

Premières données sur la contribution des apports sableux du Petit Rhône aux plages du golfe de Beauduc (delta du Rhône)

François SABATIER*
Gilles ARNAUD-FASSETTA**

Résumé - Cet article propose d'évaluer la part des apports sableux du Petit Rhône dans le bilan sédimentaire des plages du golfe de Beauduc au cours de la période 1963-1995, caractérisée par des fréquences irrégulières de crues et de tempêtes. Dans le Petit Rhône, les variations du lit sont analysées à partir de profils longitudinaux (1969, 89, 1995). Dans le golfe de Beauduc, l'estimation du bilan sédimentaire est réalisée à partir du concept de la « cellule hydrosédimentaire ». La quantification intègre les variations du trait de côte (photographies aériennes de 1963-87-95) et la hauteur du profil. En période de débits faibles à moyens (1969-1989), la faiblesse des apports sableux du Petit Rhône engendre un important déstockage du plancher alluvial. Dans le golfe de Beauduc, l'alimentation des plages par le fleuve est incapable de compenser l'érosion marine. Le bilan sédimentaire est déficitaire. Ce dernier met en évidence un transit bidirectionnel. En période (1989-1995) de crues exceptionnelles de 1993-95, les volumes considérables de sables apportés par le fleuve freinent temporairement l'incision du chenal et contribue également à l'atténuation de l'érosion sur la frange littorale. Cependant, « l'effet compensateur » de la charge sableuse sur le trait de côte ne peut réellement s'évaluer en raison d'ouvrages de protection du linéaire côtier.

Abstract - Shoreline changes of the littoral of the Rhone delta is in relation to the sand carried on by the river and the waves conditions. This paper analyses the river-littoral system in the central part of the delta which is characterized by a river sedimentary source (Petit Rhone) and the east side of the littoral cell (Beauduc Golf). In the Petit Rhone, the evolution of the bed, in erosion, is analysed by several longitudinal profiles (1969-89-95). On the beaches of Beauduc Golf, the sediment budget is realised on the concept of the littoral cell. Quantification (m^3) is determined by intergrated (i) surface of shoreline change (aerial photographs 1963-87-95) with (ii) the closure depth. Nevertheless, the results remain theoretical because of the determination of the closure depth. In the medium bed river incision is directly related to the rythm and the intensity of hydrologics events. The littoral longshore sediment transport may be bi-directional in relation to wave climate. Consequently the contribution of the sand river in the littoral cell is difficult to determine. In the short term, the exceptional river flood of 1993-1994 is able to reduce the incision of the bed in the river and it may also reduce the erosion on the beaches. But this reduction can be awarded to coastal protections too.

À l'échelle mi-séculaire (1944-1995), l'analyse diachronique de clichés aériens verticaux atteste d'une grande mobilité de la ligne du rivage du delta du Rhône. Aucun doute ne subsiste désormais sur le caractère contrasté du bilan sédimentaire de la frange littorale camarguaise, les travaux récents ayant montré que certains secteurs progradent rapidement (+3 m/an à +15 m/an) tandis que d'autres reculent de -2 m/an à -10 m/an (SUANEZ, 1997 ; SABATIER, 1997). Sur le moyen terme, il est généralement admis que cette évolution différenciée de la ligne de rivage est intimement liée aux transports sableux longitudinaux, les plages en érosion alimentant celles en accrétion.

Le golfe de Beauduc (fig. 1), situé immédiatement à l'est de l'embouchure du Petit Rhône, s'inscrit dans ce mécanisme général. Les travaux antérieurs considèrent ce golfe comme un « puits sédimentaire », alimenté dans sa partie occidentale par le secteur en érosion des Saintes-Maries-de-la-Mer, dans sa partie orientale par celui du littoral de Faraman (DUBOUL-RAZAVET, 1956 ; CLAIREFOND, 1977 ; BLANC, 1977 ; SUANEZ & SABATIER, 1999).

Le recul du trait de côte dans le secteur des Saintes-Maries-de-la-Mer, initié depuis déjà plusieurs décennies, est en apparence paradoxal en raison de la proximité immédiate de la bouche

* CEREGE (Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement, géomorphologie et tectonique), Europôle de l'Arbois, Aix-en-Provence.

** Université de Paris 7 Denis Diderot, Département de géographie, UMR 183 CNRS-PRODIG 2, Paris.

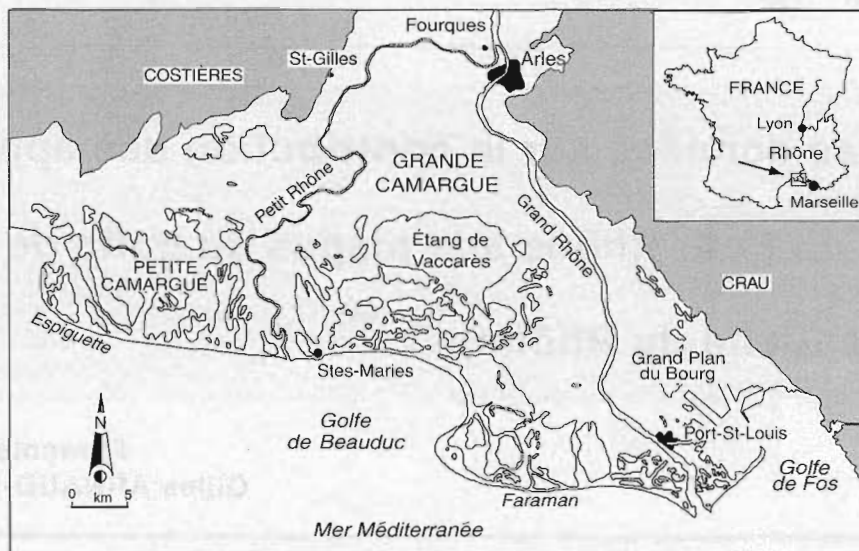


FIG. 1 - LOCALISATION DU DELTA DU RHÔNE ET DU PETIT RHÔNE

occidentale du Rhône. La raison principalement invoquée pour expliquer le recul de la ligne de rivage serait l'incapacité des débits solides du Petit Rhône à compenser l'érosion marine, même à proximité de son embouchure (DUBOUL-RAZAVET, 1956 ; L'HOMER, 1975 ; CLAIREFOND, 1977 ; BLANC, 1977). Les travaux récents menés sur la dynamique fluviale dans le delta du Rhône permettent de nuancer ce raisonnement (ARNAUD-FASSETTA, 1996, 1997, 1998). Ces derniers ont montré l'importance du piégeage de la charge sableuse dans les milieux rivulaires du Petit Rhône en période de crues exceptionnelles (205 000 m³ en octobre 1993, 445 000 m³ en janvier 1994, 195 000 m³ en novembre 1994). L'essentiel des dépôts sableux a été mis en place dans le lit mineur (bancs de chenal, face interne des berges) où les possibilités de remaniement lors des crues suivantes sont très fortes. La branche occidentale

du delta pourrait donc fournir des apports sableux abondants en période de crues exceptionnelles, modulant ainsi l'idée d'une insuffisance pérenne de la charge sableuse rhodanienne à l'échelle milléculaire.

L'approche globalisante des bilans sédimentaires, développée ici, paraît justifiée par le fait qu'aucune étude n'a pour l'instant entrepris d'intégrer le système fluvial et littoral camarguais, surtout par manque de données précises sur le volume annuel de sédiments apportés à la côte par le Petit Rhône. Nous proposons donc une première estimation quantitative des apports et de la redistribution de la charge sableuse du Petit Rhône au golfe de Beauduc, en tenant compte des particularités géomorphologiques de la frange littorale et de son artificialisation localement très développée.

1 - LE SECTEUR D'ÉTUDE

1.1. Caractéristiques hydrographiques et sédimentaires du Petit Rhône

À partir de la division du Rhône à Fourques, le Petit Rhône s'écoule dans la plaine deltaïque sur près de 70 km avant de se jeter dans la mer Méditerranée par le grau d'Orgon, à l'est des Saintes-Maries-de-la-Mer (fig. 1). Son module annuel est de 166 m³/s, ce qui représente seulement 10 à 15% des eaux que le Rhône est aujourd'hui capable d'écouler jusqu'au littoral. Sa pente moyenne est de 9 cm par km mais l'analyse fine de son profil longitudinal révèle de nombreuses irrégularités du fait de l'alternance de seuils et de mouilles espacés en moyenne de 2 à 5 km.

Le lit mineur du Petit Rhône, inondé pour un débit équivalant au module et bordé par des levées

sablo-limoneuses, atteint une largeur de 80 à 300 m, pour une profondeur moyenne comprise entre 2 et 12 m. C'est en bordure du chenal, dans les convexités de méandre, que s'accumulent les bancs médians et latéraux, composés exclusivement de sables moyens à fins. Ces accumulations sableuses constituent un stock potentiel utile à l'engraissement des plages camarguaises.

Le déplacement de la charge sableuse s'effectue selon une descente en relais de la masse alluviale, le stockage se réalisant alternativement au niveau des seuils puis des mouilles. Les modalités spatio-temporelles du transit sédimentaire sont largement contrôlées par le rythme et l'intensité des épisodes de crue, mais n'entretiennent pas de relations simples avec les débits liquides (ARNAUD-FASSETTA, 1997).

1.2. Dynamiques sédimentaires du littoral du golfe de Beauduc

Du Petit Rhône au Pont de Rousty, point neutre entre la zone en érosion et celle en accumulation, le littoral est soumis à un important recul depuis plusieurs décennies. Dans le détail, le linéaire côtier est loin d'être homogène : de l'embouchure à la Fourcade, des enrochements mis en place durant les années 1980 protège le village des Saintes-Maries-de-la-Mer alors qu'ailleurs, aucun équipement ne perturbe le transit sous-marin (SUANEZ et SABATIER, 1999) (fig. 2).

À l'échelle annuelle, le littoral du golfe de Beauduc est soumis à des conditions marines contrastées. Les houles les plus fortes (SE) sont peu fréquentes (26% du temps annuel) alors que celles de SW, moins énergiques, concernent jusqu'à 47% du temps annuel. À la côte, ces deux directions engendrent des dérives littorales de sens opposés. Au large du grau d'Orgon, le lobe sableux sous-marin du Petit Rhône induit une convergence des houles et une divergence du transit sédimentaire selon deux directions opposées (vers l'Espiguette à l'ouest et vers Beauduc à l'est).

C. DUBOUL-RAZAVET (1956), P. CLAIREFOND (1977) et J.-J. BLANC (1977) s'accordent à définir un transit sédimentaire dominant ouest-est. Ils s'appuient pour se faire sur les indicateurs morphologiques (orientation du débouché naturel et accumulations sableuses contre les épis), sur les dynamiques marines (transit sédimentaire depuis le secteur de hautes énergies –convergence des orthogonales– vers celui de basses énergies –divergence des orthogonales–) et sur les bilans sédimentaires (transport

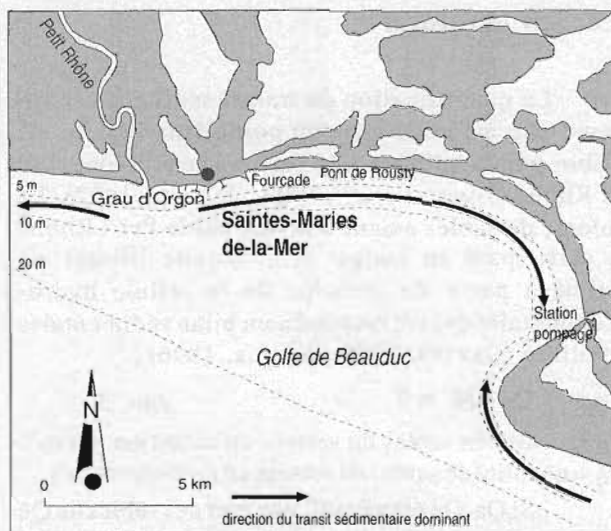


FIG. 2 - LOCALISATION DU GOLFE DE BEAUDUC ET ORGANISATION DU TRANSIT SÉDIMENTAIRE CÔTIER

de sables des secteurs en érosion vers ceux en accrétion). En revanche, la direction des apports sableux du Petit Rhône à la mer n'a jamais été étudiée. La photo-interprétation diachronique montre que le littoral recule moins vite à l'est de l'embouchure, ce qui indiquerait que les sables rhodaniens se dirigent précisément dans cette direction. Cependant, le calcul théorique du transit sédimentaire annuel proposé par EDF-SOGREAH (1983) décrit un transport en direction de la pointe de l'Espiguette et du fond du golfe de Beauduc, à partir d'un point situé légèrement à l'est de l'embouchure. Ces résultats sont donc pour l'instant contradictoires et conduisent à émettre un avis réservé sur la direction que prennent les sables du Petit Rhône lorsqu'ils atteignent le littoral.

2 - APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1. Sur le fleuve

La quantification des variations verticales du plancher alluvial du Petit Rhône a été réalisée à partir de l'analyse diachronique de trois profils en long (1969, 1989, 1995). Les relevés ont été effectués par le Service de la navigation Rhône-Saône au moyen d'un échosondeur graphique à ultrasons dont la précision varie de ± 10 cm. Levés dans l'axe des chenaux, les profils couvrent 26 années, avec un pas d'analyse de 6 et 20 ans. Les profils, composé chacun de 100 points de mesure relevés tous les 200 m, ont été «lissés» par la méthode des moyennes mobiles calculées sur sept valeurs (1,4 km). Le calcul des volumes déplacés repose sur l'équation suivante (ARNAUD-FASSETTA, 1997) :

$$V = \sum_{i=1}^n (L_i \times l_s \times \Delta C_i)$$

$i=1$

équ. 1

i = point kilométrique (PK)

L = longueur [200 m (Petit Rhône)]

$l_s = (l_x + l_y) / 2$ = largeur moyenne du fond du chenal tous les 200 m (en mètres)

l_x = largeur du chenal à +1 m du fond

l_y = largeur du chenal à +2 m du fond

ΔC = variation de la cote moyenne du fond du lit d'un état à l'autre (en mètres NGF)

Le calcul de l_s a été obtenu à partir de profils transversaux levés sur le Petit Rhône le 15 novembre 1994. La largeur du chenal a été prise en considération jusqu'à +2 m du fond compte tenu de l'amplitude moyenne des phénomènes d'incision et d'exhaussement qui peut être supérieure à 1 m. Cette équation est du reste justifiée par le fait que le chenal actuel du Petit Rhône, endigué sur presque toute sa longueur, connaît une évolution latérale limitée, fonctionnant pratiquement comme un bief «canalisé» (ARNAUD-FASSETTA, 1998).

2.2. Sur le littoral

La quantification du transit sédimentaire reprend une méthode mise au point dans le delta de l'Ebre puis appliquée à la partie orientale du delta du Rhône (JIMENEZ *et al.*, 1993 ; SUANEZ, 1997). Le volume de sables amené à la mer par le Petit Rhône et participant au budget sédimentaire littoral est estimé à partir du principe de la cellule hydro-sédimentaire qui correspond à un bilan sédimentaire équilibré (CARTER, 1988 ; KOMAR, 1996) :

$$Q_a - Q_é = 0 \quad \text{équ. 2}$$

Q_a quantité de sables du secteur en accrétion (en m^3)

$Q_é$ = quantité de sables du secteur en érosion (en m^3)

Si $Q_a - Q_é$ est négatif, une part des sables de $Q_é$ échappe au bilan sédimentaire de la cellule (Q_s). On admet alors que Q_s se dirige vers l'ouest (accumulation sableuse de l'Espiguette). Si $Q_a - Q_é$ est positif, une quantité de sables d'origine externe participe au bilan sédimentaire de la cellule (Q_s'). Nous considérerons alors qu'il s'agit des apports sableux du Petit Rhône.

La quantification de Q_a et de $Q_é$ est déterminée à partir des mesures de surface (m^3) des variations du trait de côte extrapolées en volumes (m^3). Le calcul de surfaces a été effectué par photo-interprétation d'après les clichés IGN des années 1963, 1987 et 1995 (SUANEZ, 1997 ; SABATIER, 1997). La dimension verticale, qui permet le calcul des cubatures, tient compte de «l'épaisseur» de la plage définie par la hauteur de berme et de la limite sous-marine significative de mobilité des sables (h) sous l'action des houles. En l'absence de profils bathymétriques exploitables, h a d'abord été déterminé par comparaison de formules théoriques (HALLERMEIER, 1981, 1983 ; HANSON et KRAUSS, 1989) qui intègrent les caractéristiques des houles annuelles extrêmes. Ces dernières ont été calculées dans les conditions de déformation en zone côtière, selon la théorie des houles linéaires (stocks 1^{er} ordre) (SPM, 1984). La comparaison de ces formules détermine une profondeur moyenne de -6 m dans le secteur en

érosion et de -3 m dans celui en accrétion. Toutefois, si les données granulométriques, la forme des isobathes, la morphologie et la profondeur des barres littorales valident le calcul de h dans le secteur en érosion, ces indicateurs, exceptées les barres littorales, déterminent pour le secteur en accrétion une zone à sédimentation rapide pouvant s'étendre jusqu'à -10 m de profondeur (CLAIREFOND, 1977 ; BLANC, 1977). Compte tenu du caractère théorique de notre approche, ces deux profondeurs (-3 m et -10 m) sont retenues dans la quantification de la zone en accrétion.

Si la méthodologie utilisée permet d'obtenir une approche quantitative du schéma de fonctionnement, plusieurs paramètres ont été simplifiés et/ou négligés. Tout d'abord, considérer les derniers relevés (profils bathymétriques et clichés aériens) de 1995 comme représentatifs des alluvions sableuses de 1993-94 conduit à surévaluer le temps de réponse du bilan sédimentaire littoral aux apports fluviaux. De plus, le transfert en relais de la charge sableuse, lié aux phénomènes de piégeage dans le lit fluvial, n'est pas pris en compte. Par ailleurs, le modèle de fonctionnement littoral appliqué au golfe de Beauduc reste réducteur en raison de la difficulté d'évaluation des échanges entre les cellules hydrosédimentaires situées à l'ouest et à l'est de la zone d'étude. Précisons également que ce modèle intègre seulement le transport sédimentaire longitudinal et fait abstraction des échanges sédimentaires transversaux qui interviennent probablement à l'échelle de temps considéré. Ensuite, le calcul permettant de quantifier le bilan sédimentaire littoral met directement en relation les volumes sédimentaires avec les variations du trait de côte. Lorsque la ligne du rivage est fixée contre des digues frontales (Saintes-Maries), cette approche présente l'inconvénient majeur d'ignorer les processus d'érosion dans les petits fonds alors qu'il existe des problèmes d'affouillement au pied des ouvrages (PASKOFF, 1998). On insistera enfin sur le fait que la détermination de h est purement théorique et variable selon les critères dynamiques retenus.

3 - ÉVOLUTION DIACHRONIQUE DU PLANCHER ALLUVIAL DU PETIT RHÔNE (1969-1995) ET DU BILAN SÉDIMENTAIRE LITTORAL (1963-1995)

3.1. Bilan hydrologique de la période 1963-1995

Les crues moyennes à fortes, correspondant à un débit maximal supérieur à 500 m^3/s , et les tempêtes définies par le nombre de jours annuels où le vent de mer est supérieur à 11 m/s durant au moins 9 heures continues, représentent les principaux agents morphogènes (SUANEZ, 1997). La période 1963-1995 peut être subdivisée en quatre phases hydrologiques

distinctes (fig. 3). La *première* (1963-1975) correspond à une phase d'irrégularité hydrologique, au cours de laquelle les crues sont de faible magnitude, et les tempêtes peu fréquentes (environ 10 événements par an). La *seconde* (1976-1988) est marquée par une hydrologie relativement abondante (excepté en 1984-1985), avec des crues de forte magnitude et des tempêtes beaucoup plus fréquentes (15-30 événements par an) dont la tempête centennale de 1982. La *troisième* (1989-1993) s'inscrit dans une

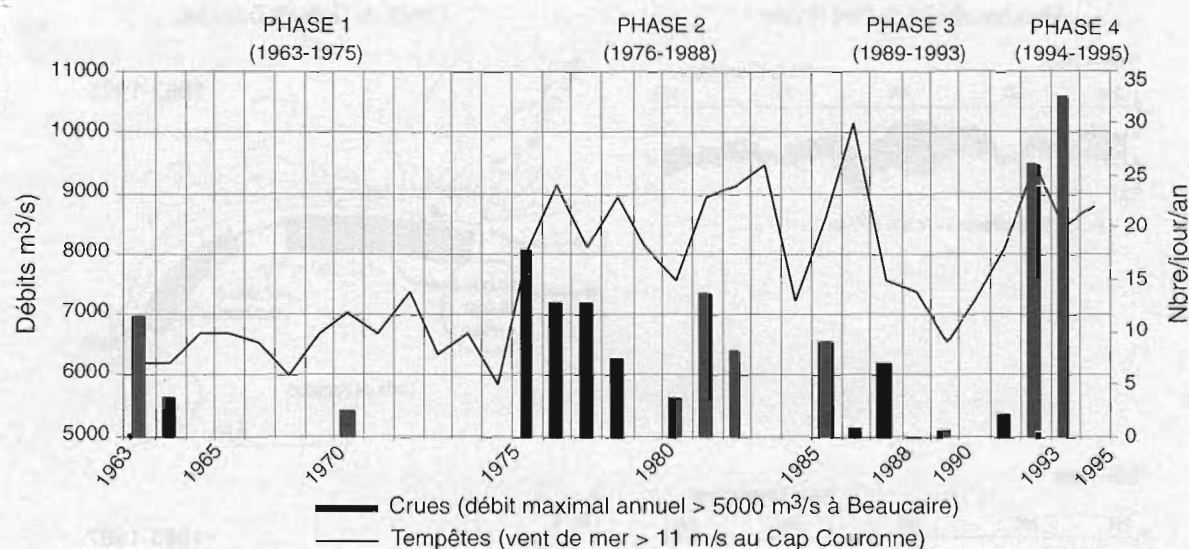


FIG. 3 - VARIATION DES AGENTS MORPHOGÈNES DE 1963 À 1995

nouvelle phase de calme hydrologique au cours de laquelle les crues sont de très faible énergie, exceptée au cours de l'année 1993. Jusqu'en 1991, la fréquence des tempêtes est relativement faible (12 événements par an) mais elle s'intensifie à partir de 1992. La *quatrième* (1994-1995) est caractérisée par une hydrologie abondante, l'arrivée de quelques crues exceptionnelles couplée à des événements tempétueux annuels fréquents (>20).

On soulignera ici la variabilité des agents morphogènes en termes d'intensité et de magnitude, le synchronisme apparent des crues avec les tempêtes et l'intérêt d'étudier les périodes 1989-1992 et 1993-1995 afin de préciser la part des événements hydrologiques exceptionnels dans l'évolution du bilan sédimentaire littoral.

3.2. Évolution diachronique (1963- 1995)

Sur le Petit Rhône, la période 1969-1995 est marquée par un bilan sédimentaire déficitaire ($-74\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) ; l'incision du plancher alluvial est généralisée à l'ensemble de la section étudiée (fig. 4). Sur le littoral, à l'est du fleuve, l'érosion atteint $-125\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ alors que l'accrétion est estimée entre $+47\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ à $+107\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ pour la période 1963-1995, soit un bilan négatif de $-19\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ à $-78\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$. L'estimation des apports sableux du Petit Rhône aux plages de Beaucauc ne peut être réalisée. Il convient donc d'envisager une perte de la cellule sédimentaire qui alimente l'accumulation sableuse occidentale de l'Espiguette. Il faut donc supposer un transport

sédimentaire bidirectionnel pour justifier le bilan négatif.

De même, les périodes 1969-1989 (fleuve) et 1963-1987 (littoral) s'inscrivent dans une tendance générale de déficit sédimentaire. L'érosion du plancher alluvial du Petit Rhône ($-88\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) est sensible sur l'ensemble du profil, avec une prépondérance du processus dans la partie médiane (pK 289-292). Le bilan sédimentaire littoral, négatif de $-57\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ à $-112\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$, reste inscrit dans la tendance définie précédemment. Les sables du secteur en érosion ($-154\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) alimentent le fond du golfe de Beaucauc ($+42\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$ à $+97\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) mais participent aussi à la progression de l'Espiguette.

La courte période 1989-1995 est caractérisée sur le Petit Rhône par une incision ($-27\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) du plancher alluvial moins intense et plus disparate que précédemment puisqu'elle n'affecte que les parties médiane et inférieure du profil. Dans la partie amont, le plancher alluvial enregistre même un exhaussement relatif ($+152\ 000\ \text{m}^3$). De même, le bilan sédimentaire littoral enregistre des valeurs positives entre 1987 et 1995. Comparativement aux périodes antérieures, l'érosion diminue considérablement ($-38\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$) et le fond du golfe de Beaucauc reçoit une quantité considérable de sédiments ($+63\ 000$ à $+137\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$). La différence entre ces valeurs s'explique par un transport sédimentaire sableux qui se fait en direction du golfe de Beaucauc et par des apports sableux externes à la cellule, estimés entre $+25\ 000$ à $+99\ 000\ \text{m}^3/\text{an}$, qui proviennent très certainement du Petit Rhône.

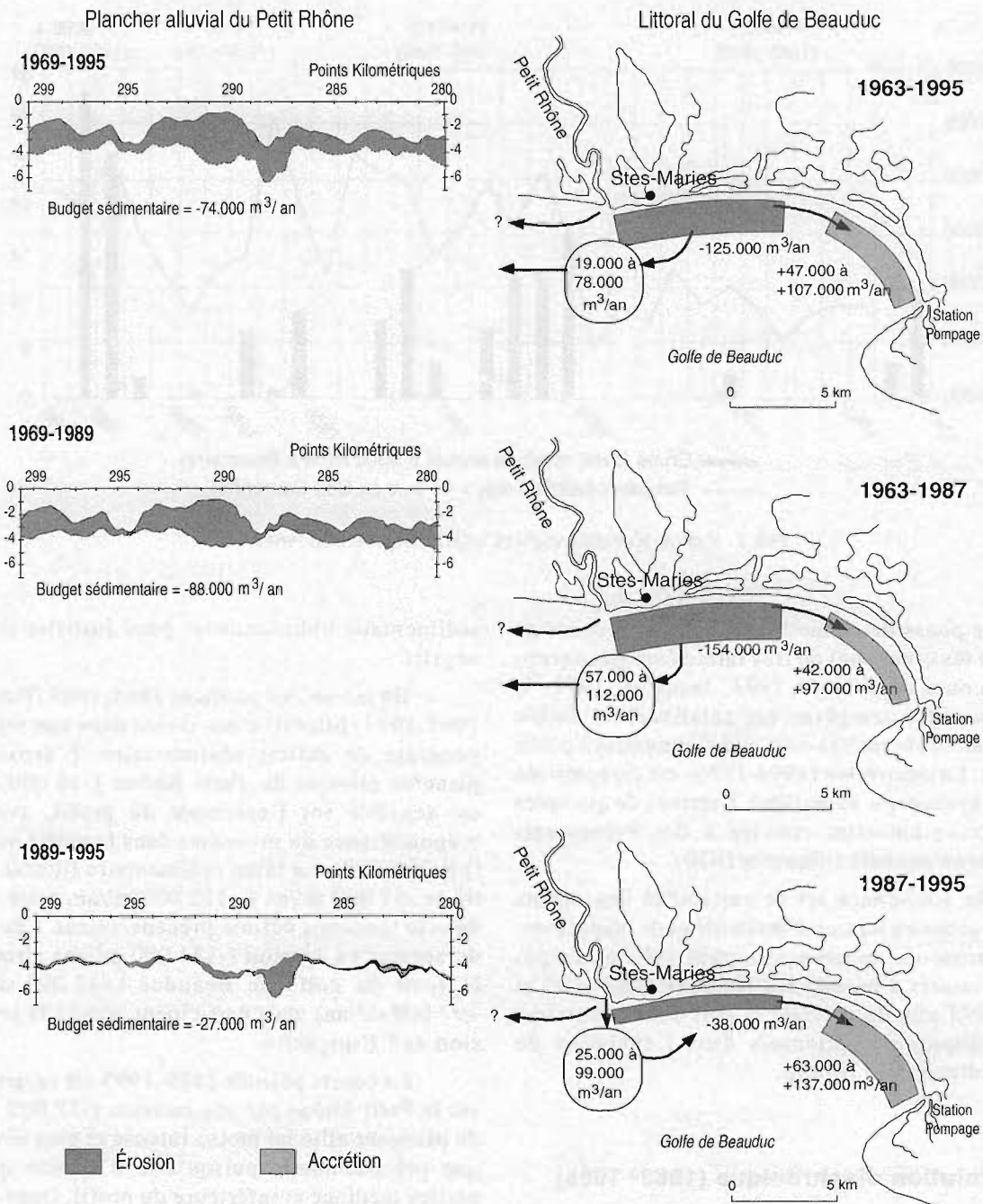


FIG. 4 - ÉVOLUTION DIACHRONIQUE DU PLANCHER ALLUVIAL DU PETIT RHÔNE (1969-1995) ET DU BILAN SÉDIMENTAIRE LITTORAL (1963-1995)

4 - DISCUSSION : VERS UN MODÈLE DE FONCTIONNEMENT INTÉGRÉ « FLEUVE-LITTORAL » ?

Lorsque les crues du Petit Rhône sont de faible à moyenne énergie (1963-1989), le faible volume de sédiments transitant dans le fleuve favorise la forte incision de son plancher alluvial et ne permet pas de compenser l'érosion littorale qui reste très importante et dont le produit permet d'alimenter les plages du fond du golfe de Beauduc. Mais nous avons vu que les bilans sédimentaires impliquent également un transit de sens contraire en direction de l'Espiguette. Le transit sédimentaire

est donc bidirectionnel ; il pourrait être lié à l'augmentation, depuis 1975, des tempêtes de SE.

Lorsque le Petit Rhône connaît des crues de haute énergie (1989-1995), la faible incision du plancher alluvial est mise en relation avec la recharge temporaire en sédiments apportés par les crues exceptionnelles (1993-1994). L'abondance des alluvions sableuses est confirmée sur le littoral par l'augmentation des volumes accumulés et l'importante réduction des secteurs en érosion. Cependant,

cette dernière doit être nuancée à cause de la protection des Saintes-Maries-de-la-Mer qui a contribué à stopper de façon artificielle le recul du trait de côte. Pour s'affranchir des perturbations induites par les infrastructures de protection, la partie équipée a été analysée séparément de celle non équipée (fig. 5). Sur les deux secteurs, l'érosion diminue de 1987 à 1995 par rapport à la période précédente. Dans un contexte hydrologique caractérisé par la répétition de fortes crues, et malgré des événements tempétueux relativement fréquents, il semblerait donc possible que les apports sableux du Petit Rhône puissent contribuer à réduire l'érosion littorale.

Cependant, le schéma d'une charge sableuse abondante, en période de grosses crues, utile à l'engraissement des plages camarguaises ne vaut que pour certaines situations hydrosédimentaires particulières. En effet, G. ARNAUD-FASSETTA (1997) a largement insisté sur le caractère érosif ou accumulateur des crues exceptionnelles dans le chenal, selon leur rythme et leur succession dans le temps. Suivant les crues, le matériel sédimentaire peut tout aussi bien être directement évacué jusqu'au littoral et compenser l'érosion littorale, ou rester piégé dans le chenal, limitant ainsi les possibilités de réduction de l'érosion littorale à l'aval

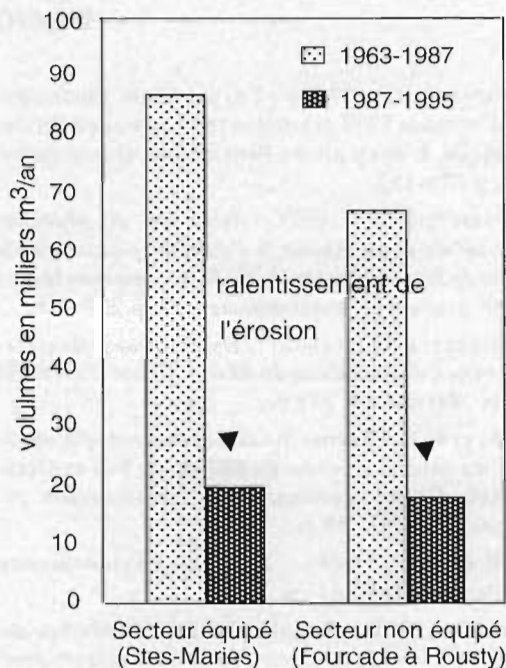


FIG. 5 - QUANTIFICATION DU SECTEUR EN ÉROSION ÉQUIPÉ ET NON ÉQUIPÉ (1963 À 1995)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Cette étude a permis de proposer une première estimation quantitative des apports sableux du Petit Rhône aux plages de Beauduc et d'établir un lien entre les hydrosystèmes fluvial et littoral. Sur le fleuve, l'exploitation des profils en long a permis de confirmer la recharge temporaire du fond du lit lors de certains événements hydrologiques exceptionnels. Sur le littoral, la quantification des apports sableux a pu être réalisée par le concept de la cellule hydrosédimentaire. Entre 1989-1995 ces derniers sont estimés dans une fourchette variant de +25 000 à +99 000 m³/an.

Cependant, les deux hydrosystèmes fluvial et littoral sont dans une situation de déficit sédimentaire chronique. Les grandes crues de 1993-1994 apparaissent finalement incapables de compenser à moyen terme l'érosion du littoral occidental camarguais, même à proximité immédiate de la bouche du Petit Rhône. Ces événements hydrologiques exceptionnels, isolés dans une tendance de calme hydrologique, ont donc un rôle peu significatif sur le bilan sédimentaire côtier, leur rôle se

limitant à atténuer temporairement le déficit sédimentaire.

Par ailleurs, le postulat de départ qui consistait à envisager, afin de quantifier les apports sableux du Petit Rhône, une seule direction du transport sédimentaire, se faisant du secteur en érosion vers celui en accrétion, s'est avéré insuffisant. Ce travail aboutit en effet à envisager, par la méthode des cellules hydrosédimentaires, un transit sédimentaire littoral bidirectionnel. Cette remarque souligne la complexité des processus et la perméabilité des cellules hydrosédimentaires entre elles. Les limites de l'utilisation théorique du modèle de fonctionnement imposent la nécessité d'élaborer un suivi bathymétrique régulier des plages de Camargue. Le travail sur les dynamiques fluviales réalisé jusqu'alors montre également la nécessité de mieux connaître la quantité, la nature et l'origine des sédiments transitant aux deux embouchures du Rhône. Une approche globalisante à l'échelle du delta paraît donc indispensable pour une meilleure connaissance des bilans sédimentaires rhodaniens.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD-FASSETTA G., (1996). - Les inondites rhodaniennes d'octobre 1993 et janvier 1994 en milieu fluvio-deltaïque. L'exemple du Petit Rhône, *Quaternaire*, 7, 2, p.139-153.
- ARNAUD-FASSETTA G., (1997).- *Évolution du plancher alluvial du Petit Rhône à l'échelle pluriannuelle (delta du Rhône, France du Sud). Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3, p.237-256.
- ARNAUD-FASSETTA G., (1998).- *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*, Thèse Université d'Aix-Marseille I, 329 p.
- 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, 69 p.
- CARTER R.G.W., (1988).- *Coastal environments*, Academic Press, 617 p.
- CLAIREFOND P., (1977).- *Le golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer (Camargue). Étude sédimentologique. Aménagement et protection*, Thèse Université d'Aix-Marseille II, 152 p.
- DUBOUL-RAZAVET C., (1956).- Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône, *Mémoires de la Société géologique de France*, 76, 234 p.
- EDF-SOGREAH, (1983).- *Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée. Partie B : de Sète à Marseille*, Collection de la Direction des études et recherche d'Électricité de France, Eyrolles, 191 p.
- HALLERMEIER R.J., (1981). - A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate, *Coastal Engineering*, 4, p 253-277.
- HALLERMEIER R.J., (1983).- Sand transport limits in coastal design. *Proc. Coastal Structures '83, ASCE*, p.703-716.
- HANSON H., KRAUSS N., (1989).- Genesis : generalised model for simulating shoreline. *Technical report CERC*, 88-19, p.52-91.
- JIMENEZ J.A., SANCHEZ-ARCILLA A., (1993).- Medium-term coastal response at the Ebro delta, Spain, *Marine Geology*, 114, p.105-118.
- KOMAR P.D., (1996).- The budget of littoral sediment concepts and applications, *Shore and Beach*, p.19-26.
- KRUIT C., (1955).- Sediments of the Rhone delta ; grain size and microfauna, *Verhandelingen van het Koninklijk Mijnbouwkundig Genootschap. Geologische*, serie dee 1 15, p.359-501.
- L'HOMER A., (1975).- Notice explicative de la carte géologique des Saintes-Maries au 1/50000, *BRGM*, 34 p.
- PASKOFF R., (1998).- *Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution*, Masson 3^e éd., 256 p.
- SABATIER F., (1997).- *Les dynamiques sédimentaires du littoral occidental du delta du Rhône*, Mémoire de DEA, Université d'Aix-Marseille I, 104 p.
- SPM, (1984).- *Shore protection manual*, Coastal Engineering Research Center, 2 tomes.
- SUANEZ S., (1997).- *Dynamiques actuelles et récentes de la frange littorale orientale du delta du Rhône*, Thèse Université Aix-Marseille I, 282 p.
- SUANEZ S., SABATIER F., (1999) - Éléments de réflexion pour une gestion plus cohérente d'un système anthropisé : exemple du littoral du delta du Rhône, *Revue Géographique de Lyon*, 74, p.7-25.

Remerciements

Cet article a été réalisé dans le cadre de recherches financées par le Conseil Régional PACA, le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, la Compagnie nationale du Rhône, le Service de navigation Rhône-Saône et la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est.