



**CARTE
GÉOLOGIQUE
DE LA FRANCE
A 1/50 000**

BUREAU DE
RECHERCHES
GÉOLOGIQUES
ET MINIÈRES

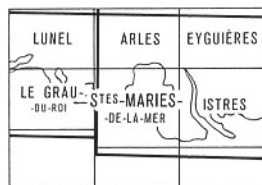
STES-MARIES- -DE-LA-MER

XXIX-44-45

**STES-MARIES-
-DE-LA-MER**

La carte géologique à 1/50 000
STES-MARIES-DE-LA-MER est recouverte par la coupure
ARLES (N° 234)
de la carte géologique de la France à 1/80 000

*Etangs
de Camargue*



MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Boîte postale 6009 — 45018 Orléans Cédex — France



NOTICE EXPLICATIVE

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	2
<i>APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE</i>	2
<i>DONNÉES PHYSIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT</i>	2
<i>PRÉSENTATION DE LA CARTE</i>	4
<i>CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE</i>	5
<i>HISTOIRE GÉOLOGIQUE SOMMAIRE</i>	6
DESCRIPTION DES TERRAINS.....	6
<i>TERRAINS NON AFFLEURANTS</i>	6
<i>TERRAINS AFFLEURANTS</i>	7
<i>NATURE DES DÉPÔTS MEUBLES DU GOLFE DES SAINTES-MARIES-DE-LA-MER</i>	14
PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.....	17
<i>GÉOLOGIE STRUCTURALE ET PALÉOMORPHOLOGIE</i>	17
<i>DÉTAILS MORPHOLOGIQUES ACTUELS</i>	17
<i>ÉROSIONS ET ÉVOLUTIONS DU LITTORAL - ANCIENS COURS DU RHÔNE</i>	20
OCCUPATION DU SOL.....	25
<i>LES SOLS</i>	25
<i>ARCHÉOLOGIE</i>	27
<i>LE PARC NATUREL</i>	28
RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS	28
<i>HYDROGÉOLOGIE</i>	28
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE	29
<i>DOCUMENTS CONSULTÉS</i>	29
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	29
<i>DOCUMENTS CONSULTABLES</i>	32
AUTEURS	33
<i>COUPES RÉSUMÉES DES SONDAGES</i>	34

INTRODUCTION

APERÇU GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE D'ENSEMBLE

La feuille se situe aux confins des départements des Bouches-du-Rhône et du Gard, au cœur du delta du Rhône. C'est le Petit Rhône qui marque la délimitation de ces deux départements. La carte concerne la moyenne et la basse Camargue, à morphologie extrêmement plate et dont les points les plus hauts atteignent à peine 3 m et exceptionnellement 7 m (dunes de Beauduc). La Camargue est cette île comprise entre les deux bras du Rhône et la mer. .

Les grands traits géographiques en sont l'étang de Vaccarès et les étangs littoraux, la vallée du Petit Rhône, les anciens cours plus ou moins marqués dans la topographie, les cordons littoraux du secteur occidental et de la pointe de Beauduc.

De la mer vers la tête du delta s'échelonnent une série de dépressions très plates bordées par les anciens cordons au Sud et par les anciens bras du fleuve pour le reste du delta.

Au Nord des cordons les bourrelets alluviaux encadrent des dépressions interfluvies dont le degré de colmatage est plus ou moins poussé (fig. 1).

En s'éloignant de la mer on passe progressivement des étangs salés littoraux aux lagunes saumâtres, puis aux marais pour aboutir localement, en bordure de la Crau ou des Costières, à des faciès palustres à tourbes. Ce gradient de salinité commande en Camargue toute une gamme d'environnements particuliers. Ces derniers sont aujourd'hui protégés (Réserve zoologique et botanique, Parc naturel régional).

DONNÉES PHYSIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (*)

Les vents

Ils soufflent presque toute l'année dans cette région. Il existe deux types principaux de vents :

Vents de secteur nord. C'est le vent soufflant du N.NW à W.NW appelé *le mistral* qui est le plus fréquent et le plus violent (59 % de la durée totale des vents). Les vents du secteur nord-est sont peu fréquents.

Vents de secteur sud (vents marins). Le plus fréquent est le vent du Sud-Est qui est un facteur de précipitations atmosphériques.

La direction et la force moyenne des vents a une incidence directe sur le transport et l'accumulation de sables éoliens mais également sur l'érosion des côtes, des berges des étangs et par voie de conséquence sur la dispersion des sédiments en mer et dans les lagunes. Les vents violents peuvent produire une élévation momentanée du niveau des eaux contre une berge (jusqu'à 50 cm pour l'étang de Vaccarès). En outre l'effet des vents s'ajoutant aux températures élevées des mois d'été entraîne de forts taux d'évaporation, pouvant atteindre 280 mm pour le mois de juillet. Ce sont ces conditions climatiques spéciales qui font de cette région un lieu privilégié pour l'industrie des marais salants (salins d'Aygues-Mortes, salins de Giraud).

Les températures

Le mois le plus froid est le mois de janvier et le plus chaud le mois de juillet. D'après les indications de P. Heurteaux les températures les plus basses ne descendent qu'exceptionnellement au-dessous de 5° C et le nombre moyen des jours de gelée sous abri (24) est relativement bas pour la région. Au cours de l'été la température

(*) Des données très détaillées figurent dans le rapport *Camargue* (1970) de la CNARBRL (Compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc).

maximum dépasse en moyenne 30° C pendant 22 jours. (Données empruntées à P. Marinos, 1968).

Les salinités (Rapport Camargue)

La moyenne générale pour les eaux du Vaccarès tourne autour de 8 g/l de chlorures exprimés en ClNa réel. Les points centraux de prélèvement dans cet étang indiquent des valeurs allant de 6,30 à 11,90 g/l.

Dans les étangs les plus littoraux la valeur minimale mesurée a été de 9,9 en mars et la valeur maximale de 30,2 en août. Salinité moyenne : 16,4 (étang de Malagray). La salinité peut être momentanément plus élevée dans les bassins (partènements) exploités au Sud-Est du territoire de la feuille par la Compagnie des salins du Midi et des salines de l'Est (exploitation de Salin-de-Giraud).

Les précipitations

De septembre à décembre il tombe en général plus de 50 % des précipitations de l'année. De janvier à avril les précipitations ne dépassent pas 25 à 30 % de la hauteur annuelle. De mai à août se situe la période sèche (15 à 20%). La hauteur moyenne annuelle à Salin-de-Giraud est de 539 mm.

Par suite de fortes températures estivales et des vents qui soufflent presque toute l'année les valeurs de l'évapotranspiration sont élevées. La valeur moyenne de l'évapotranspiration potentielle est comprise en Camargue entre 900 et 1 000 mm par an.

Le Petit Rhône

Ce bras a une longueur de 60 km. Sa profondeur moyenne est de 3 à 6 m. Son débit est très inférieur à celui du Grand Rhône ; il n'apporte à la mer que 4 millions m³/an de sédiments (donnée ancienne calculée par l'ingénieur Surell et reprise par Dumas, 1876). Ce chiffre est très certainement supérieur au volume actuellement charrié par le Petit Rhône.

Les étangs

Ceux-ci sont très peu profonds (généralement moins d'un mètre) sauf certaines passes et le Vaccarès qui peuvent atteindre et même dépasser 2 mètres. L'épaisseur de la tranche d'eau varie suivant la saison. En été, les *radeaux* (*) sont entourés de vastes étendues asséchées alors qu'en période de hautes eaux (hiver, début du printemps) ils peuvent être en grande partie submergés, ce qui explique la formation des dépôts de limons fins (LMz1) qui les constituent.

PRÉSENTATION DE LA CARTE

La carte des Saintes-Maries s'inscrit au centre de la carte géologique Arles à 1/80 000. Les terrains qui y sont représentés intéressent essentiellement les sédiments d'âge holocène et y ont été figurés en détail de même que sur les quatre autres feuilles (**) couvrant le delta. L'ensemble des cinq cartes forme un tout homogène de facture cartographique moderne.

Les délimitations naturelles, les cultures, les implantations humaines sont d'ordinaire plus ou moins subordonnées à la nature des terrains. A cette dépendance lithologique s'ajoutent en Camargue d'autres facteurs. Il existe en effet des liens étroits entre la morphologie et les faciès ainsi qu'entre l'altitude, le réseau hydrographique et de drainage, la distance à la mer et la salinité. Ces divers éléments conditionnent étroitement les environnements et également l'aptitude des terrains aux cultures.

La connaissance du prolongement sous-marin du delta étant indispensable pour expliquer bien des traits de la partie sub-mérienne, les sédiments des fonds marins ont été représentés tout comme sur les cartes géologiques voisines. Les figurés

(*) Nom donné localement aux îles très plates existant au sein des étangs.

(**) Istres, Eyguières, Arles, Le Grau-du-Roi.

conventionnels adoptés pour les sédiments marins donnent l'impression qu'il existe une limite tranchée entre les sables de plage Mz1 et les sables de la bordure marine du littoral. En fait on passe insensiblement d'un faciès à l'autre.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE

Terrains anté-holocènes

Ils ne sont mentionnés qu'à la rubrique des terrains non affleurants, à celle de la géologie structurale et dans la liste des sondages.

Terrains holocènes

La carte Les Saintes-Maries a été la deuxième feuille du delta à être levée en détail, après celle d'Istres, sur laquelle ont été mises au point les méthodes de cartographie adaptées à ces terrains particuliers.

Méthode de levés. Le canevas de départ a été fourni par l'interprétation des photos aériennes de l'IGN. Une série de *faciès* photographiques, liés tant à la morphologie qu'à la nature des sédiments, ont été identifiés, puis représentés systématiquement sur la carte en tenant compte des processus d'édification propres aux constructions deltaïques. Le recours aux photos des missions aériennes anciennes a été souvent utile. Un contrôle systématique des photo-interprétations a été effectué par des petits sondages à la main (de 2 à 4 m). Au total quatre-vingts petits sondages ont été réalisés dans le périmètre de la feuille. Dans cette démarche une aide appréciable a été fournie par les documents pédologiques existants (cartes et profils tarière du CNARBRL). Des difficultés ont été rencontrées lors des levés, du fait du caractère peu praticable de certaines zones marécageuses, mais aussi, parfois, par suite du refus d'entrée opposé par des propriétaires très attentifs à préserver leurs terrains de chasse de toute incursion. Par contre, l'accès aux bois des Rièges et au territoire de la Réserve a été grandement facilité grâce à l'esprit très coopératif de son directeur. L'accès aux autres réserves a été possible grâce à la compréhension du maire des Saintes-Maries et à celle du Président de la Société de chasse de cette localité.

Depuis toujours les deux éléments fondamentaux figurés sur les cartes géologiques ont été la lithologie et la stratigraphie. Les dépôts deltaïques affleurants s'étant effectués dans une période de temps très courte (partie supérieure de l'Holocène), il était hors de question d'introduire des subdivisions d'ordre stratigraphique. La cartographie se devait, en compensation, de détailler davantage que de coutume la nature lithologique des divers sédiments. L'ordre de succession des anciens cordons et des anciens bras donne toutefois, sinon une *stratigraphie*, du moins une chronologie relative des étapes d'édification du delta.

Les faciès holocènes distingués et figurés sur la carte, l'ont été sur des critères tant lithologiques que génétiques.

Pour éviter les interférences fâcheuses de couleur et de figurés, la représentation des étangs du fond topographique a été supprimée et remplacée par un hachuré symbolique situé hors des contours géologiques.

La carte ne prend pas en compte l'aspect de la salinité des terrains déjà largement traités par ailleurs sur les documents pédologiques et hydrogéologiques.

Enfin la consultation des cartes anciennes de la Bibliothèque nationale a fourni les données relatives aux anciens tracés de côte et d'embouchures.

Sédiments marins

Étude classique au moyen de profils de dragage.

Les levés du golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer ont été réalisés par P. Clairefond (*). Les lobes deltaïques sous-marins du Bras-de-Fer et de Faraman à l'Est de la feuille,

(*) P. Clairefond a pu également profiter des prélèvements effectués par E. Muschotti lors d'une campagne du S.H. « La Recherche ».

ainsi que la zone située à l'Ouest du Petit Rhône ont été levés par le professeur J. Blanc.

HISTOIRE GÉOLOGIQUE SOMMAIRE

C'est à la fin de l'Éocène, après la phase orogénique bartonienne, que les grands traits structuraux se mettent en place dans la région.

Au cours de la phase alpine (Miocène supérieur), se produit la surrection des Alpilles, tandis que la zone située immédiatement au Sud s'affaisse, formant une dépression où viennent aboutir les eaux de la Durance alors séparée du Rhône. Au Pliocène la mer envahit la dépression occupée actuellement par le delta et la vallée du Rhône. La série pliocène essentiellement fine débute par le Plaisancien, constitué d'argiles et de marnes gris-bleu avec des intercalations marno-sableuses devenant plus fréquentes au sommet. Le faciès type de l'Astien est représenté par des sables jaunes ou verdâtres plus ou moins argileux avec des lits d'argile. L'identité de composition lithologique et minéralogique indique des vitesses de sédimentation rapides en accord avec l'hypothèse d'une invasion brutale du continent pontien.

Les dépôts constitués d'argiles, de marnes silteuses gris-bleu, puis de sables jaunes plus ou moins argileux (Astien) dépassent fréquemment 600 m de puissance (*cf.* rapport *Camargue* de la CNARBRL, 1970).

Les dépôts pléistocènes sur les bordures du delta (Crau, Costières) sont constitués de nappes de cailloutis liées aux grandes glaciations quaternaires. Ces cailloutis, mis en place à des périodes de bas niveau marin (variations glacio-eustatiques), se prolongent en direction du plateau continental, sous la couverture de dépôts holocènes.

De nombreux sondages effectués en Camargue ont traversé les sédiments holocènes et recoupé les cailloutis. Il est possible ainsi de se faire une idée de la morphologie avant la dernière remontée glacio-eustatique, c'est-à-dire au dernier stade du Würm (*cf.* les isobathes du toit des cailloutis figurées sur la carte géologique).

La dernière transgression (flandrienne = versilienne) voit la mise en place du delta actuel. Vers 6 500 B.P. (*) la mer atteint une cote voisine du niveau actuel. Les fluctuations ultérieures du niveau marin sont de faible amplitude.

DESCRIPTION DES TERRAINS

TERRAINS NON AFFLEURANTS

Anté-Pléistocène

Sous la Camargue, le Pliocène (Plaisancien plus Astien marins) a une puissance variable. Dans la région de Villeneuve, il se rencontrerait à partir de 35 m de profondeur avec une puissance de 450 m, tandis qu'il serait atteint à — 42 m à Beauduc avec une épaisseur de 550 mètres. Toutefois, il est absent de la région des Saintes-Maries où le Quaternaire repose directement sur le Kimméridgien à 115 m de profondeur.

Pléistocène()**

Les cailloutis pléistocènes se rencontrent à des profondeurs variables, en général croissantes du Nord-Est vers le Sud-Ouest : *cf.* courbes isobathes du toit des cailloutis.

(*) B.P. : before present, littéralement avant le présent (mesure donnée en années, à compter de 1950).

(**) La carte géologique Arles à 1/80 000 comporte un cartouche avec des informations sur le substratum.

Les sondages pétroliers qui ont traversé les cailloutis ont donné les épaisseurs suivantes : 60 m aux Saintes-Maries, 72 m à l'Ouest du Vaccarès, 31 m à Beauduc.

Des galets de grès à ciment calcaire sont régulièrement rejetés par la mer près de l'embouchure du Petit Rhône. Ces grès sont connus depuis longtemps pour affleurer dans le fond du golfe d'Aigues-Mortes et jusqu'en face de Sète par des profondeurs de 7 à 8 mètres (cf. carte géologique Le Grau-du-Roi).

Ces *grès de plage* (*) présentent des structures sédimentaires (*ripples, flaser, terriers*, fines stratifications obliques) qui paraissent indiquer des dépôts effectués sous faible tranche d'eau. Ces grès, arrachés au fond par les houles de tempête, avaient déjà été signalés par E. Dumas (1876) et étudiés par C. Duboul-Razavet (1955), puis par L.M.J. Van Straaten (1957 b).

Au point de vue pétrographique, ils sont constitués de quartz anguleux (50 à 200 μ) de fins lithoclastes ou de pelotes micritiques très roulées. Les micas y sont fréquents ainsi que, souvent, les débris ligniteux. Les minéraux lourds y sont plus ou moins nombreux. Le ciment est micritique (10%) ou spathique (20%). La porosité varie entre 10 et 20 %.

Ces grès appartiennent à un haut niveau marin en climat relativement chaud ainsi que l'indique l'association malacologique trouvée dans des échantillons provenant du golfe d'Aigues-Mortes. Ils sont considérés comme néo-tyrrhéniens.

TERRAINS AFFLEURANTS

HOLOCÈNE

Tous les terrains contemporains ou postérieurs à la transgression flandrienne (**) sont rangés dans l'Holocène.

Le remblaiement holocène

La succession des dépôts durant la dernière remontée du niveau marin nous est bien connue grâce aux études des carottes des sondages effectués par la Compagnie Shell (R. Lagaij et F.P. Kopstein, 1964 ; E. Oomkens, 1970), et par la Compagnie nationale pour l'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc (CNARBRL, rapport *Camargue*, 1970).

Il est couramment admis que le niveau marin au cours du Würm a atteint la cote —100 et probablement des cotes encore plus basses. La trace des premiers stationnements marins post-würm a été décelée sur le plateau continental au large des Saintes-Maries (dragages et reconnaissance sismique) (J.C. Aloisi et Ch. Duboul-Razavet, 1974). Les sondages effectués à terre n'ont reconnu que la partie interne de l'épandage deltaïque. Ils ont recoupé au maximum 50 m de sédiments récents (Saintes-Maries). Il faudrait des sondages en mer pour compléter les informations sur le début de la transgression.

Sur les matériaux de sondage, diverses indications sédimentologiques et écologiques ont été utilisées pour caractériser les environnements. J. Barrière (Rapport *Camargue*, 1970) a reconstitué les divers paléo-milieus par des études malacologiques, tandis que les études de la Shell se sont appuyées davantage sur les associations microfaunistiques et sur la logique séquentielle des dépôts (C. Kruit, 1955 ; E. Oomkens, 1970). Grâce à ces outils de caractérisation des paléo-milieus, il a été possible de reconstituer les étapes successives de la transgression flandrienne.

(*) Terme équivalent de celui, anglais, de *beach rock* (cf. également la carte à 1/50 000 Le Grau-du-Roi). Il faut distinguer ces galets de rochers gréseux sous-marins des lames de grès plus ou moins friables interstratifiées dans les sédiments, formées de nos jours dans la zone littorale et étudiées par C. Duboul-Razavet (1955). Suivant cet auteur, ces derniers se formeraient sous l'effet d'un processus *d'ammonisation* d'origine bactérienne entraînant la précipitation de carbonates insolubles, dans la zone de rencontre des eaux lagunaires concentrées en calcium et des eaux marines.

(**) ou souvent dénommée *versillienne* pour le domaine méditerranéen.

Deux grands ensembles ont été distingués dans les terrains recoupés par les sondages (cf. fig. 2) :

— *une série inférieure*, la plus épaisse, coïncidant avec la phase de remontée rapide du niveau marin et où dominent les processus d'ingression marine, ce qui se traduit par un empiètement progressif de la mer sur le domaine continental wurmien (*phase d'onlap* d'E. Oomkens, 1970).

— *une série terminale* mise en place depuis 6 500 B.P., c'est-à-dire durant une période de relative stabilité du niveau marin, ce qui a permis une progression de l'édifice deltaïque au détriment du domaine marin. Ceci s'explique par le fait qu'en période de stabilité du niveau marin (= phase de progradation, ou *d'offlap*), le bilan apport fluviatile/érosion marine devient positif.

Au sein de ces deux grands ensembles ont été reconnues cinq périodes (*Camargue*, 1970). En effet, ainsi que l'a développé E. Oomkens (1970), à chaque stationnement prolongé du niveau marin s'amorce un processus *d'offlap* avec translation horizontale des environnements du continent vers le domaine marin. Ceci se marque par une variation sédimentologique et écologique relativement facile à saisir(*).

Un niveau de stationnement se situe vers —37 à —35 m (soit entre 10 000 et 13 000 B.P.), suivant les datations de la Cie Shell. Il est suivi d'une transgression assez régulière qui s'arrête vers la cote — 29 à — 30 m avec, peut-être, un léger stade régressif (Rapport *Camargue*, 1970). Daté de 10 000 B.P., ce stationnement pourrait correspondre au Dryas récent. Deux autres phases de stationnement apparaissent vers la cote -21,5, datées de 8 100 B.P. (Boréal) et vers 7 500 B.P. (début de l'Atlantique). Les tests coquilliers des cordons les plus internes de la région d'Aigues-Mortes ont donné un âge de 6 560 B.P. ± 90 et de 6 730 ± 120 (Bazille, 1975). Ces premiers cordons auraient été construits au moment du maximum de la transgression flandrienne correspondant à un niveau légèrement supérieur à l'actuel (Denizot, 1961).

A partir de ce moment, compte tenu des faibles oscillations du niveau marin, nous pénétrons dans le domaine des constructions encore visibles ou détectables sur *photos aériennes* et appartenant à l'histoire récente du delta. L'évolution depuis 6 500 B.P. est précisée plus loin (cf. fig. 6).

Description des sédiments holocènes

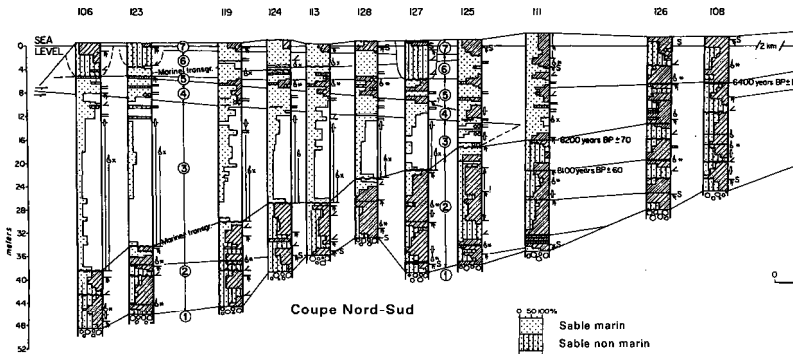
Deux environnements principaux s'opposent au sein du delta : l'environnement marin générateur de cordons sableux, alignés suivant une direction sensiblement est-ouest, et l'environnement fluviatile sécant par rapport au premier, dont les dépôts tendent à éroder, cloisonner, recouvrir et colmater les sédiments antérieurs. Ces deux environnements de base, et tous les intermédiaires qui existent entre ceux-ci, déterminent les divers faciès du delta.

Faciès du domaine littoral

Mz1, Mz2. *Sables de bourrelet de plage et sables légèrement envasés de l'arrière-plage*. Les sables de bourrelet sont très uniformes. Ils sont bien classés. La médiane oscille entre 210 microns et 230 microns. Les valeurs les plus fortes se trouvent dans les zones les plus exposées aux effets de houles et de courant (pointe de Beauduc, embouchure du Petit Rhône). Pour la partie orientale de la feuille, ces sables proviennent essentiellement du tri et du transfert littoral des sédiments amenés par le Grand Rhône, mais également du remaniement de sables de plage en voie d'érosion. Pour la partie occidentale, la contribution due aux apports provenant du Petit Rhône est faible (cf. p. 24) et insuffisante pour compenser les effets de l'érosion marine. De part et d'autre de l'embouchure de ce bras, les sables présentent en haut de plage (rejets de tempête) des galets de *grès de plage* et des fragments de tuiles anciennes aux

(*) Les échantillons du sondage des Frignants (Action concertée de la D.G.R.S.T. Camargue) étant en cours d'étude lors de la rédaction de la présente notice, on se reportera à la notice Arles pour en trouver les principaux résultats (en particulier la palynologie).

Fig. 2 — Corrélations de faciès entre les sondages de la C¹⁸ Shell
(d'après Oomkens, 1970)



Coupe Nord-Sud

Sable marin
 Sable non marin
 Argile marine
 Argile non marine
 Tourbe

Stratification horizontale
 Stratification oblique
 Racines
 Terriers
 Faune saumâtre
 Faune marine
 Paléosol
 Galets de limon

- ① Sommet des cailloutis pléistocènes
 ② Alternance de limons, silts et de lits de sable (milieu saumâtre à palustre)
 ③ Limon à faune marine ; taille des grains croissants vers 4
 ④ Sable, faune marine prédominante
 ⑤ Limons à interlits de sable, faune saumâtre à marine
 ⑥ Sable à faune marine, grains s'affinant vers 7
 ⑦ Limon avec faune saumâtre à palustre

arêtes émoussées. Des débris divers et des bois flottés apportés par les eaux fluviales se mêlent à ces galets. A une certaine distance à l'Ouest de l'embouchure, là où les sables sont bien triés et dépourvus de galets, on observe des concentrations en minéraux lourds (*) sur la pente de la plage exposée aux houles.

En s'éloignant de l'embouchure du Petit Rhône, ces sables contiennent des débris coquilliers de Tellines et, moins fréquemment, de Turritelles.

En arrière du bourrelet de plage existe une zone plus ou moins étendue, fréquemment inondée (en période de pluie et lorsque les vents soufflent au Sud). Cette zone plate est particulièrement développée sur la vaste plage qui s'étend à l'Ouest des Saintes-Maries et plus encore en bordure de la pointe de Beauduc. Là se trouvent des sables (MZ2) de même origine que ceux notés Mz1, un peu moins bien triés, légèrement vaseux. A la pointe de Beauduc, les données granulométriques, suivant un profil perpendiculaire à la plage, se résument ainsi (A. Tal, 1974) :

	Bourrelet	Méplat	Lagune d'arrière plage
Médiane	223		206
Classement (So) (**)	1,230	1,242	1,300
% en lutites	0,2	3,1	7,1

La teneur en carbonate de calcium n'excède guère 20 %.

Mz3. Sables d'anciens cordons littoraux. Ces sables ont des caractéristiques très proches de celles des faciès Mz1 et Mz3.

La surface des anciens cordons se situe généralement à une altitude nettement supérieure à celle du O NGF, excepté dans la zone située au Sud du bois des Rièges. La partie supérieure de ces cordons est formée le plus souvent d'une succession de lits de sable remaniés par le vent. Les débris coquilliers marins y sont très rares et tendent à devenir plus nombreux en s'éloignant du débouché de l'ancien Rhône de Saint-Ferréol. Ces débris coquilliers ainsi que les petits galets sont au contraire fréquents en surface dans le cadre de la feuille Le Grau-du-Roi.

Nous n'avons pas non plus connaissance de cordons à galets ou coquilles en profondeur comme c'est le cas dans le cadre de la carte Istres. C. Toni nous a signalé un cordon remaniant des coquilles (*Pectunculus*) près du mas Icard. Une datation ¹⁴C effectuée récemment (F. Bazille) aurait donné environ 500 ans après J.C.

Le schéma de répartition des anciens cordons et son interprétation ont été étudiés par ailleurs (Kruit, 1955; Bertrand et L'Homer, 1975). L'interprétation des anciens cordons, figurant sur la carte Les Saintes-Maries est donnée plus loin (cf. p. 17 et 20).

MZ4. Sables limoneux de dépressions au sein des cordons. Ces sables se distinguent essentiellement des précédents par un taux de lutite oscillant entre 6 et 20 %. Leur répartition est étroitement liée à la morphologie. Étant situés à une altitude légèrement inférieure à celle des sables MZ3 dont ils forment l'auréole, ces sables sont souvent mêlés aux limons fluviaux ou palustres, ou encore recouverts par ces derniers (zones de colmatage).

(*) Les minéraux lourds ont été étudiés par Andel (1955), Duboul-Razavet (1955). Une liste en est donnée dans la notice explicative de la feuille Istres à 1/50 000 pour les sables des plages proches de l'embouchure du Grand Rhône.

(**) Sorting index de Trask.

RMz3. *Sables remaniés d'anciens cordons*. Sous l'effet des vents violents, les sédiments des bordures des étangs (sables de faciès Mz4, MZ3, NMz) peuvent être érodés par les effets de clapot et redistribués dans les étangs en concourant à leur comblement (au sein des lagunes de Beauduc et dans les lagunes bordant d'anciennes flèches à l'extrémité occidentale du territoire de la feuille).

NMz. *Sables éoliens des dunes littorales*. Les dunes sont surtout développées au voisinage de la côte à la suite du méplat qui borde les plages (flèches de Beauduc, plage des Saintes-Mariés et au Sud du mas de Clamadour). Localement (cabanes du Sablon), l'accumulation de fins tests coquilliers terrestres avec les sables d'origine littorale fait monter le taux de carbonate de calcium à 40 %.

Il existe également un chapelet de dunes de type littoral, fixé par une végétation riche en genévriers, sur l'ancien cordon du bois des Rièges.

Faciès du domaine des étangs salés

LMz1, LMz1s. *Limons argilo-sableux des étangs salés et limons argileux des « Radeaux »*. Reposant généralement sur des sables de faciès MZ4, ces sédiments sont le dernier terme de l'environnement littoral tout en assurant la transition avec l'environnement palustre auquel on passe graduellement par dessalure progressive des eaux. La nature de ces dépôts occupant les zones déprimées varie avec l'environnement. Très fins à dominante limoneuse, dans les étangs, ils contiennent encore une portion notable d'arénites (15 à 30 %) en bordure des cordons littoraux. L'étang de Vaccarès et les étangs situés au Sud ayant toujours été les exutoires de cours d'eau et de canaux de drainage, ce sont les vases limoneuses grises qui y dominent. En surface, la teneur en lutite (\emptyset inférieur à 50 μ) peut y atteindre 92 % au Sud du bois des Rièges. La médiane est environ de 30 microns, la courbe des fréquences cumulées est très proche de celle des limons fluviaux, ce qui souligne le lien de parenté entre les deux sédiments (cf. fig. 3).

En période de hautes eaux, les dépôts de vases peuvent s'accumuler sur les points les plus hauts (rives et radeaux). Ces limons qui supportent une végétation halophile se dessèchent et se tassent en période estivale (basses eaux). Ils sont ensuite entaillés sous l'effet des vagues en *micro-falaises*, formant ainsi la bordure des radeaux. Ces faciès de *schorre*(*) bien reconnaissables en photos aériennes ont été distingués sur la carte (LMz1s). La fraction argileuse de ces limons est constituée d'illite dominante, associée à de la kaolinite, avec une faible proportion d'interstratifiés irréguliers illite-montmorillonite.

LMz2, NLMz2, NLMz3. *Sables coquilliers des étangs*. Dans les étangs salés, la faune est très spécialisée. La microfaune de type méso- à oligo-hyaline comprend seulement quelques espèces d'Ostracodes : *Cyprideis torosa* (rare à abondant), *Loxoconcha elliptica* (rare) avec pour les faciès les plus dessalés *Candona angulata* (rare).

Les Foraminifères le plus souvent représentés sont : *Ammonia tepida* (rare à abondant), *Protoelphidium depressulum* (rare).

C'est sur la base des associations microfaunistiques que C. Kruit (1955) a classé une série d'environnements (***) au sein du delta.

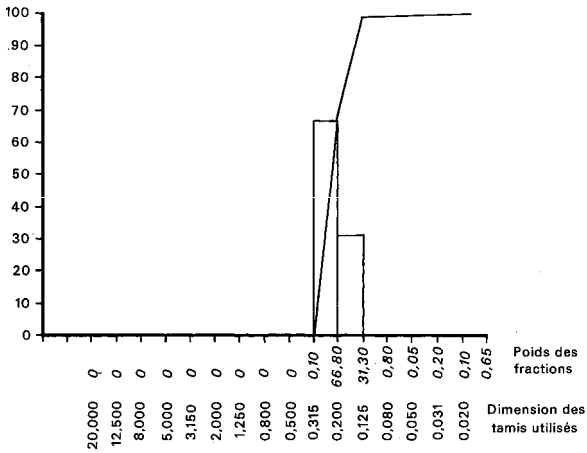
On note également la présence de sables à *Cardium* de petite taille. Les coquilles et leurs débris peuvent s'accumuler en véritables lumachelles le long des digues des étangs ou des îles et radeaux (= faciès LMz2). Le taux de carbonate peut alors atteindre 80 %.

Ces sables de débris de *Cardium* auxquels se mêle un pourcentage variable de sables quartzeux issus de l'érosion d'anciens cordons littoraux se déposent en bordure des

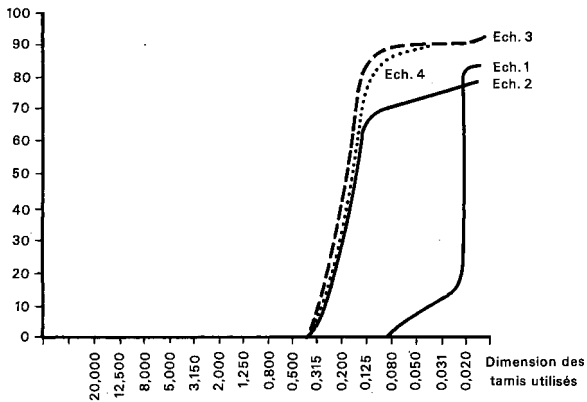
(*) La nature lithologique, tout comme la végétation que supportent ces radeaux, leur donne un aspect très comparable à celui des berges supratidales de fond de baie, dénommées en Hollande *schorre*.

(**) Ces variations de milieu peuvent tout aussi bien se suivre par des études malacologiques (cf. les travaux de J. Barrière qui sont à la base des études de paléo-milieux effectués sur les sondages de la CNARBRL).

Fig. 3 – Courbes granulométriques



Granulométrie d'un échantillon de plage (flèche de Beauduc)



Courbes des fréquences cumulées d'échantillons d'un sondage court (n° 5) dans le Radeau des Romarins montrant l'effet d'envasement des anciens cordons

Ech. 1 : 0,50 m limon gris-bleu

Ech. 2 : 1,00 m sable envasé

Ech. 3 : 1,50 m sable gris-beige de cordon

Ech. 4 : 2,20 m sable gris-noir à fins débris de végétaux

plages d'étang notamment au Sud du Vaccarés où ils constituent des petites flèches sableuses (LMz2), souvent couronnées par des dépôts éoliens de même type (NLMz2). Le taux de carbonate de calcium tourne autour de 45 %.

Un cas particulier d'accumulation éolienne est représenté par un mélange de sables de cordons et de sables à débris de *Cardium*, au bois du Petit Riège (= faciès NLMzc, voir également p. 17).

Faciès du domaine fluviatile. a) Dépôts associés aux eaux douces ou légèrement saumâtres

FzR, Fz1R. **Limons, silts, sables fluviatiles.** Étroitement liés au lit du Petit Rhône (levées fluviatiles) ou aux anciens cours, ces sédiments se sont toujours mis en place en se substituant à un schéma préexistant qu'ils ont effacé ou oblitéré. Les coupes verticales effectuées à travers les levées donnent, de bas en haut : sables fluviatiles, sables et silts limoneux en alternance, silts-limons surmontés de limons plus ou moins silto-micacés. Les sables sont généralement moins bien triés que les sables de cordons ; la médiane se situe en moyenne vers 220 microns. Les limons de crues contiennent jusqu'à 100 % de lutites avec un taux de carbonate allant de 35 à 40 %.

Dépôts liés au Petit Rhône. Les berges inondables (Fz1R) du Petit Rhône sont recouvertes d'une végétation dense sur la partie nord de la feuille ; cette végétation devient très restreinte à l'approche de l'embouchure (tamaris, roseaux).

Le mécanisme des inondations périodiques permettait, avant l'endiguement, l'apport régulier de limons. Latéralement aux levées, ces dépôts fluviatiles décroissent rapidement d'épaisseur et viennent se superposer aux dépôts antérieurs à la venue du fleuve dans le secteur. Compte tenu du contexte sédimentaire antérieur à la déviation du Petit Rhône (cf. p. 24), il est normal de trouver fréquemment la superposition $\frac{FzR}{MZ3}$

ou $\frac{FzR}{MZ4}$.

Plusieurs méandres se remarquent. Les faciès y sont plus riches en sables que dans les levées. La reconnaissance de la partie convexe du méandre situé le plus près du littoral (A. Tal, 1974) a été faite par carotte de 2 mètres. Il s'agit de sable beige à gris, alternant avec des passées argileuses ou argilo-silteuses. La structure consiste en feuilletés inclinés vers le fleuve. La médiane des sables, mal classés, se situe vers 150 microns. En dessous de 0,50 m de profondeur, les limons et les sables deviennent gris-noir.

La composition moyenne des sables est la suivante :

- quartz : 40 à 50 %,
- débris carbonatés : 30 à 40 %,
- feldspath : 10 à 25 %,
- micas : 15 à 20 % (muscovite et biotite parfois altérées en chlorite),
- débris organiques : < 5 %.

Les argiles sont constituées principalement d'illite et de chlorite, accessoirement de kaolinite, d'interstratifiés illite-montmorillonite et peut-être de montmorillonite (échantillons analysés par F. Sommer, laboratoire de la Cie française des Pétroles).

Fz2R, Fz3R. **Limons de colmatage d'anciens bras.** Les limons fluviatiles, au sein des levées, se développent principalement en sommet de séquences. Mais ils peuvent exister sur plusieurs mètres d'épaisseur dans les anciens lits ou diramations (*) du fleuve, par suite de la décantation des eaux turbides. La distinction de ce faciès présente l'avantage de faire nettement apparaître les anciens cours du Rhône (méandres des anciens bras de Saint-Ferréol, d'Ulmet et du Vieux Rhône).

NFzR. **Sables fluviatiles accumulés en dunes.** Ils sont très peu développés sur cette carte. Seule une nappe éolienne arasée, dans le méandre de Saint-Bertrand, peut être

(*) Ramifications fluviatiles dans un delta.

classée dans cette catégorie. Il est probable que les montilles proches du mas de Fiérouse ont été en partie alimentées par les sables fluviaux du Rhône d'Uimet.

Faciès du domaine fluvial. b) Dépôts d'embouchures

FMz1, FMz2. **Limons fluviaux consolidés et limons de colmatage d'anciens bras.** Les débouchés actuels du fleuve subissent ou ont subi en alternance les influences prépondérantes du fleuve (périodes de crues) ou de la mer (élévation du niveau marin par suite de fort vent soufflant du Sud). Les dépôts de levées (FMz1) et surtout les dépôts de colmatage (FMz2) sont sensibles aux influences marines (vases fines très collantes et sulfureuses). Ces dépôts d'embouchures se rencontrent à l'extrémité du cours du Vieux Rhône, englobés de nos jours dans un contexte d'étangs salés.

Faciès du domaine palustre. Secteurs anciennement inondables par les divers bras du Rhône

LFzR. **Limons fluviaux et palustres (faciès mixtes).** En limite des domaines palustre et fluvial, les faciès ne sont pas nécessairement tranchés. Ils accompagnent toujours les bordures du faciès FzR et en particulier les zones de crevasses (*). On observe alors, en sondage, des limons où les deux influences alternent puis se mêlent. Ces limons sont de teinte gris-brun verdâtre, faiblement plastiques.

LFzR. **Limons palustres.** De teinte grise à verdâtre-gris bleuté caractéristique (sulfures de fer réduits), ils sont très plastiques (consistance de pâte à modeler) et contiennent quelques petits Gastéropodes d'eau douce (Hydrobies). Ces dépôts s'accumulent dans les dépressions interfluviales, occupées aujourd'hui par des marais restreints mais qui étaient régulièrement inondés avant l'endiguement du fleuve et l'installation du réseau de canaux de drainage (cf. fig. 4).

Ces dépôts ne sont développés qu'en bordure nord du territoire de la feuille, dans les cuvettes interfluviales les plus anciennes. Ils sont peu épais dans le marais de Sigoulette, où en sondage on peut rencontrer, à une profondeur de 0,6 à 2,00 m, des sables à *Cardium*. Ces limons palustres s'épaississent en direction de la Tête de Camargue (cf. carte Arles).

DÉPÔTS ANTHROPIQUES

X. **Remblais.** Ils sont de faible importance et n'ont été notés que pour la ville des Saintes-Maries-de-la-Mer.

X2. **Limons de drainage.** Il s'agit de dépôts limoneux qui se sont accumulés aux débouchés des principaux canaux de drainage.

XN. **Dunes modifiées par les actions anthropiques.** La comparaison entre des photos aériennes anciennes et récentes met en évidence la disparition d'appareils dunaires (secteur à l'Est de l'embouchure du Petit Rhône).

NATURE DES DÉPÔTS DU GOLFE DES SAINTES-MARIES-DE-LA-MER ()**

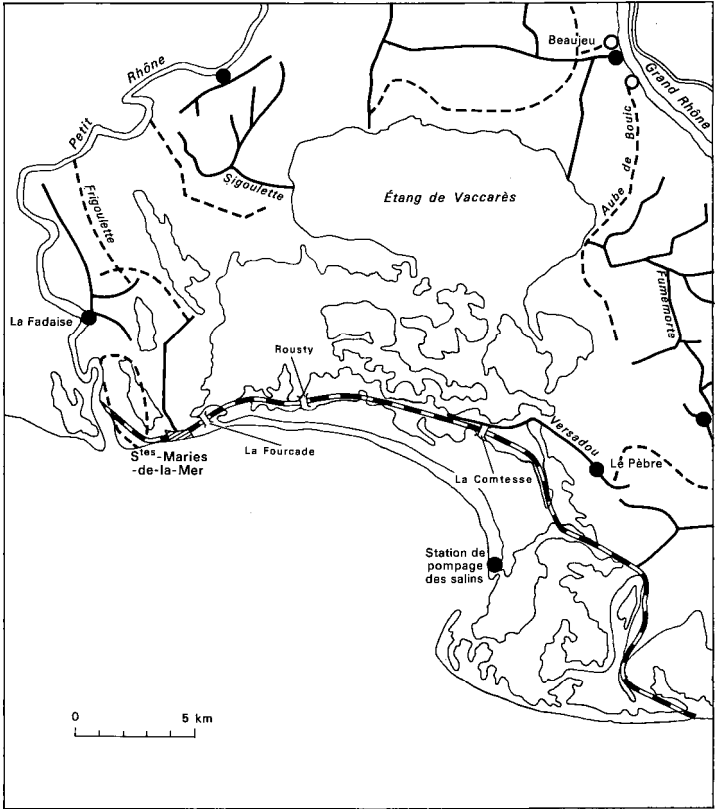
Milieu physique

Le secteur marin de la feuille considérée comprend le golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer et une partie du glacis sous-marin méridional de la pointe de Beauduc.

(*) Terme américain (delta du Mississippi) désignant les petites ramifications latérales formées à l'occasion de ruptures de berges en période de crue.

(**) Des données d'ensemble sur la sédimentation au large du delta du Rhône peuvent être trouvées dans les articles de C. Kruit, 1955 ; L.M.J.U. Van Straaten, 1959 et 1960 ; R. Lagaaij et Y.V. Gautier, 1964 ; J.P. Bertrand et A. L'Homer, 1975.

Fig. 4-Réseau d'irrigation et de drainage



Rapport Camargue, 1970

- Stations de pompage et canaux d'irrigation
- Stations de pompage et canaux d'assainissement
- ▬----- Digue à la mer

Apports terrigènes. Ils sont principalement dus au Petit Rhône qui ne draine que 15 % du débit des eaux du Rhône, ce qui correspondrait à environ 1 à 1,4 t/an de matériaux en suspension (*). De plus, les apports par charriage sont pratiquement inexistantes par suite des aménagements sur le Rhône qui bloquent les sables grossiers et les galets.

Facteurs hydrodynamiques. Le courant général géostrophique se manifeste par un lent déplacement des eaux de l'Est vers l'Ouest, au large du littoral à une vitesse de 0,4 à 0,5 nœud par temps calme ; par contre, le long de la côte camarguaise, se situe le contre-courant *languedocien* dirigé d'Ouest vers l'Est ; en outre, au voisinage de la côte, il existe un régime complexe de courants qui dépendent essentiellement des vents et des houles dominants (NW, W.NW, SE, E.SE, etc.).

La zone du grau d'Orgon et des Saintes-Maries-de-la-Mer, très exposée aux houles dominantes de SW et S.SE, présente des phénomènes d'érosion accélérée, tandis qu'un transfert littoral d'Ouest en Est est responsable du colmatage de l'anse de Beauduc.

Types de fonds

La nature des fonds est schématiquement définie selon la richesse en lutites de la fraction inférieure à 2 mm des sédiments, ainsi que par les aspects bionomiques du sédiment. Les classes granulométriques utilisées sont celles préconisées par le B.R.G.M. (Bureau de recherches géologiques et minières), pour la cartographie des sédiments du plateau continental.

L'évolution sédimentaire des fonds du golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer est sous la dépendance exclusive des apports terrigènes rhodaniens, sur lesquels se développent localement des formations biogènes.

Sables et sablons mobiles du « prisme littoral ». Ce sont des sédiments détritiques, d'origine minérale, très peu bioclastiques. Ils forment une bande étroite au niveau du fond du golfe et prennent une extension considérable en bordure du lobe méridional de la pointe de Beauduc, par suite du démantèlement du corps deltaïque de l'ancien bras du Rhône : le Bras de Fer (XVIII^{ème} siècle), augmenté du lobe de Faraman et de Piémanson plus à l'Est. Il s'agit de sables très fins isométriques, lessivés, passant progressivement à des sablons plus riches en lutites. Ces sédiments, issus des décharges rhodaniennes, sont localement enrichis en minéraux lourds (plages des Saintes-Maries-de-la-Mer, côte de Faraman) et contribuent à l'extension sous-marine des corps deltaïques.

Sables vaseux. Il s'agit d'un sédiment exclusivement minéral, à fraction sablonneuse (0,125— 0,063 mm) dominante. Ils peuvent être assimilés au type de sédiments précédents dans lequel la fraction inférieure à 0,063 mm est présente en proportion supérieure.

On notera une indentation de ces sables vaseux dans l'axe NE—SW du golfe par suite probable d'un axe de lessivage des vases sableuses.

Vases sableuses. Elles couvrent l'aire centrale du golfe des Saintes-Maries-de-la-Mer et colmatent partiellement le fond du golfe à l'abri de la pointe de Beauduc.

On doit différencier deux ensembles dans ces vases sableuses, de part et d'autre d'une ligne joignant le grau d'Orgon à la pointe de Beauduc :

— au *Sud-Ouest de cette ligne*, la fraction grossière est représentée par une forte proportion de coquilles (Turritelles, Dentales, Bivalves) et de débris organiques.

— au *Nord-Est*, le sédiment est exclusivement constitué de pélites et de sablons, les éléments organiques ayant totalement disparu.

Vases à éléments biogènes et vases pures. La fraction *limoneuse* des apports rhodaniens est à l'origine de la sédimentation vaseuse qui se développe d'une part au

(*) Au large, toutefois, les dépôts de vase sont certainement dus pour une grande part aux limons du Grand Rhône transportés par les courants marins.

Nord du golfe, à l'embouchure du Petit Rhône (grau d'Orgon), d'autre part dans la partie méridionale du golfe.

Vases du Petit Rhône. Le dépôt d'un sédiment très riche en lutites semble s'effectuer sur les fonds de vases sableuses qui recouvrent la partie centrale du golfe. Ces vases s'apparentent, par leur teneur en particules fines et par la faune qui leur est associée, au faciès des *vases terrigènes côtières*.

Vases terrigènes côtières du large. Ce type de sédiment (75 à 100 % de lutites) correspond aux fonds circa-littoraux de la basse Camargue et de tout le golfe du Lion. Ce sont des fonds à Turritelles et à Échinodermes. L'étude sédimentologique de ces dépôts montre une origine essentiellement rhodanienne, les *troubles* issus de ce fleuve étant déportés vers l'Ouest par les dérives dominantes et le courant général.

On retrouve également ce type de fonds dans une *cellule de décantation* née à l'abri de la pointe de Beauduc, au Sud du phare de la Gacholle et vraisemblablement liée à un mouvement tourbillonnaire et à une zone de réfraction des vagues incidentes.

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

GÉOLOGIE STRUCTURALE ET PALÉOMORPHOLOGIE

A partir de données géophysiques et de sondages, la topographie anté-pliocène a pu être esquissée dans le delta mettant en évidence l'ampleur de l'érosion pontienne (vastes paléo-vallées) et le comblement par la transgression pliocène (L. Beaufort et *alt.*, 1954). L'effondrement du bassin rhodanien et des abords du delta actuel suppose des réajustements structuraux importants. Il est probable que les sédiments du Pliocène se sont déposés sur le horst actuel des Saintes-Maries (*).

Ces terrains ont été déblayés ensuite lors des grandes débâcles pléistocènes avec la mise en place des nappes de cailloutis du Rhône et de la Durance. Le tracé des isobathes sur la carte fait apparaître dans une certaine mesure les tracés des paléo-vallées avant la transgression flandrienne (*cf.* également le prolongement des courbes isobathes sur les cartes voisines et en particulier sur celle d'Arles).

Aux périodes de bas niveaux marins pléistocènes, les paléo-vallées du Rhône et de la Durance débouchaient sur le plateau continental et ont pu creuser le vaste paléo-canyon qui a été reconnu en sismique (B. Zinsner, ENSPM, 1974).

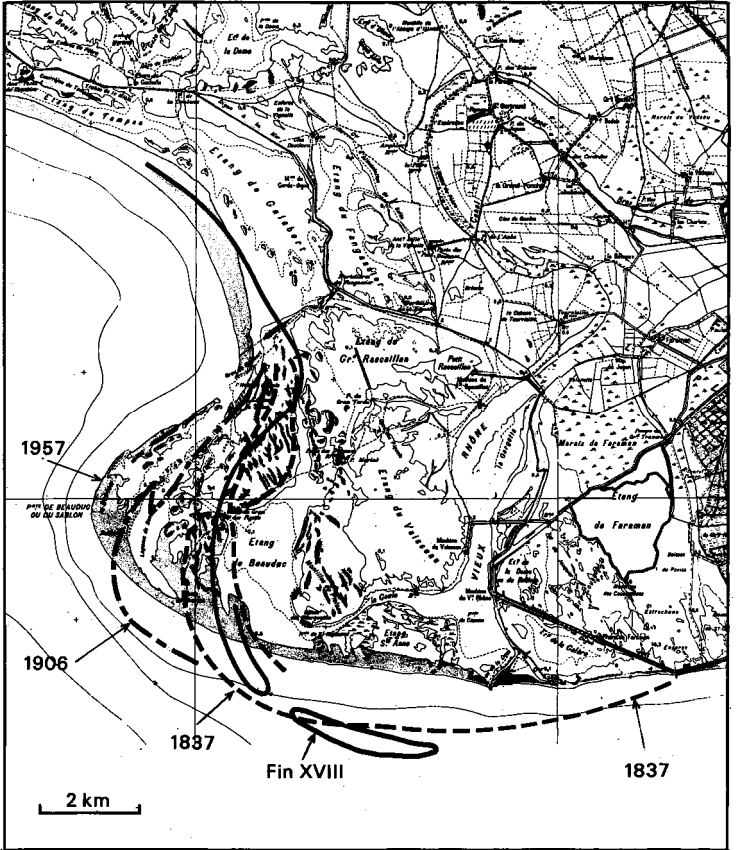
Enfin, l'interprétation des images satellites par M. Guillemot (*cf.* J.P. Bertrand, A. L'Homer, 1975) a montré l'existence de linéaments qui pourraient être en relation avec des traits structuraux. On y remarque en particulier un linéament proche du tracé du Rhône de Saint-Ferréol et qui partagerait le domaine relativement stable de la Camargue de celui où on s'interroge sur l'existence de mouvements négatifs.

DÉTAILS MORPHOLOGIQUES ACTUELS

Dans le secteur situé au débouché méridional du Vaccarès, la répartition des faciès de sables coquilliers (LMz2) n'est pas due au hasard. Elle reflète l'effet conjugué des vents et des courants de sortie des eaux du Vaccarès, en particulier lorsque les vents soufflent du secteur nord.

La position en retrait et l'orientation des dunes du bois du Petit Riège peuvent s'expliquer par l'effet de ces mêmes vents dominants. Les sables dans cette zone ne sont plus abrités par l'île de Mornès. Avant l'envasement récent de l'étang de Monro situé en avant des dunes, celles-ci et le cordon sous-jacent devaient être attaqués par les

(*) Il n'en reste pas moins difficile de déterminer quelle peut être la part des déformations d'âge pléistocène dans la surrection de ce horst.



B — Recul de la côte et report des sédiments sur la flèche de Beauduc

houles comme l'indique la pente beaucoup plus forte sur la face nord. Le cordon initial a donc dû se trouver légèrement plus au Nord ; les produits de son érosion mêlés aux sables à *Cardium* se sont accumulés ensuite en dunes (NLMzc) en position sous le vent.

EROSIONS ET ÉVOLUTIONS DU LITTORAL - ANCIENS COURS DU RHÔNE

La plupart des anciens cordons décelables sur photos aériennes s'élèvent peu par rapport aux terrains environnants (de 0,5 à 2 m). Les cordons, édifiés avant que la transgression flandrienne n'atteigne une position voisine de l'actuelle, sont recouverts par des sédiments postérieurs (sables vaseux des étangs, limons fluviatiles, limons palustres). Le processus de colmatage par des limons fluviatiles et palustres était très actif avant l'endiguement du Rhône.

C. Kruit (1951) a tracé la limite au-delà de laquelle les cordons se rencontrent à plus de 2 m en profondeur. Cette limite se situe de 1 à 2 km au Nord de la limite d'affleurement des cordons les plus anciens. Au-delà, le toit des sables littoraux s'enfoncé très vite.

L'accroissement du delta s'est effectué par l'édification de cordons sableux successifs parallèles. Deux dynamiques essentielles dominent, entraînant la formation de deux types principaux de cordons :

- 1) formation à partir de l'embouchure de barres sableuses groupées en complexes triangulaires, les barres divergeant en se rapprochant de l'axe fluviatile (J.P. Bertrand, A. L'Homer, 1975).
- 2) érosion des dépôts des anciens promontoires deltaïques, transfert des matériaux vers l'Ouest, suivant le littoral, et accumulation en zone abritée des houles dominantes (exemple des flèches successives de la pointe de Beauduc).

Débouché du Vieux Rhône et pointe de Beauduc

Jusqu'en 1711, le Vieux Rhône débouchait au grau de la Dent après avoir parcouru le méandre du Bras de Fer.

Les anciennes cartes indiquent qu'un des bras s'est écoulé tout d'abord vers les étangs de Fangassier et de Galabert (*). La Gaze des Piquets correspond à un petit delta en patte d'oie en relation avec des *crevasses* latérales. Le Vieux Rhône barré à l'Est par les dépôts consécutifs au débouché du Rhône du Grand Passon (*cf.* carte Istres) s'écoulait vers l'Ouest et le Sud par une série de passes isolant des îlots qui en se soudant contribuaient à induire la progression du promontoire deltaïque vers le Sud. A la suite du report de l'embouchure plus à l'Est, l'ancien promontoire a été fortement attaqué, la ligne côtière tendant à devenir rectiligne. Par endroits, le recul de la côte atteint 2 km. Il y a eu dans le même temps transfert de la majeure partie du matériel érodé vers l'Ouest avec la formation de flèches convexes successives qui sont à l'origine de la pointe de Beauduc (*cf.* fig. 5).

Évolution du secteur lié à l'ancien débouché du Rhône de Saint-Ferréol

Formation des cordons. La disposition du Rhône de Saint-Ferréol recoupant perpendiculairement les cordons littoraux au Nord des Saintes-Maries laisse supposer que cet ancien cours du Rhône débouchait déjà, immédiatement au Sud du mas Michel, pendant le maximum de la transgression flandrienne (C. Kruit, 1951), soit vers 6 000 B.P.

Les cordons compris entre l'étang des Fourneaux et le marais de la Sigoulette constituent la terminaison *palmée* des cordons dits de la Sylve Godesque, qui

(*) Ancien bras appelé *le Rageyrol*, indiqué sur la « carte d'une partie de la côte de Provence - dépôt général de la Marine, 1607 » - figure *in* Gautier-Descottes (1876), *cf.* fig. 5.

convergent vers l'Ouest (cf. carte Le Grau-du-Roi). C. Kruit y avait dénombré sept cordons accolés. Les interprétations récentes des images satellites (J.P. Bertrand, M. Guy et A. L'Homer) et les études comparatives de cordons actuels et anciens (J.P. Bertrand et A. L'Homer, 1975) ont permis d'interpréter l'ensemble des barres sableuses divergentes, figurant sur la carte Les Saintes-Maries, comme *d'anciennes barres d'embouchure* (*) édifiées par le Rhône de Saint-Ferréol et dont la partie symétrique existerait, altérée et oblitérée, au sein des étangs situés à l'Est des anciennes levées, ainsi que nous l'expliquons plus loin.

Un examen détaillé de la morphologie des anciennes barres d'embouchure encore bien visibles apporte des informations supplémentaires sur l'histoire récente du delta.

En s'éloignant de l'ancien cours de Saint-Ferréol, on constate que les barres se soudent pour former les cordons. On distingue au moins dix barres élémentaires. Elles apparaissent serrées, coalescentes, à la bordure nord et encore davantage à la bordure sud de ce faisceau de cordons. Les anciennes barres d'embouchures situées entre ces deux bordures sont, au contraire, très écartées, délimitant des triangles occupés par les étangs de Consécanière, de Taute et de Ginès. L'azimut qui est de 335° à l'étang de Consécanière devient 340° sur le bord sud de l'étang de Ginès. Un tel dispositif à barres très écartées peut s'expliquer par une période de progression beaucoup plus rapide du promontoire deltaïque du Rhône de Saint-Ferréol. Une phase de brusque extension tendant vers la forme *delta pointu* peut être liée à un léger abaissement du niveau marin et au fort alluvionnement qui l'accompagne nécessairement par suite du léger recusement du lit entraînant un réajustement du profil d'équilibre (cf. fig. 6). Ce léger abaissement du niveau marin pourrait se situer entre 5 500 et 4 000 B.P. si on se réfère aux découvertes par F. Bazile (1975) d'industries chaséennes près du Grau-du-Roi à une cote nettement inférieure au niveau marin actuel.

La bordure sud du faisceau de cordons est beaucoup plus marquée, les barres sableuses sont sécantes par rapport aux précédentes (azimut d'orientation légèrement différent). Nous les associons à une sensible remontée du niveau marin. La direction du dernier cordon de type barre d'embouchure (le Grand Radeau) ainsi que le développement des étangs des Launes et d'Icard laisserait supposer l'existence d'une nouvelle phase d'extension du promontoire deltaïque avec vraisemblablement déplacement du débouché principal vers l'Ouest. Il a pu donc y avoir plusieurs petites fluctuations du niveau marin depuis l'époque 6 500 B.P.

Cordons de Mornès et du bois des Rièges. L'étude des sables recoupés par de petits sondages à l'île de Mornès, au bois des Rièges et dans les *radeaux* situés plus au Sud, a montré qu'il s'agit bien de sables de barres d'embouchures faisant le pendant de celles dont la morphologie a été bien préservée, à l'Ouest de l'ancien cours du Rhône de Saint-Ferréol. L'estompement des anciens cordons à l'Ouest est en partie dû à l'érosion et au colmatage (limons LMz1) au sein des étangs (étangs de l'Impérial, de Malagroy). Il peut également s'expliquer, ainsi que l'avait déjà supposé C. Kruit (1951), par un léger mouvement négatif du sol dans cette région et intervenu depuis le maximum de la transgression flandrienne. Cet effet négatif, n'affectant apparemment que la partie orientale du delta, a également été invoqué pour la carte Istres.

C'est au Sud du bois des Rièges que se trouvent les restes des dunes appartenant au sommet des cordons situés en position la plus basse (position peut-être encore accentuée par l'effet négatif provoqué auparavant). Nous en faisons les équivalents des cordons encadrant les étangs de Consécanière et Ginès. On retrouve les sables en surface à l'approche du littoral, mais ceci est en partie dû aux effets éoliens liés à la proximité de la ligne de côte.

Toutefois les sables qui s'alignent des environs du phare de la Gacholle à la montille de l'abbaye d'Ulmet pourraient représenter la bordure sud du faisceau de barres. Si on

(*) Même processus de formation que celles du Grand Rhône, de dimensions beaucoup plus réduites.

prolonge cette bordure en direction du Sud-Ouest on a une image approximative de l'extension maximale du promontoire du cours de Saint-Ferréol (cf. fig. 6A).

Régression du Rhône de Saint-Ferréol

La remontée du niveau marin qui a fait suite a dû, à l'inverse, provoquer l'engorgement de l'embouchure avec réaction du fleuve par développement de méandres. De cette époque de remontée du niveau marin, propice aux ruptures de berge, doivent dater les existences du Rhône de Peccaïs et d'Ulmet.

La réduction consécutive du débit du fleuve entraîne une baisse importante de l'alluvionnement. L'élévation du niveau marin provoque, de son côté, une attaque intense de l'ancien promontoire deltaïque qui régresse rapidement tandis que les matériaux érodés sont rejetés à l'Ouest en flèches convexes (*), suivant un processus analogue à celui qui est à l'origine de la formation de la pointe de Beauduc (cf. fig. 6B). Ensuite la côte des Saintes-Maries a continué progressivement à reculer pour rattraper un profil rectiligne.

Les nombreux vestiges grecs et romains trouvés sur les berges du Rhône de Saint-Ferréol tendent à prouver que ce cours était actif à cette époque. Des documents anciens établissent qu'au Moyen-Age ce cours avait encore de l'eau et se jetait au grau de la Fourcade, à l'Est des Saintes-Maries.

Le Rhône d'Ulmet. Ce cours longe le bord est du Vaccarès au Sud de la Capellière. Le Vaccarès en rongant ses rives (cf. les lignes de rivages de 1837) est parvenu à attaquer la levée occidentale de ce cours qui supportait probablement une ancienne route romaine. Ce lit fonctionnait encore à la fondation du lieu en 1194 (G. Denizot, 1959). Certains auteurs pensent que le Rhône d'Ulmet se jetait à la mer vers la plage de la Gachole ou l'étang de Fangassier, point que nous n'avons pas pu vérifier. Un des derniers stades de l'évolution de ce cours a dû voir par contre un débouché dans l'étang du Foumelet. Il existe un curieux méandre complexe en ombrilic autour du marais de Saint-Seren. Cette morphologie est due à un remblaiement des sables au sein du méandre par suite d'un changement de cours. En outre, le méandre est complètement *bouclé* ce qui semble indiquer l'existence d'une évolution vers un court-circuit à la suite d'un encombrement par les sédiments. Les sondages de surface nous ont permis de vérifier qu'il n'y a eu aucune communication entre le Rhône d'Ulmet et le Vieux Rhône.

Le Rhône d'Albaron et de Peccaïs. C'est à une date imprécise, que certains auteurs pensent se situer vers l'an mille avant notre ère, que se serait formé le Rhône d'Albaron devenant le Rhône de Peccaïs dans sa partie terminale. Le débouché de ce bras se situait dans le golfe d'Aigues-Mortes et s'est déplacé en fonction de la progression des cordons (cf. carte Le Grau-du-Roi).

Au début de notre ère, Plinie décrivait trois embouchures qui pourraient coïncider avec les débouchés respectifs du bras d'Ulmet, du bras de Saint-Ferréol et du bras de Peccaïs.

Le Petit Rhône actuel dans sa traversée des cordons entre Château d'Avignon et Sylvéréal emprunte une portion de l'ancien cours du Rhône de Peccaïs.

Au Sud-Ouest de Sylvéréal, le tracé de l'ancien cours décrit une curieuse boucle étranglée qui serpente au milieu du territoire languedocien et entoure le marais de Carapasse (cf. également carte Le Grau-du-Roi). Cette boucle est recoupée par le canal de Sylvéréal. Suivant G. Denizot (1959), le lit fluvial traversait l'étang des Fourneaux alors plus étendu ; le dépôt de ses limons ayant créé un obstacle, le lit d'abord dévié à droite est venu buter sur la bordure des cordons puis s'est moulé dans son trajet de retour sur la berge de l'étang. Le cours, ainsi renvoyé à gauche, a dû reprendre son alignement.

(*) Région de l'étang de Cabri et mas de Clamadour.

Immédiatement au Nord de cette boucle, se trouve la trace d'un des premiers cours du Rhône de Peccaïs ou l'un de ses diverticules débouchant dans la *cuvette stagnale* de l'étang du Lairan à l'Est d'Aigues-Mortes (carte Le Grau-du-Roi).

La dérivation du Petit Rhône. Il semble que le cours du Rhône de Saint-Ferréal ait été artificiellement coupé de sa prise sur le Grand Rhône vers 1440, à la suite de travaux d'endiguement. Le colmatage et l'assèchement de ce bras qui en résulta priva d'eau douce les habitants des Saintes-Maries. C'est pourquoi, en 1552, ceux-ci creusèrent un chenal dans un couloir entre des cordons pour capter le Rhône de Peccaïs à Sylvéreal. Le Petit Rhône dévia son cours (*) et vint déboucher au grau d'Orgon à l'Ouest de la bourgade. L'arrivée artificielle de ce bras contribua alors à retarder l'érosion littorale dans ce secteur. Au débouché du Petit Rhône existait au XVIII^{ème} siècle l'île d'Orgon qui a disparu par la suite (**). Aujourd'hui, les alluvions apportées par le Petit Rhône ne sont plus assez importantes (équipement et régulation du cours du Rhône) pour compenser les effets de l'érosion. La côte attaquée de nouveau a dû être protégée devant les Saintes-Maries (digue et épis). A l'Ouest de l'embouchure du Rhône, là où n'existent pas d'ouvrages de protection, la côte recule régulièrement (cf. les anciens tracés de lignes de rivage).

Des affleurements de vases d'étangs (LMz1), en cours d'érosion, sont visibles sur ce rivage, en particulier à l'Ouest de l'embouchure.

Évolution des étangs. Depuis la construction de la digue à la mer (1855), fermant les communications avec la mer, appelées *graus*, et l'endiguement des cours, ces étangs ont évolué en vase clos, influencés seulement par le rejet des colatures d'irrigation. Les passes à travers les cordons, permettant au Vaccarès de communiquer avec tous les étangs situés plus au Sud, remontent à l'époque où les eaux de mer y étaient poussées sous l'effet de forts vents du secteur sud. Ces passages ont pu également servir à l'écoulement des eaux fluviales qui à diverses reprises s'y sont déversées. Le jeu des vents, qui entraînent des déplacements périodiques des masses d'eau entre les étangs, ont permis le maintien des principaux goulots (Trou de Mon Oncle, passe entre les radeaux de Redonnière et des Romarins).

D'autres sont en voie de colmatage (pas du Renard, pas de Nègue Bœuf).

En dépit de sa faible profondeur, le Vaccarès, par sa vaste superficie, donne prise au vent qui y donne toute sa mesure. Les côtes situées à l'Est et au Nord sont les plus attaquées (cf. le tracé de 1837 reporté sur la carte d'après le « Plan de la Camargue à 1/50 000 » — Bibliothèque nationale). Il faut donc envisager le Vaccarès comme un étang dont la superficie s'est progressivement accrue.

Tout au contraire, le marais de la Sigoulette, à l'origine étang de dimensions plus modestes et enserré entre deux anciens cours, a pu évoluer vers le colmatage. Les dimensions du Vaccarès, le maintien jusqu'en 1855 de communications avec la mer, l'effet possible d'un faible mouvement négatif, n'ont pas permis, pour cet étang, une évolution similaire.

OCCUPATION DU SOL

LES SOLS

Sols de Camargue (d'après P. Marinos, 1968, et études pédologiques de C. Toni, CNARBRL, 1970)

(*) De cette époque, date la régression du cours du Rhône de Peccaïs.

(**) E. Dumas (1876) signalait déjà la disparition de la barre d'Orgon et le recul de la côte dans ce secteur.

Ils sont étroitement liés à la morphologie.

Sols minéraux bruts non climatiques

- *Sols d'apport alluvial* (ségonnaux). Texture : limon sableux et limon légèrement argileux.
- *Sols d'apport colluvial* (colluvions en bordure de dunes). Texture : limon sableux.
- *Sols d'apport éolien* (dunes mobiles des cordons). Texture : limon sableux.

Sols peu évolués non climatiques (légèrement brunifiés)

- *Sol d'apport alluvial* (alluvions d'anciens bras du Rhône mis en culture depuis très longtemps). Texture : limon sableux ou limon légèrement argileux.
- *Sol d'apport éolien* (dunes fixées par la végétation non salées ou plus ou moins salées). Texture : sable.

Sols sodiques

Ce sont les sols les plus répandus en Camargue.

Sols peu salins en surface

- *Sols à végétation plus ou moins halophile* des parties moyennes de levées fluviales. Texture : limon sableux ou limon légèrement argileux.
- *Sols palustres des marais* limités par les divers bras du Rhône. Ils ont une végétation moyennement halophile et à caractère très hygrophile. Leur salinité est influencée soit par les travaux d'assainissement et d'irrigation soit par des dunes. Texture : argile légèrement limoneuse et sableuse à limon argilo-sableux.
- *Sols d'étang salé*. Sables coquilliers. Texture : sable ou limon sableux.

Sols salins en surface

- *Sols des parties moyennes et basses des levées fluviales et zones de transition* avec les bassins d'inondation (végétation halophile). Texture variée : limon sableux, limon argileux ou plus rarement argile limoneuse.
- *Sols palustres (*) du pourtour des bassins d'inondation et des marais*, zone d'évaporation. Ils sont très proches des sols précédents (végétation halophile et très hygrophile). Texture : limon argileux ou argile limoneuse à argile.

Sols très salins

- *Sols des parties basses des bourrelets* alluviaux et des crevasses, proches des cordons littoraux (à végétation halophile). Texture : limon.
- *Sols d'étang saumâtre* et à taches salines : zones desséchées en été des étangs littoraux à efflorescences salines également. Texture : limon argileux.

Sols hydromorphes minéraux ou peu humifères

- *Sols des zones déprimées* dans les axes des anciens cours du Rhône. Texture : limon argileux ou argile limoneuse à argile.
- *Sols palustres* : salés ou en cours de dessalage superficiel (établissement de rizières). Texture : argile limoneuse à argile.
- *Sols hydromorphes des rizières*. Texture : limon sableux, limon légèrement argileux ou limon argileux. Le nivellement nécessaire à l'établissement de la rizière et l'imposition d'un plan d'eau pendant une grande partie de l'année entraînent un dessalage superficiel et créent des conditions réductrices. Les rizières peuvent se développer presque indifféremment sur la plupart des sols de Camargue sauf les plus sableux.

(*) Pratiquement toujours sous une pellicule d'eau.

ARCHÉOLOGIE

Dans des terrains dont la mise en place est postérieure à 6 500 B.P. les données de la préhistoire, de la protohistoire et de l'archéologie présentent une grande importance. Pour une période de temps si court, tout reste antique peut prendre valeur de fossile.

Nous n'avons pas eu connaissance de découverte d'outillage préhistorique. Nous énumérons ci-dessous les principales découvertes archéologiques signalées dans la littérature (F. Benoît, 1936 ; G. Denizot, 1959 ; A. Bernard).

La grande majorité des découvertes se situent sur les bourrelets alluviaux des anciens cours du Rhône ou à proximité immédiate, quelques-unes sur d'anciens cordons.

Les vestiges plus nombreux datant du Bas-Empire témoignent d'une certaine prospérité du delta à cette époque.

Cours du Saint-Ferréol

Les découvertes sont nombreuses pour la partie située entre le Vaccarès et le marais de Grand-Mar (carte Arles).

En particulier, la plage de la Cabassole au Nord de Vaccarès a livré des restes de céramique romaine. Cette plage provient de la destruction des alluvions des levées du Rhône de Saint-Ferréol.

A Carrelet, sur la rive ouest du Vaccarès : site d'une *villa rustica*, présence d'une couche d'époque romaine à 2,60 m sous le sol, soit environ 1 m sous le niveau de la mer. On y a trouvé une quantité importante de scories et de minerai (hypothèse d'atelier de construction navale) et de tessons de céramique du Bas-Empire à 1 m sous le sol.

Un sondage effectué en 1933 aux Saintes-Maries par G. Denizot a révélé la présence d'une couche archéologique à 3 m de profondeur, soit à environ 1 m sous celui de la mer. Des renseignements historiques et la tradition veulent que l'église se soit trouvée au Moyen-Age à une assez grande distance du rivage. Ce dernier se serait *rapproché* de plusieurs centaines de mètres depuis cette époque. Notons, au passage, que ceci cadre bien avec la destruction de l'ancien promontoire du Rhône de Saint-Ferréol.

Ancien tracé du Rhône d'Ulmet - Rive orientale du Vaccarès

Ce bras était certainement actif à l'époque romaine comme en témoignent les nombreux restes qui jalonnent les anciennes levées. Une voie est même située à cette époque sur la rive occidentale.

Dans l'étang du Fournelet : poteries grecques.

De part et d'autre du débouché du canal de Fumemorte, les déblais des plages en voie de recul de la Capellière et de Fiélouse ont révélé des substructions d'édifices avec de la céramique et des monnaies du Bas-Empire.

Au Sud du marais de Grenouillet : fragments de tuiles et de poteries attiques ou campaniennes d'époque pré-romaine.

Un des sites les plus riches se trouve à proximité de la Gachole et de la Comtesse. Il devait y avoir là une entrée importante permettant la communication entre la mer et les étangs de la Dame, du Fournelet, du Vaccarès et permettant aussi de passer dans le Rhône d'Ulmet (un grau d'Ulmet est situé dans les parages par certains auteurs).

Le bras d'Ulmet fut asséché de bonne heure puisque l'abbaye d'Ulmet, élevée dans un bois d'ormeaux, sur ses bords, fut abandonnée dès le XIII^{ème} siècle au bénéfice de Sylvéreal.

Les radeaux des Rièges et de Mornès ont livré quelques tessons.

Les fouilles sont difficiles à effectuer par suite de la cote le plus souvent négative des horizons archéologiques ; la présence d'eau gêne beaucoup les recherches. Quelles que soient les interprétations de cette cote basse des vestiges antiques (effets de tassement, de subsidence du substrat plio-quadernaire, d'élévations du niveau de la mer), une chose reste certaine : c'est que les villas romaines ont été construites sur des

levées fluviales à des cotes comprises entre + 1 et + 2,50 m pour la zone considérée, ce qui représente par rapport aux levées actuelles une dénivellée minimum de — 2 mètres.

LE PARC NATUREL

C'est par décret n° 70-873 du 25 septembre 1970 qu'a été institué le Parc naturel régional de Camargue. Les dispositions le régissant et les objectifs poursuivis sont définis dans la charte constitutive approuvée le 14 mai 1970 par la commission interministérielle des Parcs naturels régionaux.

Le Parc couvre l'ensemble de la Camargue et englobe en particulier, la réserve botanique et zoologique du Vaccarès.

Des dispositions ont été prises, en accord avec les propriétaires camarguais, pour préserver les environnements abritant la flore et la faune typiques de la Camargue.

La station biologique de la Tour-du-Valat a également fortement contribué à la connaissance des données physiques et écologiques de la Camargue.

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

HYDROGÉOLOGIE (*)

L'eau, si abondante à la surface du delta, est généralement, à cause de sa teneur en sel, inutilisable pour les cultures. Dans ces terrains très peu perméables se développe une nappe pratiquement continue toujours très près de la surface. On observe un gradient général de salinité du Nord vers le Sud.

Le dessalage des terres salées, le drainage et le maintien en eau des rizières ont été possibles grâce à un aménagement hydraulique approprié. Il existe donc tout un système de canaux, roubines, égouts, etc. qui sillonnent toute la Camargue, soit greffés sur d'anciens lits du fleuve, soit creusés par l'Homme.

En général, l'eau d'irrigation est prélevée dans le Grand et le Petit Rhône et s'écoule vers les dépressions fermées que sont les marais et par la suite au Vaccarès et aux étangs littoraux (fig. 4).

Ainsi furent aménagés depuis longtemps en roubines d'irrigation l'ancien Rhône de Saint-Ferréol et celui d'Ulmét. Plus récemment au siècle dernier, trois systèmes de canaux d'assainissement ont été ajoutés qui débouchent vers le Vaccarès. Le premier évacue les eaux de tout le Nord dans la dépression de Rousty, des Salières et de la Grand-Mar (feuille Arles). La Fumemorte et la Sigoulette drainent respectivement les zones est et ouest du Vaccarès.

A ce système, il faut ajouter une foule de roubines, égouts et fossés d'intérêt local et secondaire.

Le réseau artificiel a été amélioré et modernisé depuis l'essor de la riziculture.

La nappe apparaît en fait constituée de lentilles d'eau douce alimentées par les irrigations, voire par d'anciens bras fluviales, et reposant sur des eaux salées sous-jacentes. La faible perméabilité des terrains permet d'expliquer le maintien de lentilles d'eau douce isolées, en particulier à la base de certains appareils dunaires, ce qui suffit pour alimenter la végétation qu'ils supportent (ex. : bois des Rièges).

L'accroissement de volume des colatures dues au développement de la riziculture et rejetées dans le Vaccarès avait entraîné un déséquilibre des environnements (accroissement des roselières). Pour la sauvegarde des équilibres au sein de la Réserve et du Parc naturel, une partie des eaux de drainage est à présent refoulée dans le Grand Rhône et le Petit Rhône.

(*) Données empruntées en majeure partie à P. Marinos (1968). Pour plus de détails voir également le rapport *Camargue* de la CNARBRL (1970) et les travaux de P. Heurteaux.

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

DOCUMENTS CONSULTÉS

Cartes

- **Cartes géologiques**

- Carte géologique détaillée de la France à 1/80 000
Arles et La Couronne, 1ère édition, 1889 ;
Arles, 2ème édition, 1940 et 3ème édition, 1969.
- Carte sédimentologique, *in* Kruit (1955).

- **Autres cartes thématiques**

- Carte géologique du précontinent languedocien - 1972 (Aloisi *et alt.*).
- Carte géomorphologique à 1/50 000 (CNARBRL-DDA des Bouches-du-Rhône) -1970 *in* Rapport *Camargue*.
- Carte des sols à 1/20 000 (DDA des Bouches-du-Rhône et CNARBRL), 1970 :
Feuille 2 — Saintes-Maries-de-la-Mer,
Feuille 3 — Vaccarès,
Feuille 4 — Salin-de-Giraud.
- Carte de la végétation et des sols à 1/250 000.
- Carte du Parc régional de Camargue (IGN), 1974.
- Cartes anciennes (Bibliothèque nationale).

Documents photographiques aériens

- Mission Nîmes—Camargue, 1942,
- Mission Nîmes—Saintes-Maries-de-la-Mer, 1953, XXIX-44,
- Mission Nîmes—Saintes-Maries-de-la-Mer, 1962,
- Images satellites NASA-ERTS.A - 1078 - 09564 - 7 - 02 (MSS 5, 6, 7).

BIBLIOGRAPHIE

- ALOISI J.-C. *et alt.* (1972) — Carte géologique du précontinent languedocien du cap de Leucate à la pointe de Beauduc. *In* Leenhardt O. : doc. présentés à l'occasion de la 6ème conf. technique int. Inst. for Aerial Surv. and Earth Sci., Ottawa.
- ALOISI J.-C., MONACO A., THOMMERET J. et THOMMERET Y. (1974) - Interprétation paléogéographique du plateau continental languedocien dans le cadre du golfe du Lion. Analyse comparée des données sismiques, sédimentologiques et radiométriques concernant le Quaternaire récent. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam.*, v. 16, fasc. 5.
- ALOISI J.-C., DUBOUL-RAZAVET C.-A. (1974) - Deux exemples de sédimentation deltaïque actuelle en Méditerranée : les deltas du Rhône et de l'Ebre. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, n° 8-1, p. 227-240, 5 fig.
- ALOISI J.-C., CAUWET G., GADEL F., GOT H., MONACO A., PAGNON M., VILE F. (1975) — Sédimentologie et géochimie des dépôts superficiels du golfe du Lion septentrional. Participation du Rhône à l'alluvionnement récent. Com. orale, 3ème Réun. Sc. de la Terre. Montpellier.
- ANDEL Tj. H. van (1950) — Provenance, transport and deposition of the Rhône sediments. Thèse, Wageningen.

- ANDEL Tj. H. van (1955) — Sediments of the Rhône delta, II. Sources and deposition of heavy minerals. Ed. Mouton and Co's, Gravenhage.
- BAZILE F. (1975) — Nouvelles données sur l'âge des cordons littoraux du golfe d'Aigues-Mortes. Numéro spécial, *Sté languedocienne de Géographie*.
- BEAUFORT L., BRUNEAU J., CRÉPIN A. et JULLIAN Y. (1954) - Ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène en Camargue. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (6), IV, p. 174-184.
- BENOIT F. (1938) — Les civilisations anciennes de la Camargue. *Le Chêne*, n°16, p. 16-33.
- BENOIT F. (1940) — Le delta du Rhône à l'époque grecque. *Rev. Et. anciennes*, n° 42, p. 567-572.
- BERTRAND J.-P., L'HOMER A. (1975) - Le delta du Rhône. Guide d'excursion. IXème Cong. int. sédim. — Nice.
- BLANC J.-J. (1974) — La sédimentation sur le précontinent de Provence et ses modalités. Comparaisons avec d'autres secteurs de la Méditerranée. *Bull. B.R.G.M.*, 2ème s., sec. IV, n°3, p. 133-163.
- BLANC-VERNET L. (1969) - Contribution à l'étude des Foraminifères de la Méditerranée. Thèse. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, t. 64, n° 48,315 p.
- BONNET A. (1953) — Note préliminaire sur le Quaternaire de Camargue. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, (6) III, p. 277-281.
- BONNET A. (1962) — Note sur la liaison entre les tectoniques superficielles et profondes de la Camargue. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, t. LIX, n° 269.
- BOURDIER F. (1961) - Le bassin du Rhône au Quaternaire. Thèse C.N.R.S..
- CAMARGUE (1970) — Étude hydrogéologique, pédologique et de salinité. Dir. Dép. agriculture et Cie Nale Aménag. rég. Bas-Rhône et Languedoc. Rapport collectif en plusieurs volumes.
- CHAMLEY H. (1964) — Remarques sur les minéraux argileux des sédiments fluviaux et marins de la région du Bas-Rhône. *Rec. Trav. St. mar. Endoume*, Bull. 34, fasc. 50, p. 263-270.
- CLAUZON G. (1974) — L'hypothèse eustatique et le creusement prépliocène de la vallée du Rhône. *Ann. de Géogr.*, n°456, LXXXIIIème an., p. 129-140.
- CLOS-ARLEUDUC A. (1965) - Les formes pré littorales sur la côte de Provence. *Corn. Trav. hist. sc. - Ac. 90ème Congr. nat. Soc. sav.*, Nice, sec. géogr., p. 67-79.
- DENIZOT G. (1934) — Un sondage archéologique aux Saintes-Maries. 7ème Congr. et Fêtes du Rhône, Marseille, p. 353-356.
- DENIZOT G. (1959) — Le rivage de Provence et de Languedoc au temps des Ligures. II. Les Bouches-du-Rhône et la côte languedocienne. *Extr. Rev. Et. ligures*, XXV an., n° 1-2.

- DENIZOT G. (1961) — Les côtes de France et en particulier du golfe du Lion depuis 6 000 ans. Act. 86ème Congr. Soc. sav. Paris et départ., Montpellier, p. 145-151.
- DESJARDINS E. (1816) — Aperçu historique sur les embouchures du Rhône. Paris.
- DUBOUL-RAZAVET C. (1955) - Contribution à l'étude du delta du Rhône. Thèse. *Mémoire Soc. géol. Fr.*, t. 35, n° 76, 234 p., 5 pl.
- DUMAS E. (1876) — Statistiques géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard. Paris, éditions A. Bertrand, 2 vol.
- FRANÇOIS L. (1937) - Étude sur l'évolution actuelle des côtes de Camargue. *Ét. rhodaniennes*, t. 12, n° 2-3, p. 92.
- GAUTIER-DESCOTTES A. (1879) - Formation de la Camargue. Bouches-du-Rhône à travers divers âges. Seguin éd., Avignon.
- GAUTIER Y. (1957) — Recherches sur les biocoenoses benthiques des côtes de Camargue et du golfe de Fos. *Rec. Trav. Station mar. Endoume*, p. 55-64.
- GEORGE P. (1943) — Essai de synthèse de l'histoire morphologique des pays du Bas-Rhône et du Bas-Languedoc au Pliocène et au Quaternaire. *Ét. rhodaniennes*, XIX, n° 3.
- GÉRIN-RICARD, Comte M.-H. de (1934) - La Camargue dans l'Antiquité : remarques et fouilles récentes. 7ème Cong. et Fêtes du Rhône, Marseille, p. 357-380.
- GOVERNENT C. (1965) — Recherche d'un gîte aquifère en vue de l'alimentation en eau potable des Saintes-Maries-de-la-Mer. Ministère de la construction.
- GUY M. (1973) — La complexité de la sédimentation holocène dans le delta du Rhône. *Rev. Photo interprétation*, 73-1, 6-7-8, p. 35-47.
- HEURTEAUX P. (1964) — Première étape vers l'établissement du bilan hydrologique de la Camargue ; étude expérimentale du bilan de l'eau des rizières. *La Terre et la Vie*, n° 3, p. 269-293 et *Stat. biol. Tour du Valat* 9ème et 10ème C.R. activité et recueil des Trav. 1962 et 1963.
- HEURTEAUX P. (1969) — Recherches sur les rapports des eaux souterraines avec les eaux de surface (étangs, marais, rizières). Les sols halomorphes et la végétation en Camargue. Thèse, Montpellier.
- KRUIT C. (1951) — Aperçu de l'histoire récente du delta du Rhône. 3ème Congrès Sédim., Groningen, Wageningen, p. 181-191.
- KRUIT C. (1955) — Sediments of the Rhone delta - 1 - Grain size and microfaune. *Verhand. Konink. Neder. Geol. Mijnbouw.*, Deel XV BL2, 357-956.
- LAGAAIJ R. and KOPSTEIN F.P.H.W. (1964) - Typical features of a fluvio-marine offlap sequence. In *Deltaic and shallow marine deposits*. L.M.J.U. Van Straaten Ed., sixth Internat. Sedim. Congr., 1963, Proc. Amsterdam. Elsevier Publishing Company, p. 216-226, Text., Fig. 1-4.

- MARINOS P. (1968) - Note préliminaire sur la géologie et l'hydrologie de l'étang du Vaccarès en Camargue. B.Rh.L., non diffusé.
- MARS P. (1961) — Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. Thèse, Fac. Sc. Univ. Paris.
- OLDHAM R.D. (1925) - The Portolan maps of the Rhone delta. *Geogr. Journ.*, v. 65, p. 403-428.
- OOMKENS E. (1970) — Depositional sequences and sand distribution in the post-glacial Rhone delta complex. In Deltaic sedimentation. Soc. of Ec. Pal. and Min., special publication n° 15, p. 198-212.
- PAULUS M. (1949) — Malacologie marine et saumâtre de la Camargue. Thèse Marseille.
- PINEAU H. (1964) — L'évolution topographique du delta du Rhône appliquée à la résolution de problèmes historiques. Colloque international d'Archéologie aérienne, 31 août-3 septembre 1963, Sevpen.
- RUSSEL R.J. (1942) — Geomorphology of the Rhone delta. *Ann. Ass. Amer. Geogr.*, v.32, n°2, p. 149-254.
- SCHACHTER D. (1949) - Contribution à l'étude écologique de la Camargue. Thèse, Fac. Sc. Univ. Paris, p. 1-108.
- SCHACHTER D. (1958) — Nouvelles données sur l'évolution de quelques étangs du delta du Rhône. C.R. 89ème Congr. Soc. sav. Paris et départ., Aix et Marseille, p. 519-520.
- STRAATEN L.M.J.U. van (1957a) - Dépôts sableux récents du littoral des Pays-Bas et du delta du Rhône. *Geol. Mijnb.*, 19ème Jaargang, p. 196-213.
- STRAATEN L.M.J.U. van (1957b) - Recent sandstones on the coast of the Netherlands and of the Rhone delta. *Geol. Mijnb.*, new ser., v. 19, p. 196-213.
- STRAATEN L.M.J.U. van (1959) — Littoral and submarine morphology of the Rhone delta. Second coastal Geogr. Conf. Baton Rouge Proc. (Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Council). p. 233-264.

DOCUMENTS CONSULTABLES

- La Banque des données du sous-sol du B.R.G.M. détient l'inventaire des sondages et autres travaux souterrains exécutés dans le périmètre de la feuille et archive régulièrement les nouveaux travaux. Les documents peuvent être consultés :
- pour les Bouches-du-Rhône, au S.G.R. Provence-Corse, Domaine de Luminy, Route Léon-Lachamp, 13009 Marseille ;
 - pour le Gard, au S.G.R. Languedoc-Roussillon, Mas Jausserand, rue de Jausserand, La Pompignane, 34000 Montpellier ;
 - au B.R.G.M., 17-19, rue de la Croix-Nivert, 75015 Paris.

AUTEURS

Cette notice explicative a été établie par A. L'HOMER. La partie concernant les fonds marins a été rédigée par P. CLAIREFOND.

COUPES RÉSUMÉES DES SONDAGES

N° archilage S.G.N.	Désignation	Coordonnées Lambert		Altitude		Profondeur totale en m	Formations traversées	Age des formations
		x	y	zs	zt			
1018-1-4	Mas du Roure (4)	766,994	140,605	+ 0,76		35,70	alluvions modernes	
1018-1-62	Stes-Maries 1A (Shell 113)	767,037	137,998	+ 0,29	+ 1,19	36,50	sables et limons	Holocène
1018-1-63	Stes-Maries 1C (Shell 124)	766,893	136,515	+ 1	+ 1,90	39,09	sables et limons	Holocène
1018-2-5	Stes-Maries 2B	767,395	141,175	+ 0,5		34,03	sables et limons	
1018-2-6	Stes-Maries 2C (Shell 127)	768,410	141,175	+ 1	+ 1,90	39,33	sables et limons	Holocène
1018-2-7	Les Frignants (CNARBRL - S1)	774,150	137,780	+ 0,50		47,00	sables et limons Cailloutis à partir de - 42,20	Holocène Villafranchien
1018-3-1	Vaccarès (CNARBRL - S9)	779,000	138,300	+ 1,55		30,40	sables et limons	Holocène
1018-4-1	Mas du Grand Romieu (Shell 110B)	784,948	142,098	+ 1,01	+ 1,96	30,80	sables et limons	Holocène
1018-4-2	La Capellière (CNARBRL - S4)	786,490	139,970	+ 0,27		32,00	sables et limons marnes et cailloutis à partir de - 27,43	Holocène Villafranchien ?
1018-4-3	Fiérouse (CNARBRL - S5)	784,500	136,230	+ 0,12		42,10	sables, limons, galets cailloutis	Holocène Villafranchien ?
1018-5-1	Stes-Maries	767,060	130,140	+ 0,50		70,40	sables et limons galets et sables à partir de - 66,80	Holocène Villafranchien ?
1018-6-4	Stes-Maries 6A (Shell 123)	768,110	131,969	+ 0,50		47,00	sables et limons	Holocène
1018-6-5	Stes-Maries 5A (Shell 106)	767,691	129,924	+ 0,50		49,70	sables et limons	Holocène
1018-8-1	Le Grand Ponche 8b (Shell 107)	788,202	130,082	+ 0,55		40,60	sables et limons	Holocène
1018-8-2	Stes-Maries 8b (Shell 107 bis)	788,250	130,200	+ 2,00	+ 2,90	40,35	sables et limons	Holocène
1018-8-3	Stes-Maries 8c (Shell 117)	782,950	126,450	+ 0,40	+ 1,30	30,10	sables et limons	Holocène
1018-7-bis-2	Stes-Maries 8bis A (Shell 116)	782,175	121,150	+ 0,50	+ 1,40		sables et limons	Holocène
1018-8bis-1	Beauduc A	784,874	121,665	+ 1,30		1423,30	0 m - 52 m 52 m - 894 m 894 m - 1136 m 1136 m - 1338 m 1338 m - 1423,30 m	Quaternaire Pliocène Mioène Albien Urgonien

