). The whole coast is moving to the east because of the drift current processes oriented from west to the east.*

Key words: littoral, diachronic analysis, progradation, episodic events, drift current.

Introduction

Les milieux côtiers deltaïques sont des espaces extrêmement changeants. L'étude et la compréhension de ces modifications sont un élément essentiel en matière d'aménagements littoraux. La photo-interprétation et le traitement d'imageries satellitaires permettent d'appréhender l'ensemble de ces modifications. Ces méthodes d'analyse ont été appliquées sur une partie du littoral camarguais située de part et d'autre de l'embouchure du Rhône.

* U.F.R. des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. Université de Provence (Aix-Marseille-1)
29, avenue Robert-Schuman, 13621 Aix-en-Provence Cedex 1.

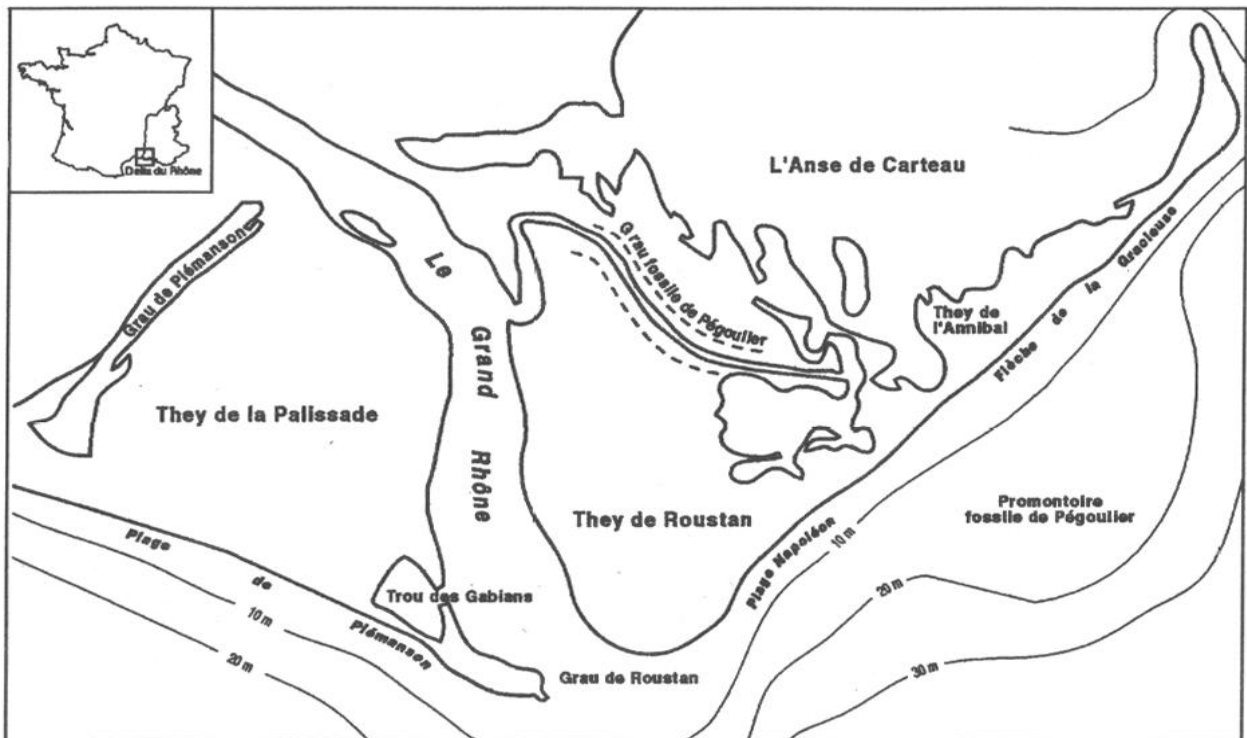


Fig. 1. Carte de localisation.
(Location map.)

Ces travaux se situent dans la continuité des recherches déjà réalisées sur l'évolution du littoral camarguais (Blanc, 1975, 1977, 1982, 1993; Vernier, 1976; L'Homer, 1992; Suanez *et al.*, 1993). Dans un premier temps, nous aborderons l'étude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'échelle mi-séculaire. L'évolution de ces modifications par secteur homogène fera l'objet d'une seconde partie. Enfin, l'analyse des formes d'érosion et d'accrétion permettra de donner quelques hypothèses sur l'impact des agents morphodynamiques dominants sur le littoral.

I. LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude s'étend de part et d'autre de l'embouchure du Rhône (fig. 1). Elle est formée à l'est par la flèche de la Gracieuse et la plage Napoléon et à l'ouest, par la plage de Piémanson. Les agents de la morphogenèse actuelle sont :

1 – La dynamique fluviale caractérisée par les apports sédimentaires du fleuve à la mer principalement lors des crues. La part de la charge de fond, essentiellement sableuse (Carrio C., 1988) joue un rôle prédominant dans l'alimentation des plages, elle est calculée à partir des données connues sur matériel en suspension (Roditis *et al.*, 1993; Pont, 1993). L'application des formules de Nakato, 1990 et van Rijn, 1984, permet d'estimer à 3 000 000 et 4 000 000 tonnes les apports annuels en matériel sableux.

2 – La dynamique marine représentée par la houle et les courants. On reconnaît trois directions prédominantes de houle: S.W. (30% du régime total), S.S.E. (16%), S.E. (11%). Les courants principaux sont (i) le courant Liguro-Provençal orienté d'est en ouest. Il influence très peu la morphogénèse du littoral car il se situe au large (Duboul-Razavet C., 1956), (ii) les courants de dérive littorale orientée d'ouest en est.

3 – La dynamique éolienne représentée par les vents de terre (le Mistral et Tramontane orientés N.-N.W., 31% du régime total) et les vents de mer orientés essentiellement E. à S.E. (27% du régime total). Ces derniers sont principalement liés aux épisodes de tempête.

II. ÉVOLUTION DU LITTORAL À L'ÉCHELLE MI-SÉCULAIRE

L'analyse diachronique basée sur l'étude des photographies aériennes et des images satellitaires met en évidence la variation du trait de côte depuis 50 ans. La méthode consiste à superposer les couches d'information date par date (fig. 2).

1) Méthodologie

L'acquisition et le traitement des données-images ont été réalisés au Centre de Calcul de Saint-Jérôme (Marseille), sous *station Pericolor* et *système I.B.M. 3090* par utilisation du *progiciel I.A.X.* La démarche s'appuie sur la méthodologie des travaux antérieurs sur l'étude des modifications des littoraux par utilisation du traitement d'image (Guillemot *et al.*, 1985; Wang *et al.*, 1985; Verger *et al.*, 1987; Grenier *et al.*, 1990; Shoshany *et al.*, 1992).

1-1. Acquisition des données

Les photographies aériennes de 1944 ont été prises durant la dernière guerre mondiale par les forces alliées. Elles constituent la donnée initiale. Puis, quatre missions réalisées par l'I.G.N. (1955-1960-1971-1979) ont été comparées. Les périodes les plus récentes sont constituées de deux images satellitaires Landsat T.M. (1984 et 1993) ainsi qu'une mission aérienne acquise en 1989 par Aerial (Les Milles).

L'ensemble de ces données-images constitue un échantillonnage à l'échelle de la décennie et permet de couvrir les 50 dernières années (tabl. 1).

1-2. Saisie des données et correction géométrique

Chacune des dates constituées d'un fond photographique a fait l'objet d'un zonage photo-interprétatif après assemblage et constitution d'une mosaïque couvrant l'ensemble du secteur étudié. L'information obtenue a

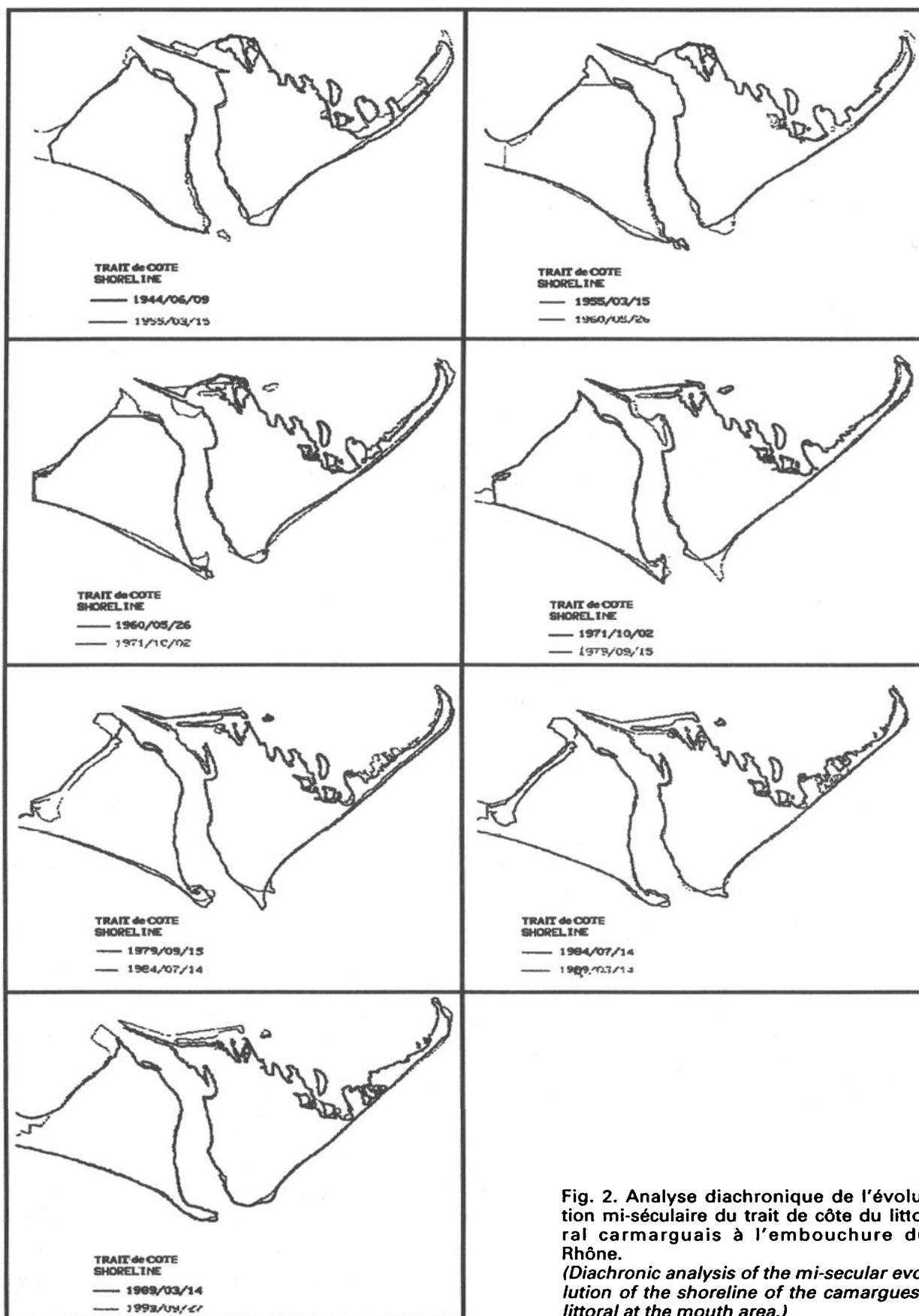


Fig. 2. Analyse diachronique de l'évolution mi-séculaire du trait de côte du littoral camarguais à l'embouchure du Rhône.

(Diachronic analysis of the mi-secular evolution of the shoreline of the camarguese littoral at the mouth area.)

Tableau 1. – Inventaire des données-images utilisées pour l'analyse diachronique.

09/06/1944	Photographies aériennes (Centre Camille Jullian – Aix-en-Provence)	Echelle: 1/50 000
15/03/1955	Photographies aériennes (I.G.N)	Echelle: 1/25 000
26/05/1960	Photographies aériennes (I.G.N)	Echelle: 1/25 000
02/10/1971	Photographies aériennes (I.G.N)	Echelle: 1/30 000
15/09/1979	Photographies aériennes (I.G.N)	Echelle: 1/25 000
14/07/1984	Image satellitaire Landsat T.M.	30 m de résolution
14/03/1989	Photographies aériennes (Aerial – Aix-en-Provence)	Echelle: 1/20 000
27/09/1993	Image satellitaire Landsat T.M.	30 m de résolution

été saisie par caméra vidéo avec une résolution d'environ 3 m au sol. La numérisation a été réalisée à l'écran.

L'ensemble des corrections géométriques a été réalisé par système d'amers. Pour chacune des dates, plusieurs invariables ont été pointés et utilisés comme amers (ruines, bâtiments, croisement de route, etc.). L'ensemble de ces invariables ont été soigneusement repérés sur une carte topographique I.G.N. au 1/25000. Ce maillage de point a été numérisé au même titre que les données obtenues par photo-interprétation et utilisé comme document de référence.

Le traitement des données satellitaires utilise les méthodes classiques de classification. La discrimination de la partie émergée du littoral a été réalisée par classification des zones humides à partir du canal infrarouge T.M.5. La squelettisation du trait de côte a été obtenue par contourage.

1-3. Analyse diachronique

Le secteur d'échantillonnage s'étend d'ouest en est, de la plage de Piémanson à la flèche de la Gracieuse, du nord au sud, les modifications enregistrées dans l'anse de Carteau sont également prises en compte. La superposition des données obtenues a permis de mettre en évidence les variations du trait de côte depuis 50 ans. La quantification des secteurs en accrétion et en érosion a été réalisée à partir d'un module morphométrique installé sous système *Pericolor*. Ce progiciel permet de calculer les surface encodées et de mesurer différents paramètres correspondant à ces surfaces (grand et petit diamètre, coefficient d'élongation et d'enroulement, périmètre, barycentre, etc.).

2) Résultats

L'évolution morphologique du littoral est exprimée en m² (fig. 3). La somme des surfaces en érosion et en accrétion est calculée pour chaque période. Quatre tendances s'expriment.

1 – Pendant les décennies 1940 et 1950, l'évolution morphologique est très lente traduisant une relative stabilité du système.

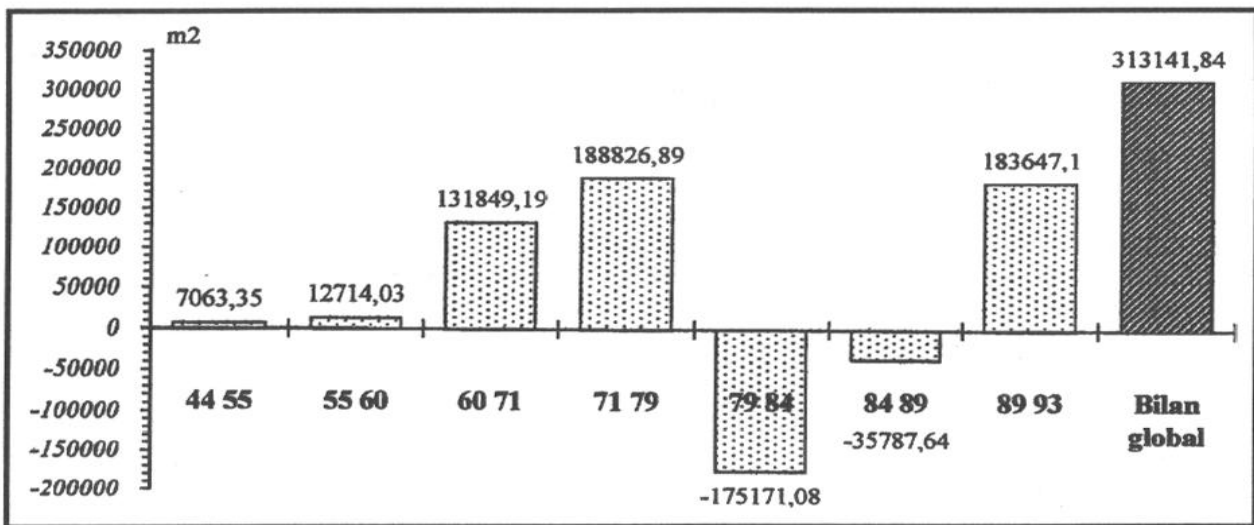


Fig. 3. Evolution morphologique du littoral à l'échelle mi-séculaire exprimée en surface.
(Morphological evolution of the littoral at the mi-secular time scale observation given in square meter unit.)

2 – A partir des années 1960 et jusqu'à la fin de la décennie 1970, une progradation du système littoral est observée.

3 – La décennie 1980 est caractérisée par une phase d'érosion.

4 – Le début des années 1990 montre à nouveau un système progradant.

Le bilan global à l'échelle mi-séculaire est positif: + 313 141,84 m². Un coefficient de variation du littoral a été calculé pour chaque période prenant en compte l'ensemble des valeurs centrales (tabl. 2):

$$\text{Coefficient de variation: } \kappa_{Xl} = [(\sigma_{Sxi} / \sigma_S) * 100] / \delta_t$$

σ_{Sxi} : bilan de la période considérée; σ_S : bilan global; δ_t : nb d'années.

Tableau 2. Evolution du coefficient de variation du littoral depuis 50 ans.

1944-1955	1955-1960	1960-1971	1971-1979	1979-1984	1984-1989	1989-1993
0,2	0,8	3,8	7,5	- 11,2	- 2,3	14,7

3) Conclusion

Ce premier élément d'analyse insiste sur deux points:

1 – le littoral dans ce secteur est globalement progradant. Cette évolution montre l'importance des apports du Rhône dans l'alimentation des plages. Toutefois, quelques réserves peuvent être émises si l'on considère que cette zone se situe proche de l'embouchure et reste donc directement influencée par les apports rhodaniens. La comparaison avec d'autres secteurs de Camargue s'impose;

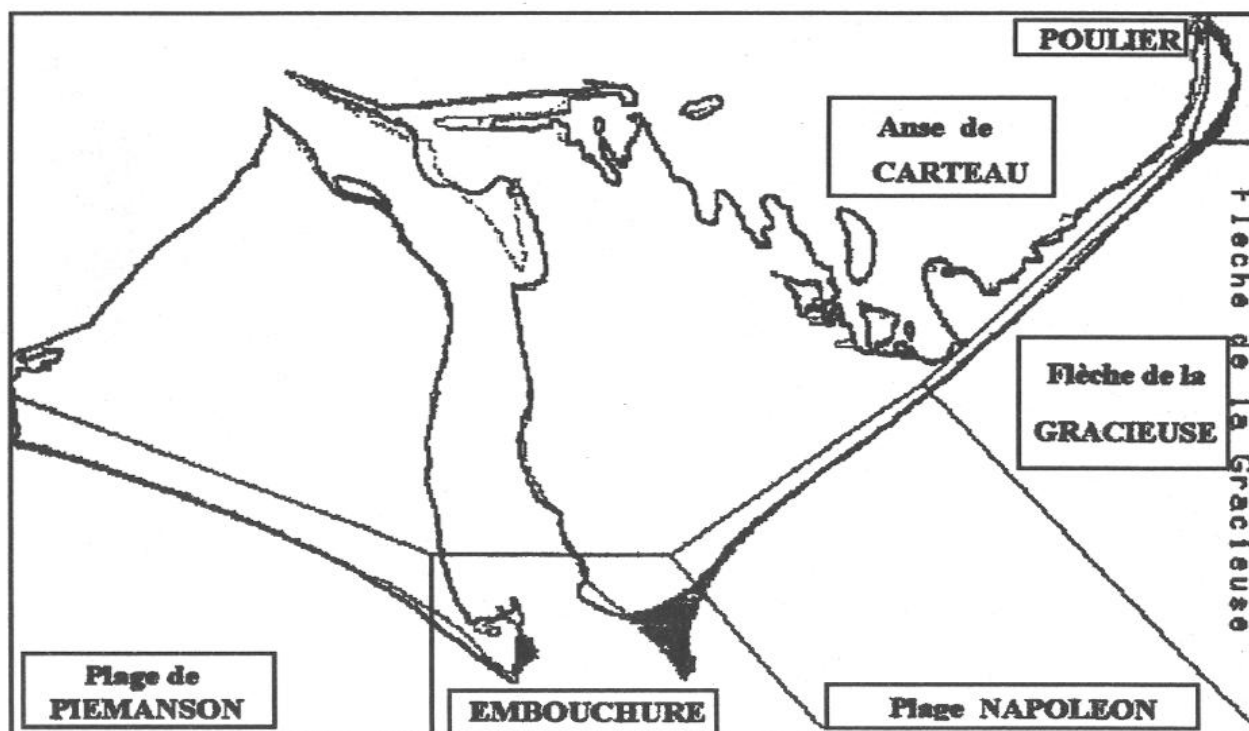


Fig. 4. Découpage du littoral en cinq secteurs homogènes en fonction des agents morphodynamiques dominants.
(Division of the littoral into five homogeneous sectors according to the dominant driving agents.)

2 – la modification du trait de côte depuis 50 ans ne s'est pas faite de façon uniforme dans le temps. La dispersion obtenue par le coefficient de variation témoigne d'une évolution en « dent de scie ». Il est probable que la distribution fréquentielle et l'intensité des principaux agents morphogéniques que sont les crues et les tempêtes, jouent un rôle important dans cette évolution.

III. ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE PAR SECTEUR

1. Méthodologie

L'étude porte sur le linéaire d'édifice en tant que façade littorale, le secteur situé à l'arrière de la flèche de la Gracieuse (anse de Carteau) n'étant pas considéré comme trait de côte est éliminé de l'analyse. Cinq secteurs homogènes ont été définis en fonction des agents morphodynamiques dominants (fig. 4), on distingue :

1 – la plage de Piémanson, orientée N.W.-S.E., est un secteur très sensible aux houles de S.W. qui sont les plus fréquentes durant l'année ;

2 – la zone située à l'embouchure du Rhône est directement liée aux apports du Rhône ;

3 – la plage Napoléon sensible aux houles de S.E. est également alimentée par les apports sédimentaires du Rhône transportés par les courants de dérive littorale orientés d'ouest en est ;

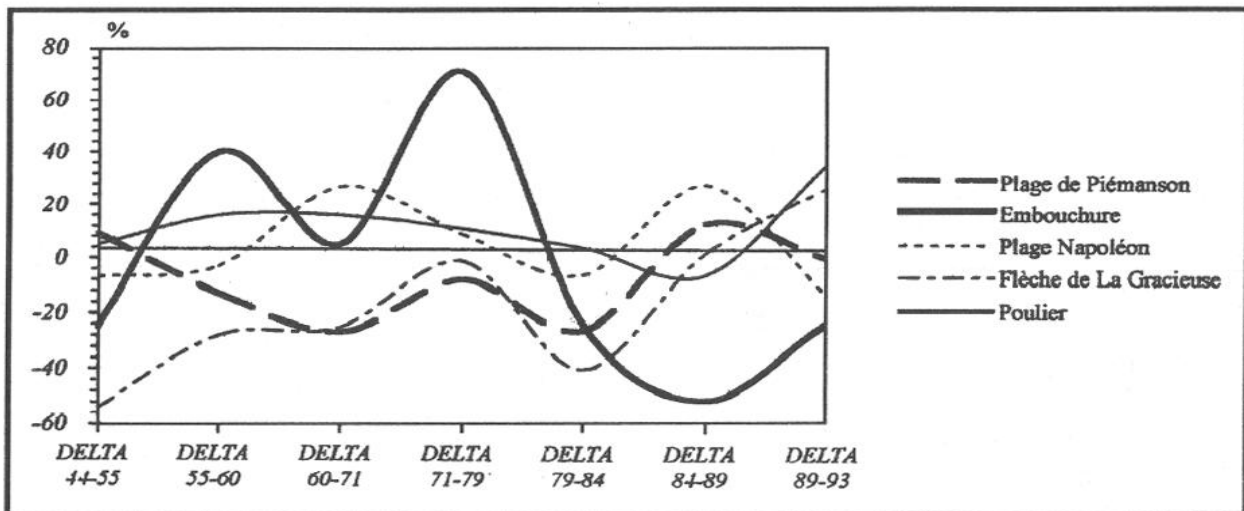


Fig. 5. Evolution morphologique du littoral par secteurs et par périodes exprimée en pourcentage par rapport à l'évolution globale.
(Morphological evolution of the littoral by sectors and periods given in percentage in regard to the global evolution.)

4 – la flèche de la Gracieuse est caractérisée par une double évolution. Depuis la fin du dix-neuvième siècle elle connaissait une évolution naturelle. Avec le programme de réhabilitation de la flèche de la Gracieuse lancé par le port autonome de Marseille en 1988, l'ensemble des processus morphosédimentaires ont été complètement « artificialisés »;

5 – l'évolution de la partie extrême de la flèche de la Gracieuse (poulrier), est également totalement contrôlée par les interventions humaines depuis les années 1970. L'échouage de barges en bout de flèche a totalement influencé l'évolution du littoral dans ce secteur.

Le but est d'évaluer la part de chaque secteur dans l'évolution générale pour chacune des périodes considérées: (i) la surface d'évolution est calculée pour chaque secteur, (ii) elle est ramenée en pourcentage d'accrétion (+) ou d'érosion (-) par rapport à la surface totale obtenue pour chaque période, (iii) la part des changements du trait de côte par secteur est croisée à la donnée temporelle, elle permet d'apprécier la tendance évolutive générale pour chacune des zones étudiées (fig. 5).

2. Observations

Les évolutions les plus importantes concernent les secteurs de la flèche de la Gracieuse, l'embouchure et le poulrier:

1 – recul du trait de côte au niveau de l'embouchure entre 1944 et 1955. A partir des années 1960 et jusqu'à la fin des années 1970, ce secteur est progradant. Les décennies 80 et 90 montrent qu'il est à nouveau érodé. La variation du trait de côte est très importante dans ce secteur (jusqu'à 70% de l'évolution globale entre 1971 et 1979);

2 – recul du trait de côte au niveau de la flèche de la Gracieuse jusqu'au milieu des années 1980 malgré une période de stabilité durant la décennie 70, puis progradation à partir des années 1990. La variation du trait de côte est très importante dans ce secteur (entre 30% et 50% de l'évolution globale suivant les périodes);

3 – le poulier est caractérisé par une progradation constante du littoral, excepté pour la période 1984-1989. Cette évolution représente selon les dates entre 4% et 40% des changements enregistrés par l'ensemble du littoral. Une accélération est notée pour la période 1989-1993;

4 – deux secteurs sont caractérisés par des évolutions moins importantes. Ils contribuent à moins de 30% de l'évolution globale:

- la plage de Piémanson située à l'ouest de l'embouchure du Rhône,
- la plage Napoléon située à l'est de l'embouchure du Rhône.

3. Commentaire

1 – L'évolution de l'embouchure est complexe. Elle est marquée par l'alternance de périodes d'accrétion et d'érosion pouvant correspondre des périodes de crue du Rhône. On observe un déplacement continu de l'embouchure vers l'est qui se traduit par l'accumulation de sédiments liée à la dérive littorale. Deux constats peuvent être faits: (i) la question de l'origine de ce matériel est posée, (ii) il semblerait que le flux hydrique est globalement insuffisant pour permettre la progradation du littoral perpendiculaire au trait de côte.

2 – La plage de Piémanson est caractérisée par une évolution lente mais continue dans le temps. A partir des années 50, son profil tend à se régulariser suivant une direction E.S.E. Le recul du littoral est particulièrement important au niveau du trou des Gabians. Il semble que le matériel sédimentaire perdu par la plage de Piémanson à cet endroit, vienne construire l'appendice qui ferme partiellement l'exutoire du Rhône. Ce transfert de sédiments serait facilité par les courants de dérive littorale orientés d'ouest en est.

3 – Les changements enregistrés par la plage Napoléon sont très faibles, le trait de côte évolue très peu dans ce secteur et les périodes de progradation coïncident avec celles où l'embouchure enregistre une perte en matériel. Ce processus est bien observé entre 1960 et 1971, il traduit les effets d'un remaniement des apports rhodaniens décalés dans le temps. La plage Napoléon est considérée comme une zone de transit où les transferts sédimentaires posent la question du temps de réponse entre les apports de crue du Rhône et leur redistribution au niveau du littoral situé à l'est de l'embouchure.

4 – L'évolution de la flèche de la Gracieuse entre 1944 et 1984 se situe dans le prolongement de l'histoire morphologique et sédimentaire de ce secteur depuis la fin du dix-neuvième siècle. La fermeture du Grau de Pégoulie et l'ouverture artificielle du Grau de Roustan en 1896 ont entraîné la construction progressive de la flèche sous l'effet d'une dérive

dominante de S.W. qui rattache les îlots (ou theys) du pro-delta de Pégoulier. En 1944, le they de l'Annibal est encore déconnecté de la partie sableuse émergée, en 1955 son rattachement à l'édifice est achevé. De 1944 à 1984 le recul du trait de côte sur la flèche de la Gracieuse n'entraîne pas la rupture ou la disparition partielle de cet édifice. On assiste à un déplacement vers le N.W. de la partie centrale du corps sableux. Le profil d'équilibre qu'on lui connaît est acquis au milieu des années 80. Depuis cette période, l'ensemble de l'édifice semble s'être stabilisé, on assiste même depuis le début des années 90 à engraissement de sa partie terminale, certainement lié aux aménagements entrepris par le Port Autonome de Marseille depuis 1988. La réhabilitation du cordon dunaire et l'immersion des barges a eu pour effet de stopper le déplacement sédimentaire vers le N.W. et d'entraîner l'engraissement de la plage à partir des dunes reconstituées et de la dérive littorale.

5 – L'évolution de la pointe de la flèche de la Gracieuse est marquée par deux étapes. Jusqu'au milieu des années 60, elle est caractérisée par un allongement de sa partie extrême. Cette progradation est orientée vers le N.E. A partir des années 70, les aménagements du port autonome de Marseille modifient l'ensemble de ces variations. L'échouage répété de barges perpendiculairement au littoral entraîne une perturbation du train des houles de S.W. Les phénomènes de réfraction qui s'en suivent modifient la sédimentation de ce secteur facilitant l'engraissement en direction du N.N.W.

IV. CONCLUSION

Les variations du trait de côte insistent sur trois points :

1 – L'évolution mi-séculaire du littoral est caractérisée par un déplacement généralisé de l'ensemble du système vers l'est. Ces modifications sont particulièrement visibles au niveau du secteur de l'embouchure. Elles sont le résultat de l'action de deux agents morphodynamiques : les houles dominantes de S.W. et les courants de dérive littorale orientée d'est en ouest. Cette observation tend à minimiser l'impact que peuvent avoir les houles de S.E. particulièrement efficaces lors des tempêtes automnales.

2 – Le déplacement progressif des masses sédimentaires d'un secteur à un autre est décalé dans le temps. Cette évolution non synchrone du littoral montre que le transfert sédimentaire à partir de l'embouchure est caractérisé par des temps de réponse plus ou moins rapides suivant les secteurs. Ce processus s'explique par les phénomènes de blocage rencontrés par les flux dominants orientés d'est en ouest : (i) le premier s'explique par l'arrivée des courants fluviaux en mer, il favorise l'accumulation de la charge solide au niveau de l'embouchure, (ii) le second est formé par la topographie sous-marine du promontoire fossile de Pégoulier facilitant l'accumulation des sédiments sur la plage Napoléon, (iii) le dernier est constitué par l'échouage des barges en bout de flèche ; ces épis bloquent une partie du transit sédimentaire.

3 – La progradation intermittente de l'embouchure suivant une direction

S.S.E. à S.E.: la construction temporaire de lobes sableux pourrait correspondre à des périodes de forte activité du Rhône et pose la question du rôle des crues en terme de fréquence, d'intensité et de la nature des apports solides.

4. Processus morphodynamiques et transports sédimentaires

1. Méthodologie

Des paramètres morphométriques (coefficient d'élongation (e) et la longueur du petit diamètre (d)) ont été calculés à partir du traitement d'image. Ils permettent de caractériser les formes d'érosion et d'accrétion (fig. 6).

– La longueur du petit diamètre correspond à la distance (d) généralement perpendiculaire à la côte. Il permet de quantifier les variations du trait de côte en terme de recul ou de progradation. Une valeur élevée de (d) traduit l'intervention des processus morphodynamiques rapides où les phénomènes de forçage (crues, tempêtes) ont pu jouer un rôle important;

– le coefficient d'élongation ($e = D/d$) permet d'évaluer les variations du littoral parallèlement au trait de côte. Une valeur élevée de (e) peut s'expliquer par la domination des courants de dérive littorale facilitant la redistribution ou le transfert latéral.

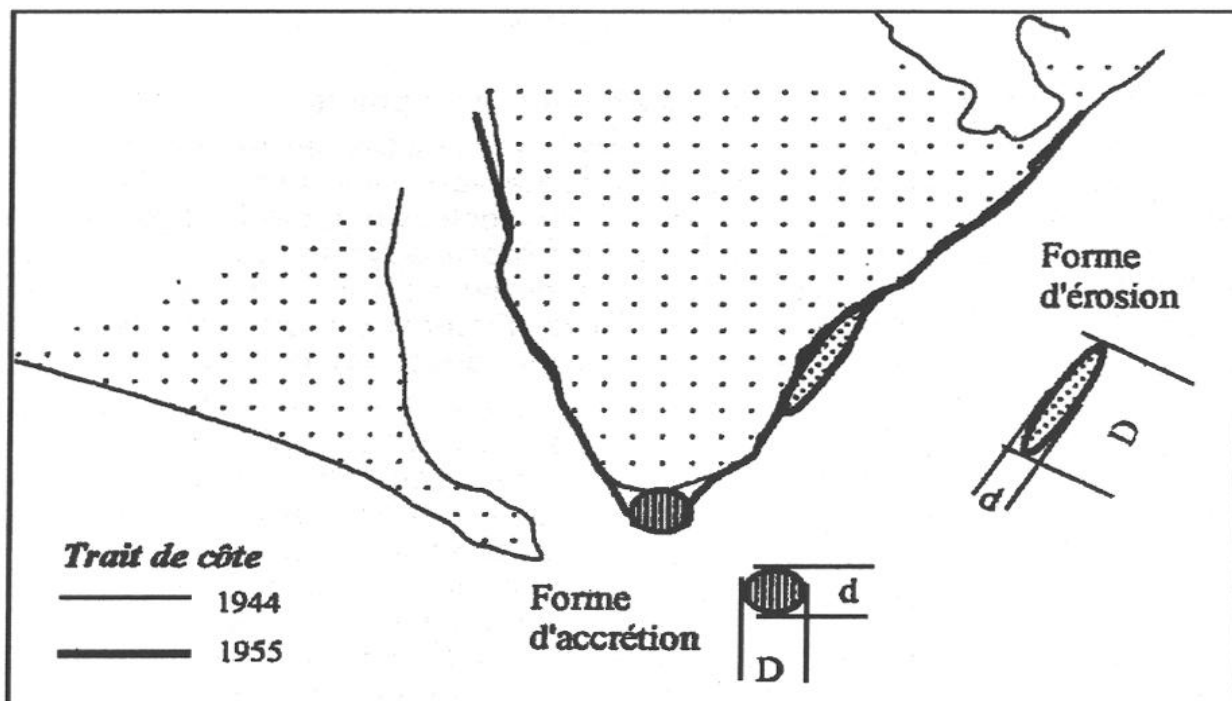


Fig. 6. Caractérisation des formes d'érosion et d'accrétion par le calcul des paramètres morphométriques (d) et ($e = D/d$).
(Characterisation of the accretional and erosional forms using the calculation of morphometric parameters (d) and ($e = D/d$)).

2. Observations

La figure 7 montre la répartition spatio-temporelle du croisement des paramètres étudiés (e) et (d). Elle permet d'avancer les observations suivantes:

1 – un premier ensemble (A) se subdivise en deux groupes (A1) et (A2). Le sous-ensemble (A1) est caractérisé par des valeurs élevées de (d), compris entre 150 m et 200 m, et un coefficient d'élongation très bas (< à 5). Il regroupe essentiellement les données correspondant au secteur de l'embouchure. Le sous-ensemble (A2) est également caractérisé par un coefficient d'élongation très bas (< à 5) tandis que les valeurs de (d) sont comprises entre 70 m et 120 m. Il regroupe pour la plupart des individus, la partie extrême de la flèche de la Gracieuse (poulier) et quelques données correspondant à la plage Napoléon (1960-1971 et 1989-1993);

2 – le deuxième ensemble (B) se définit par un coefficient d'élongation très important (entre 15 et 45) tandis que la valeur de (d) reste faible (< à 60 m). Il regroupe des secteurs du littoral situé à l'est de l'embouchure du Rhône: la plage Napoléon et la flèche de la Gracieuse;

3 – le dernier ensemble (C) se subdivise en deux sous-ensembles (C1) et (C2). Son homogénéité tient aux valeurs exprimées par le coefficient d'élongation comprises entre 5 et 10. A l'inverse, une distinction peut être faite d'après le paramètre (d). Le sous-ensemble (C1) regroupe les secteurs situés à l'est de l'embouchure du Rhône: la plage Napoléon et la flèche de la Gracieuse. Il est caractérisé par des valeurs de (d) inférieures à 30 m. Le

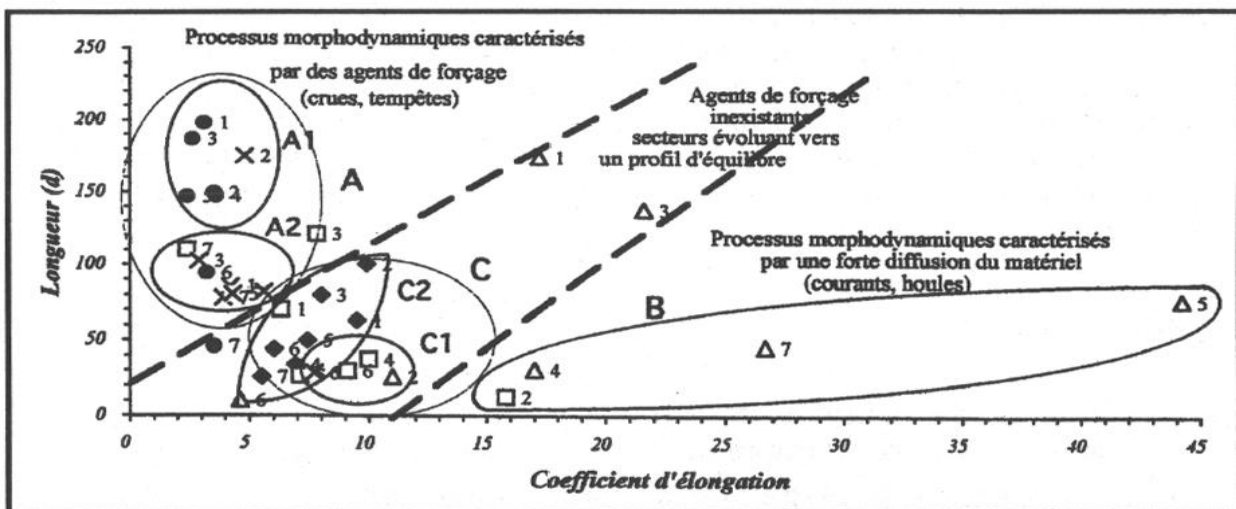


Fig. 7. Croisement des paramètres morphométriques (d) et (e) par secteurs et par périodes.
(Crossing of morphometric parameters (d) and (e) by sectors and periods.)

● Embouchure	1 – 1944-1955	6 – 1984-1989
□ Plage Napoléon	2 – 1955-1960	7 – 1989-1993
◆ Plage de Piémanson	3 – 1960-1971	
× Poulier	4 – 1971-1979	
△ Flèche de la Gracieuse	5 – 1979-1984	

sous-ensemble (C2) s'explique par des valeurs de (d) comprises entre 30 m et 70 m. Il est essentiellement représenté par la plage de Piémanson.

3. Commentaire

Le premier ensemble (A) montre que les processus morphosédimentaires répondent à des dynamiques rapides d'accrétion ou d'érosion où le forçage reste l'élément déterminant. Les périodes de très forte prograda-tion pourraient correspondre à des épisodes «répétés» de crue, celles d'érosion résulteraient d'une augmentation de la fréquence des tempêtes. Ces dynamiques influencent essentiellement le secteur de l'embouchure et suivant les périodes, la plage Napoléon. Le fonctionnement modal de la plage Napoléon est comparable au secteur de la flèche de la Gracieuse; toutefois, en période de crue, elle enregistre une partie des apports sédi-mentaires au même titre que le secteur de l'embouchure. Ce dysfonction-nement explique les fortes valeurs de (d) rencontrées pour les périodes 1960-1971, 1989-1993. La présence du secteur du poulter montre que les «forçages anthropiques», échouage des barges à l'extrémité de la flèche de la Gracieuse, jouent un rôle important dans l'évolution morphosédi-mentaire de ce secteur.

Le deuxième ensemble (B) correspond à des secteurs où les transports sédimentaires liés à la houle et aux courants de dérive littorale sont domi-nants. Il s'agit essentiellement des secteurs situés à l'est de l'embouchure du Rhône (flèche de la Gracieuse).

Le dernier ensemble (C) principalement constitué par les plages de Pié-manson et Napoléon est caractérisé par des processus morphosédimen-taires lents et peu importants, traduisant une situation de stabilité relative. Ces deux secteurs évoluent vers un profil d'équilibre, l'exemple le plus représentatif concerne la plage de Piémanson: la distribution spatiale des paramètres (d) et (e) tend vers zéro des périodes les plus vieilles aux plus jeunes. Aujourd'hui ce secteur n'enregistre pratiquement plus aucune modification.

4. Conclusion

Ces résultats montrent que le littoral carmarguais s'individualise en trois espaces, dont les modalités d'évolution varient dans le temps:

1 – l'embouchure, la plage Napoléon de façon épisodique, ainsi que le secteur du poulter sont caractérisés par des processus morphodynami-ques exceptionnels où les forçages (naturels ou artificiels), jouent un rôle essentiel ;

2 – les plages de Piémanson et Napoléon évoluent de façon plus régulière sous les effets de la houle et des courants de dérive. La varia-tion du trait de côte est continue et tend vers une situation de profil d'équilibre ;

3 – sur la flèche de la Gracieuse les processus morphosédimentaires sont caractérisés par un déplacement lent et sur une large bande médio et infralittorale du matériel sableux. La houle de S.W. et les courants de dérive littorale influencent l'évolution du littoral dans ce secteur.

V. DISCUSSION

L'utilisation des photographies aériennes et des images satellitaires offre de grandes facilités pour le suivi des déplacements du trait de côte. Le niveau de précision atteint par la photo-interprétation est beaucoup plus significatif des variations observées, que celui que peuvent offrir les images satellitaires. Plusieurs résultats sont apparus.

L'évolution du littoral pour l'ensemble du secteur étudié est caractérisée par une progradation, donc vraisemblablement par un bilan sédimentaire positif, à l'échelle mi-séculaire. Ce résultat confirme l'importance des apports rhodaniens et pose la question des impacts réels des aménagements récents du cours du Rhône sur le transit de la charge solide. Les apports en matériel sableux (charge de fond) semblent suffisants pour alimenter cette partie du littoral camarguais. Ceci étant, la comparaison de ces résultats avec les données obtenues sur le secteur de la Petite Camargue (Blanc J.J., 1975, 1977, 1982, 1993), nous oblige à rester prudent. L'auteur montre que la partie occidentale de la Camargue (Faraman, Beauduc et Saintes-Maries de la Mer) est caractérisée par un recul du littoral depuis plusieurs décennies. La progradation du littoral dans le secteur oriental (Piémanson, Napoléon et flèche de la Gracieuse) s'expliquerait alors par la proximité de l'embouchure du Rhône.

L'évolution mi-séculaire du trait de côte montre que l'ensemble de ce secteur se déplace vers l'est suivant l'orientation des courants de dérive littorale. Les courants fluviaux orientés vers le sud ne jouent plus qu'un rôle très secondaire. Les aménagements du Rhône tout au long de son cours ont très certainement réduit l'hydraulicité du fleuve, rendant impossible les effets de chasse au niveau de l'exutoire. On assiste aujourd'hui à une fermeture partielle de l'embouchure qui s'oriente vers l'est. Le scénario d'un colmatage définitif de l'actuel exutoire du grau de Roustan au profit d'un nouveau débouché empruntant la lagune du trou des Gabians, n'est pas à exclure.

Les observations faites sur les processus morphodynamiques dominants pour chaque secteur du delta, montrent l'importance vraisemblable des crues et des tempêtes dans l'évolution du littoral. L'analyse de ces données passe par la réalisation d'un modèle de fonctionnement des crues du Rhône et de ses affluents, et la recherche d'une corrélation entre le débit liquide et le débit solide (Pont, 1993). Des recherches sont actuellement en cours sur la corrélation entre les dépôts liquide et solide du Rhône et l'évolution mi-séculaire du bilan sédimentaire. Toutefois, des observations similaires peuvent être faites pour les tempêtes. L'analyse comparée de quelques tempêtes et des réponses morphosédimentaires du littoral

(Bruzzi, 1995) a montré la complexité de ces processus dont les effets doivent être pris en compte pour l'étude des modifications du littoral.

Remerciements

Je tiens à remercier M. Bernard Simon, responsable du laboratoire de traitement d'images au Centre de Calcul de Saint-Jérôme (Marseille), pour son aide et la mise à disposition du matériel informatique indispensables à cette étude. Je remercie également M^{me} Mireille Provansal pour ses conseils avisés et l'attention portée au cours de ce travail.

RÉFÉRENCES

- BLANC J.J., 1975 (1976). – Evolution du profil des plages et phénomènes d'érosion littorale, *Tethys*, 7 (2-3), pp. 299-306.
- 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., JEUDY DE GRISSAC, A. (1982). – Dangers d'érosion littorale en Petite Camargue (aire occidentale du delta du Rhône, France), *Tethys*, 10 (4), pp. 349-354.
- BLANC, J.J., POYDENOT, F. (1993). – Le rivage de Faraman en Camargue (S.E. France): un géosystème côtier en déséquilibre, méthodes d'étude – conséquences pratiques, *Géologie Méditerranéenne*, tome XX, n° 2, pp. 75-87.
- BRUZZI C. (1995). – Impacts morphosédimentaires des tempêtes sur quelques plages de Provence, Mémoire de D.E.A., Aix-en-Provence, 150 p.
- CARRIO C., (1988). – Contributions à l'étude dynamo-sédimentaire du delta rhodanien et du processus d'émersion de la plaine deltaïque associée. Exemple du domaine de la Palissade, Camargue, France, Thèse de 3^e cycle soutenue le 1^{er} juillet 1988, Université de Provence Aix-Marseille I.
- DUBOUL-RAZAVET C. (1956). – Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône, Mém. Soc. Géol. de France, n° 76, 234 p.
- GRENIER A., BUBOIS J.J.M. (1990). – Evolution littorale récente par télédétection: synthèse méthodologique. *Photo Interprétation*, n° 90-6, pp. 3-7.
- GUILLEMOT E., THOMAS Y.F. (1985). – Evolution de la flèche sableuse de Los Turunos (Espagne). *Photo Interprétation*, n° 85-4, pp. 11-15.
- L'HOMER A. (1992). – Sea level changes and impacts on the Rhone delta coastal lowlands, in TOOLEY M.J., JELGERSMA, S. (1992) – *Impact of sea-level rise on european coastal lowlands*, Edit. Blackwell, U.K., pp. 136-152.
- NAKATO T. (1990). – Tests of selected sediment-transport formulas, *Journal of Hydraulic Engineering*, 116, 3, pp. 362-379.
- PONT D. (1993). – Vers une meilleure connaissance des apports du Rhône à la Méditerranée, 4^{es} Rencontres de l'Agence Régionale Pour l'Environnement, PACA, pp. 16-24.
- RIJN L.C., VAN. (1984a). – Sediment transport, part I: Bed load transport, *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 10, pp. 1431-1456.
- RIJN L.C., VAN. (1984b). – Sediment transport, part II: Suspended load transport, *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 10, pp. 1613-1641.
- RODITIS J.-C., PONT D. (1993). – Dynamiques fluviales et milieux de sédimentation du Rhône à l'amont immédiat de son delta, *Méditerranée*, n° 3-4, pp. 5-18.
- SHOSHANY M., DEGANI A. (1992). – Shoreline detection by digital image processing of aerial photography. *Journal of Coastal Research*, Vol. 8, n° 1, pp. 29-34.
- SUANEZ S., PROVANSAL M. (1993). – Etude des modifications morphosédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône: plages de Piémanson et Napoléon, *Méditerranée*, nos 3-4, pp. 43-56.
- VERGER F., WANG F., CUQ H.E., H.C. (1987). – Données multitemporelles Spot 1 pour l'étude du régime des côtes sableuses. La pointe d'Arçay (Vendée, France). *Photo Interprétation*, n° 87-2, pp. 29-37.
- VERNIER E. (1976). – Edification et évolution de la flèche de la Gracieuse, Ouest du golfe de Fos, *Bull. B.R.G.M.* (2^e Série), Section IV, n° 2, pp. 103-115.
- WANG L., VERGER F. (1985). – Classification des paysages et cinématique de la pointe d'Arçay par traitement automatique d'images aériennes et spatiales. *Photo Interprétation*, n° 85-4, pp. 1-9.