



GEOLOGIE GRENOBLE UJF



D 050 030433 7

Docteur Ingénieur
N° d'ordre:

MARINOS (P.)
Volume II

UNIVERSITE DE GRENOBLE
Faculté des Sciences

ETUDES GEOLOGIQUES D'AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES
DANS LE LAURAGAIS (volume I)

ETUDES HYDROGEOLOGIQUES EN CAMARGUE (volume II)

par Paul MARINOS

19 DEC. 1969

Thèse présentée pour obtenir le grade
de DOCTEUR INGENIEUR

VOLUME II



Soutenue le

Jury: MM

Invité

R.BARBIER
R.MICHEL

J.SARROT-REYNAULD

G.CHEYLAN

Commission d'Examen

Professeur Président
Professeur

Examineurs

Professeur
sans chaire

Ingénieur Principal

(chef de la section géologie)
de la Compagnie Nationale d'Aménagement
de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.48.42

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Les pages 2, 4, 6, 26, 28, 30, 78, 82, 84

correspondent à des versos blancs de l'é-

dition finale.

Docteur Ingénieur
N° d'ordre:

UNIVERSITE DE GRENOBLE
Faculté des Sciences

ETUDES GEOLOGIQUES D'AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES
DANS LE LAURAGAIS (volume I)

ETUDES HYDROGEOLOGIQUES EN CAMARGUE (volume II)

par Paul MARINOS

UNIVERSITE DE GRENOBLE
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
E 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.43

Thèse présentée pour obtenir le grade
de DOCTEUR INGENIEUR

VOLUME II

Soutenu le devant la Commission d'Examen

Jury:	MM	R.BARBIER	Professeur	Président
		R.MICHEL	Professeur	Examineurs
		J.SARROT-REYNAULD	Professeur sans chaire	
Invité		G.CHEYLAN	Ingénieur Principal	
		(chef de la section géologie) de la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc		

10145352

SOMMAIRE DU VOLUME II

ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES EN CAMARGUE

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE - C A D R E G É N É R A L

CHAPITRE I - GÉNÉRALITÉS

Le Cadre géographique

Ce qu'est un delta

CHAPITRE II - L'ENVIRONNEMENT

L'aspect du pays - Morphologie

Les formes de terrains

L'influence de l'homme dans l'évolution morphologique

Le réseau hydrographique

Les conditions climatiques

Le milieu agricole

DEUXIEME PARTIE - ETUDES GÉOLOGIQUES

HISTORIQUE

CHAPITRE III - SÉDIMENTOLOGIE ET ÉVOLUTION ACTUELLE DU DELTA DU RHONE

Sédimentation littorale

Sédimentation à l'intérieur du delta

Les cordons

Les anciens chenaux du Rhône

Les étangs - Les marais

Données granulométriques

CHAPITRE IV - ETUDE GÉOLOGIQUE

Introduction - Histoire ante-pliocène

Le substratum du Quaternaire de la Camargue

le Plaisancien

l'Astien

l'ampleur du comblement - Pliocène

le Quaternaire caillouteux (Pléistocène)

les hautes terrasses de la Costière de Nîmes

la plaine de Beaucaire

la Crau

le Pléistocène en Camargue

Connaissances antérieures

Le cailloutis - Résultat de nos sondages

Enseignements apportés par l'étude des coupes des sondages

Structure de la surface du cailloutis s.l.

Les dépôts fins du Quaternaire récent et actuel (Holocène)

Connaissances antérieures - Introduction

Résultats de l'étude faunistique des sondages exécutés pour la présente étude

Conclusions générales sur l'étude faunistique de l'Holocène de la Camargue

Tectonique

tectonique anté-pliocène

tectonique plio-quaternaire

CHAPITRE V - LES SOLS

TROISIEME PARTIE - ETUDES HYDROGÉOLOGIQUES

CHAPITRE VI - MÉTHODE D'ÉTUDE

Puits

Piézomètres

Les analyses chimiques

Les sondages profonds

L'étude géophysique

CHAPITRE VII - HYDROLOGIE DE SURFACE

Le Rhône

Les rizières

Les canaux

Étangs

Le Vaccarès

Marais

Conclusions

CHAPITRE VIII - LA NAPPE DES FORMATIONS FINES DU QUATERNAIRE RÉCENT

Considérations générales

Lois de circulation - Influences des facteurs extérieurs - données d'ensemble

Forme générale de la nappe - morphologie de la surface piézométrique

Évolution de la nappe dans le temps - Influence des facteurs extérieurs

Profondeur de la nappe

Alimentation

Relation de la nappe avec le Vaccarès

La nappe phréatique en profondeur

Salinité de la nappe

Introduction

Zonéographie de la salinité de la nappe phréatique

variations saisonnières de la salinité - Influences des facteurs extérieurs

la salinité en profondeur

CHAPITRE IX - LA NAPPE EN CHARGE DU CAILLOUTIS s.l.

Introduction

La nappe - son importance - Alimentation

Salinité de la nappe de cailloutis

LISTES DES FIGURES

- Fig. 1 - Le delta du Rhône - Cadre général
- Fig. 2 - Carte hypsométrique de la Camargue
- Fig. 3 - Régime du Rhône à Beaucaire
- Fig. 4 - Le Rhône à Arles (Trinquetaille) en 1967-1968
- Fig. 5 - Distribution du réseau hydrographique naturel (Bras, marais, étangs) et des dunes et cordons dunaires
- Fig. 6-7 - Relations bourrelet-marais
- Fig. 8 - Schéma de distribution du réseau hydrographique artificiel
- Fig. 9 - Régime des vents en Camargue
- Fig. 10 - Comparaison des précipitations moyennes mensuelles en Camargue (1951-1965)
- Fig. 11 - Les précipitations pendant la durée des études
- Fig. 12 - Schéma comparatif des précipitations et évaporations (1936-1943)
- Fig. 13 - Évolution de l'embouchure du Grand Rhône
- Fig. 14 - Évolution récente et actuelle du littoral camarguais
- Fig. 15 - Extension du Pliocène dans la région du Bas-Rhône
- Fig. 16 - Faciès du Pliocène et du Quaternaire en Costière et Vistrenque
- Fig. 17 - Esquisse du soubassement pliocène et interprétation de la morphologie pontienne
- Fig. 18 - Esquisse géologique de la Crau
- Fig. 19 - La Durance a) à l'extrême fin du Pontien
b) au Quaternaire lorsqu'elle arrosait la Crau
- Fig. 20 - Les anciens cours de la Durance
- Fig. 21 à 30 - Sondage de reconnaissance et biotope
- Fig. 31 - Profils géophysiques
- Fig. 32 - Schéma paléogéographique - répartition et origine des niveaux caillouteux en Camargue à la fin du dépôt caillouteux
- Fig. 33 - Schéma tectonique du Bas-Rhône
- Fig. 34 - Exemple des diagrammes de résistivité
- Fig. 35 - 36 - Profils en long et remontées des langues salées dans le Grand et le Petit Rhône

Fig. 37 - Schéma de répartition des rizières en Haute et Moyenne Camargue

Fig. 38 - Implantation des points de prélèvement d'eau de surface

Fig. 39 à 48 - Sondages de reconnaissance - importance de la nappe et salinité

Fig. 49 - Salinité de la nappe en charge du cailloutis (s.l.)

LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE

(1/50 000)

- Planche I - Esquisse géomorphologique de la Haute et moyenne Camargue
- Planche II - Structure de la surface du cailloutis s.l. de la Camargue - interprétation non tectonique première synthèse
- Planche III - Structure de la surface du cailloutis s.l. de la Camargue - interprétation tectonique première synthèse
- Planche IV - Structure de la surface du cailloutis s.l. de la Camargue - interprétation non tectonique deuxième synthèse
- Planche V - Structure de la surface du cailloutis s.l. de la Camargue - interprétation tectonique deuxième synthèse
- Planche VI - Carte d'implantation des points d'eau
- Planche VII - Nappe phréatique - Carte des courbes isopiézométriques (Mars-Avril-Mai 1968)
- Planche VIII - Nappe phréatique - Carte des courbes isopiézométriques (Juin-Juillet-Août 1968)
- Planche IX - Nappe phréatique - Carte des courbes isopiézométriques (Sept.-Oct.-Nov. 1968)
- Planche X - Nappe phréatique - Carte des courbes isopiézométriques (Déc. 1968- Janv.- Fév. 1969)
- Planche XI - Salinité de la nappe phréatique - niveau moyen (6-10 m) - (Mars-Avril-Mai 1968)
- Planche XII - Salinité de la nappe phréatique - niveau supérieur (Mars-Avril-Mai 1968)
- Planche XIII - Salinité de la nappe phréatique - niveau moyen (6-10 m) - (Juin-Juillet-Août 1968)
- Planche XIV - Salinité de la nappe phréatique - niveau supérieur (Juin-Juillet-Août 1968)
- Planche XV - Salinité de la nappe phréatique - niveau moyen (6-10 m) - (Sept.-Oct.-Nov. 1968)
- Planche XVI - Salinité de la nappe phréatique - niveau supérieur (sept.-Oct.-Nov. 1968)
- Planche XVII - Salinité de la nappe phréatique - niveau moyen (6-10 m)-(Déc. 1968- Janv. Fév. 1969)
- Planche XVIII - Salinité de la nappe phréatique - niveau supérieur (Déc. 1968 - Janv. Février 1969)

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'aménagement du parc naturel régional en Camargue, la Direction Départementale de l'Agriculture des Bouches-du-Rhône a chargé la Compagnie Nationale d' Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc de l'étude des conditions géologiques, hydrogéologiques, hydrauliques et pédologiques de ce pays.

Nous avons pour notre part à examiner la géologie et l'hydrogéologie superficielle et profonde du delta : Ce sont les résultats de cette étude que nous consignons dans ce travail. Dans ce qui suit, nous avons peut être insisté plus sur la partie géologique et l'avons cru utile vu l'importance des renseignements apportés par les travaux de sondages et la géophysique.

Nous tenons à renouveler nos remerciements à la Direction de la Compagnie et en particulier à Monsieur DELORD, Ingénieur en Chef du Génie Rural, pour l'aide incessante qu'il nous a accordé. A Monsieur G. CHEYLAN, Ingénieur principal, chef de la section Géologie ira à nouveau toute notre gratitude et reconnaissance pour les conseils et l'aide efficace sans cesse renouvelés qu'il nous a prodigués et qu'il veuille bien à nouveau accepter ici nos remerciements reconnaissants.

Nous devons tout spécialement remercier la Direction du Service Etude des Sols de la Compagnie Nationale et tout particulièrement Messieurs C. TONI et J. BARRIERE pédologues pour leur collaboration et leur aide amicale.

Nous voudrions renouveler nos remerciements très amicaux à Messieurs Ph. MARCHAND, H. PANNUZZI, C. NODIN, J.M BAROUSSE de la section Géologie pour leur participation aussi efficace et active dans la présentation de ce travail, remercier Mesdemoiselles Y. FRANCE et M. PASCUAL pour le travail d'imprimerie ainsi que le secrétariat du Service pour le travail dactylographique et qui ont bien voulu nous consacrer de nombreuses heures en dehors du service.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

PREMIERE PARTIE

CADRE GÉNÉRAL

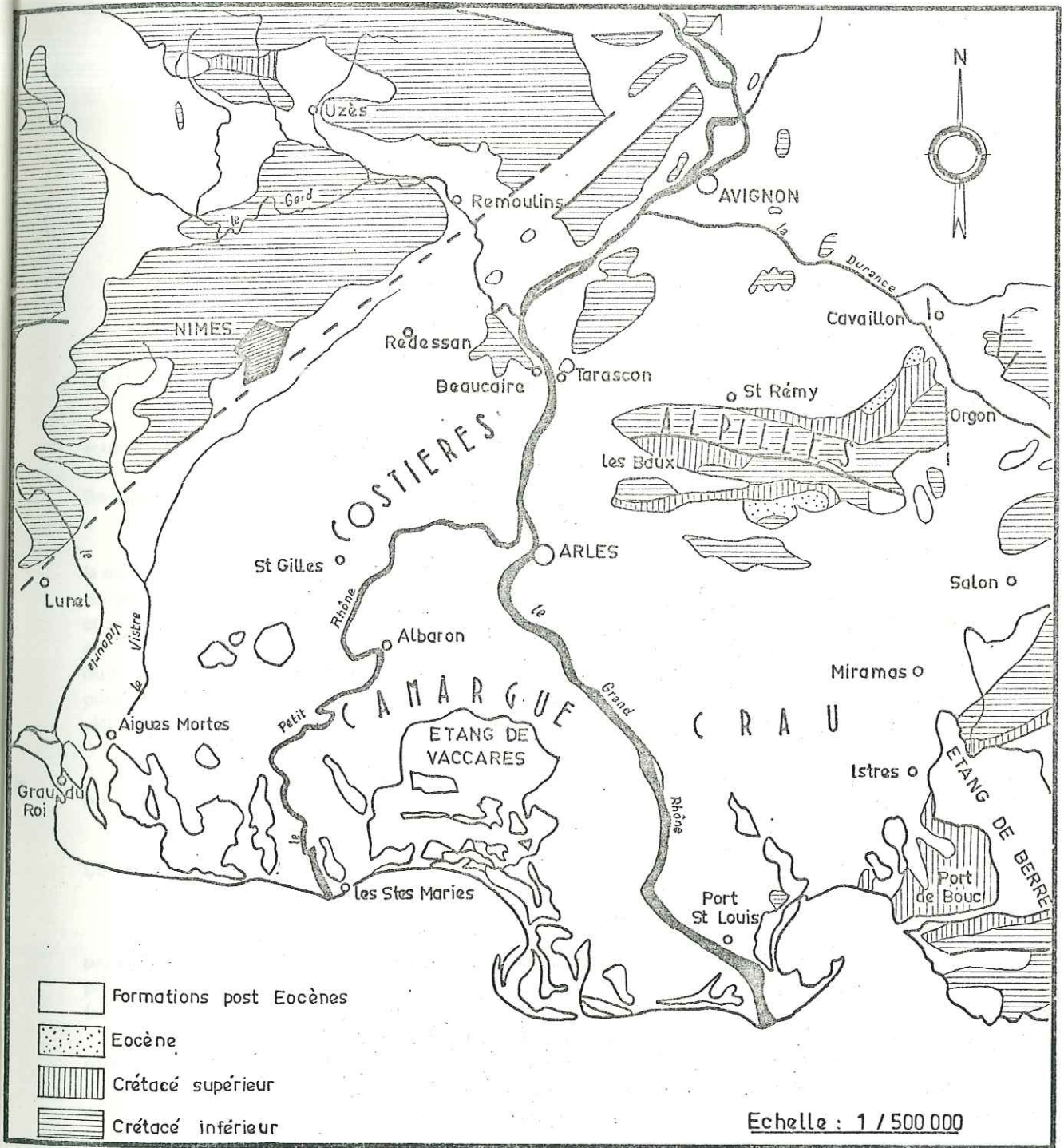


Fig 1 - LE DELTA DU RHONE - CADRE GENERAL

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

La Camargue, ou plus exactement l'Île de Camargue ou Grande Camargue, enserrée entre les deux bras actuels du Rhône et limitée au Sud par la mer, constitue la partie la plus spectaculaire du delta du Rhône. En effet, ce delta récent du Rhône comprend également la Petite Camargue à l'Ouest du Petit Rhône et les Petit et Grand Plan du Bourg à l'Est du Grand Rhône, entre Arles et Fos-sur-Mer.

En réalité le delta, au sens large, du réseau hydrographique de la région du Bas-Rhône qui se déversait à la mer depuis le Quaternaire ancien (Rhône-Durance) s'étend bien au-delà des limites que nous venons de définir. Il comprend les «hautes terrasses» caillouteuses de la Costière de Nîmes, qui commencent dans la région de Roquemaure et se poursuivent jusqu'à Montpellier. Ces dépôts caillouteux fixent la limite occidentale du delta que certains auteurs ont voulu prolonger jusqu'au promontoire de Sète et à l'Étang de Thau où ils situent un ancien chenal hypothétique du fleuve. A l'Est s'étend la vaste plaine caillouteuse de la Crau, de forme triangulaire, limitée par les chaînons des Alpilles et de la Montagnette et les massifs calcaires des bords de l'Étang de Berre. Cette plaine est en réalité un cône alluvial issu essentiellement de la Durance, alors indépendante, qui se prolonge sous le delta actuel du Rhône (Camargue).

La Camargue ainsi liée par une histoire géologique commune avec les formations précitées, et notamment avec la Crau, s'individualise au Quaternaire récent où le régime de dépôts caillouteux passe à celui des limons et sables.

CE QU'EST UN DELTA

L'embouchure des cours d'eau correspond à un estuaire ou un delta.

L'estuaire caractérise les embouchures des fleuves où la marée se fait sentir et où le débit solide n'est pas suffisant pour que la sédimentation l'emporte sur l'érosion. Les estuaires ont une sédimentation relativement simple avec prépondérance de vases. Ils se présentent comme des vasières larges où serpentent les chenaux de marée. (ex. : Seine, Loire, Gironde).

Le delta est une large étendue de sédiments à faible pente que le fleuve constitue progressivement de part et d'autre de son ou de ses débouchés à la mer lorsque l'accumulation des sédiments apportés l'emporte sur l'érosion de la mer et la dispersion des marées et vagues. Les deltas apparaissent donc de préférence dans les mers calmes et sans marées (Rhône, Nil) ou à faibles marées (Mississippi, Mékong, Danube). Quand les débits solides sont très importants, des deltas viennent se former également dans les mers à fortes marées (Fleuve Jaune, Gange, Brahmapoutre).

Les deltas doivent leur nom à la forme triangulaire qui leur est assez commune, mais ils peuvent avoir aussi différentes autres formes. D'ailleurs un delta n'est pas obligatoirement caractérisé par la diramation du fleuve en plusieurs bras, car il existe des deltas à un bras unique (Tibre).

Le delta ne constitue donc qu'un cas particulier d'alluvionnement. M. DERRUAU (102) le décrit ainsi :

Avionnement progresse vers l'amont pour donner au cours une pente d'équilibre, et vers l'aval, là où la construction. Sur ce front, les matériaux tombent le long d'une pente terminale abrupte et forment une stratification inclinée qui contraste avec les lits subhorizontaux de la partie amont du delta * La progression d'un delta n'est pas indéfinie, d'une part parce que tout bras qui s'allonge tend à diminuer sa pente longitudinale donc à se dériver de force, et d'autre part, l'action érosive de la houle se fait de plus en plus forte à mesure que la bouche s'élargit vers le large. Il en résulte un état d'équilibre mobile... Il existe donc sur un même delta des sections en progression et des sections bloquées et des sections en voie de recul ** La structure des deltas résulte ainsi de plusieurs actions. Elle est caractérisée par un cloisonnement formé d'une part, par les levées de bras actuels ou d'anciens bras abandonnés, d'autre part, par des bourrelets transversaux aux lignes des levées et qui ne sont autres que d'anciennes positions du cordon littoral à divers stades de la progression. Ces cloisons déterminent des « casiers » souvent marécageux.»

La plupart des deltas ont une situation tectonique particulière en ceci qu'ils sont subsidents. Cette subsidence est l'un des aspects du jeu de la flexure continentale qui commande la position du rivage marin : J.AUBOUIN (1910). Nous reviendrons aux chapitres III, IV et V sur la formation du delta du Rhône et de la constitution de la Camargue.

Ce processus assez simple peut cependant avoir des variantes et des complications selon des données particulières (climat) et les conditions hydrodynamiques marines. Ainsi comme c'est le cas pour la Camargue le rôle de la mer est essentiel et les accumulations peuvent se produire très loin des zones d'apport et indépendamment du débit du fleuve et de sa charge solide par la seule cause des actions marines. (Mme C. DUBOUL-RAZAVET (114))

Souvent provoqués en partie par l'action de l'homme (Nil, Rhône)

CHAPITRE II

L'ENVIRONNEMENT

Nous attachons une grande importance au milieu aussi bien naturel qu'artificiel de la Camargue. Sa particularité, sa variété et sa complexité jouent un rôle essentiel sur son étude à tous points de vue. Ainsi la connaissance hydrogéologique exige cette connaissance du milieu qui influe et conditionne largement les eaux souterraines.

A – L'ASPECT DU PAYS - MORPHOLOGIE *

La bifurcation du Rhône se situe à 30 km environ du littoral, légèrement en amont d'Arles. Le Grand Rhône, comme son nom l'indique, garde toute l'importance du fleuve, tandis que le Petit Rhône a un rôle tout à fait accessoire. Ainsi délimitée la Camargue s'étend sur 76 000 ha ** dont près de 30 000 ha de cultures (15 000 au début du siècle), 16 000 ha d'étangs (dont certains près des Salins de Giraud, aménagés pour la production du sel) et 19 000 ha de sols salins à végétation halophile. Le reste est couvert de marais et de terres amphibies aux limites imprécises.

La Camargue est une plaine basse, à topographie essentiellement horizontale. La pente d'Arles à la mer est en moyenne de 0,17‰ (0,07‰ pour la Basse Camargue et 0,27‰ pour la Haute - P. HEURTEAUX 151). Les altitudes les plus élevées dépassent rarement 4,50 m *** tandis que les zones déprimées s'abaissent un peu au-dessous du niveau de la mer (- 1,60 m (?) au fond du Vaccarès). (fig. 2)

Les dénivellations voisines sont d'un ordre beaucoup plus petit mais l'horizontalité générale les fait distinguer de loin.

Elles se répartissent généralement en réseau irrégulier au gré des déplacements des anciens chenaux et cordons littoraux.

Néanmoins, malgré cette uniformité, nous pouvons distinguer trois grandes unités morphologiques :

- La Haute Camargue avec près d'Arles la région la plus haute : la Tête de la Camargue.
- La Moyenne Camargue.
- La Basse Camargue ou région des étangs du Sud avec également l'Île du Plan du Bourg qui s'étend immédiatement à l'Ouest du Grand Rhône jusqu'au Bras de Fer.

* Voir fond topographique des planches hors texte et la planche hors texte I

** 80 000 ha d'après des mesures de P. HEURTEAUX

*** Les dunes font des points hauts singuliers qui culminent souvent à 7 m (Beauduc). Les digues du Rhône ont plus de 5 m dans la partie nord.

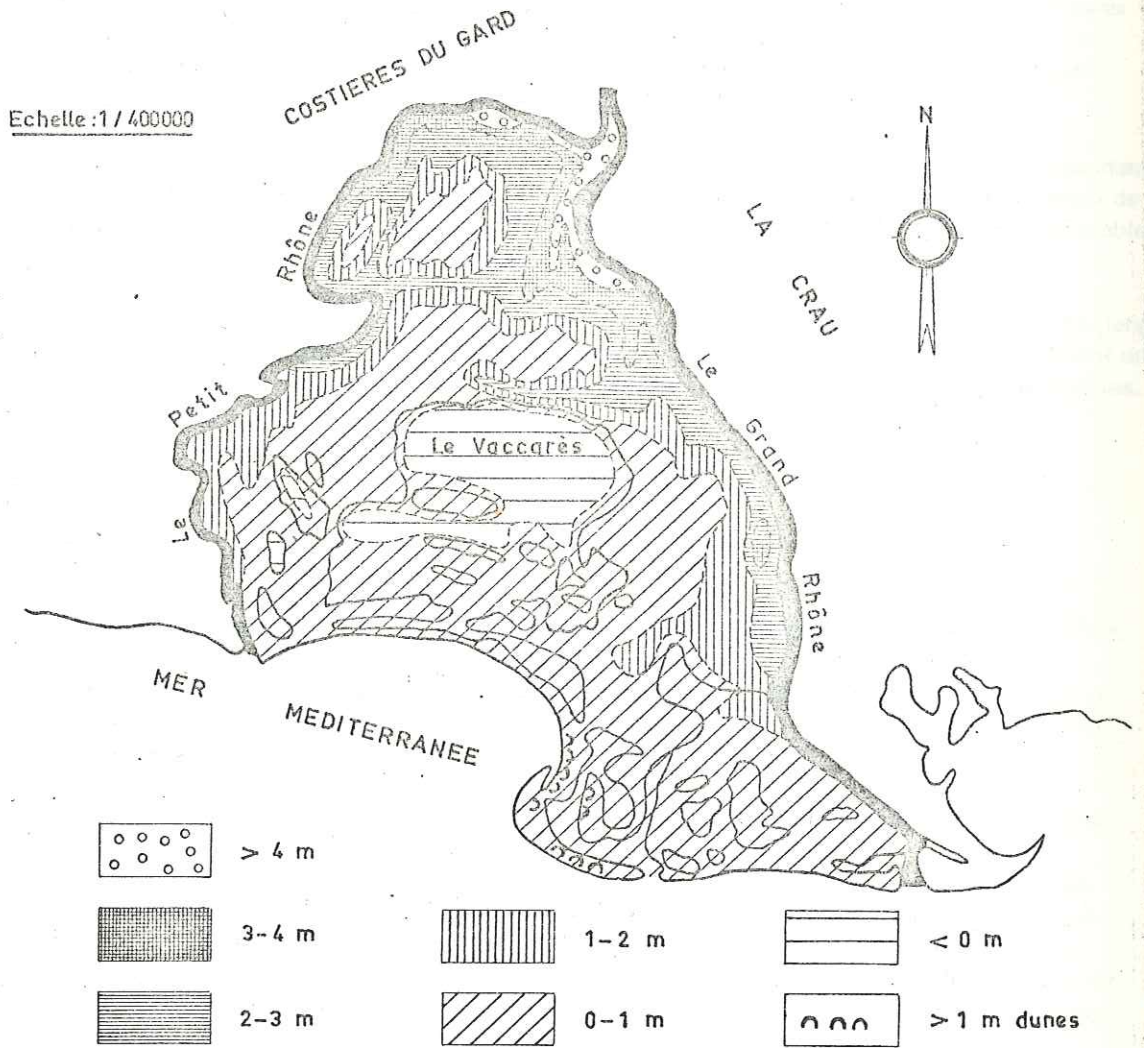


Fig 2 - CARTE HYSOMETRIQUE DE LA CAMARGUE

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

La Haute Camargue, s'étendant jusqu'au Nord du Vaccarès, est caractérisée par un niveau topographique plus élevé qui oscille de 4,50 à 1 m hors des régions des marais. La pente générale permet le drainage, l'assainissement et la lutte contre le sel ; c'est la partie la plus «civilisée», et la plus exploitée au point de vue agricole. Cependant, y existent des grandes dépressions fermées sous forme des marais ou marécages mis en voie d'assainissement : il s'agit des marais de Saliers, du Pont de Rousty et de la Grand'Mar.

La Moyenne Camargue, se limite à une ligne partant du Château d'Avignon, passant au Sud du Vaccarès par Frignands, l'Île des Mornès, Fielouse et s'infléchissant vers le Sud-Est par les Salins du Badon, Cabane Rouge, le Bras de Fer. Par tous ses caractères cette zone se rattache à la Haute Camargue, le Vaccarès * faisant une entité particulière en communication avec la Basse Camargue.

Au Sud, la Basse Camargue est une vaste étendue interrompue par quelques bandes de terre correspondant, soit à des anciens cordons littoraux, soit à des bourrelets alluviaux d'anciens bras du fleuve, soit encore à des travaux de l'homme (digue à la mer). Seul le voisinage de deux bras actifs du Rhône, avec leurs surélévations importantes, ressemble à la Haute Camargue.

Le contraste est net entre ces bras du Rhône et cette Basse Camargue, région déserte occupée par les étangs aux limites floues et instables où le phénomène essentiel est le «salant», remontée du sel à la surface du sol en laissant un tapis blanc ; les cultures sont rares ou inexistantes et c'est le domaine de pâturages des taureaux et des chevaux sauvages.

B - LES FORMES DE TERRAINS

Dans cette micro-topographie complexe et si variée les principales formes de terrains sont :

1 - Les points hauts

Les bourrelets alluviaux des anciens bras du Rhône sont souvent empruntés par des routes ou «drailles», portant les mas et les meilleures terres : par leur position en zones plus élevées, 1 à 4 m, ils sont plus protégés du «salant». Leur largeur varie de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres. Sur les plus hautes levées se développent de grands arbres (bouleaux, peupliers, chênes, etc.). Leur répartition correspond à celle des anciens chenaux du Rhône (voir plus loin, hydrographie).**

Les segonnaux sont les terres hautes situées entre les deux Rhône actuels et leurs digues de protection.

Les Montilles sont les dunes et les cordons dunaires actuels (Beauduc), ou anciens vestiges des rivages marins ou de lagunes ou encore les dunes d'origine fluviatile (Beyne, Commanderie ***) fig. 5. Parmi les anciens cordons nous pouvons distinguer à partir du château d'Avignon un premier cordon prolongeant la Sylve Godesque (en Petite Camargue) qui passe par les Frignants, l'Île de Mornès, Fielouse et semble continuer vers l'Est. Un deuxième cordon, non distinct du premier dans la partie ouest, passe par les Bois des Rièges, le Cassieu, les Montilles des Marquises, se prolongeant dans le Grand Plan du Bourg par Laget et l'Île de Lansac.

Sur ces dunes, à l'abri des actions du sel et où une micro-nappe d'eau douce peut se développer, est installée une flore bien adaptée pour résister à des conditions défavorables (Ammophiles, Joncs, Tamaris et même Pins pignons) qui s'oppose d'ailleurs au déplacement des dunes sous la poussée du vent.

* Le Vaccarès - (6 300 ha) constitue une sorte de petite mer intérieure.

** Le lit même des anciens bras forme une dépression : la lône. La lône désigne aussi toute dépression de forme allongée en particulier les baisses entre les dunes.

*** Cependant on peut remarquer que les dunes de la Commanderie sont placées dans le prolongement nord-est de l'ancien cordon littoral ou lagunaire de l'Île de Mornès (communication orale de M. C. TONI).

Les theys sont des îlots triangulaires et souvent éphémères apparaissant à l'embouchure du Rhône.

2 - Les points bas

Les marais. Les moindres dépressions accumulent les eaux de pluie et se transforment en mares une grande partie de l'année. Des dépressions de plus grande importance forment les marais plus ou moins temporaires. Certains marais collectent, en plus, des eaux de pluies, une partie des eaux d'assainissement et ont ainsi des eaux douces ou peu salées et se distinguent par le développement des Typha ; ces marais d'eau douce s'appellent généralement « paluds ».

Le marais de Salières s'étend dans une boucle du Petit Rhône au Sud du hameau de Salières; le marais du Pont de Rousty, séparé du précédent par un ancien bras, se confond avec celui de Palun-Longue ; la Grand'Mar du Nord du Vaccarès est limité de tous côtés par des anciens cours du Rhône. En Moyenne et Basse Camargue on peut citer à l'Ouest du Vaccarès le Patis de Gouyère, le Patis de la Trinité, le marais des Bruns, le marais de la Sigourette, les Baises de Taxi etc. Dans la région orientale s'étendent les marais de Romieu, du Grenouillet, de St Serin, la Baisse Salée, le marais du Vedeau, de Faraman, pour ne parler que des principaux. (voir planches hors texte)

Morphologiquement (fig. 5) on peut distinguer deux sortes de marais en Camargue : les marais de la Haute et Moyenne Camargue, dépressions fermées par des levées du Rhône ou des cordons dunaires, dont les eaux sont peu salées mais présentent de notables variations saisonnières de salure ; les marais de la Basse Camargue représentent en réalité des zones d'étangs littoraux plus ou moins colmatés et alimentés par des eaux douces (roubines ou entières d'eau dans les dunes ; cas de la région des Saintes Maries), et où la salinité semble être plus élevée et plus variable à cause de la communication directe avec les étangs.

Les étangs couvrent une surface considérable en Basse Camargue. Leurs limites restent toujours floues et variables suivant les saisons. Le plus grand et le plus connu est le Vaccarès que les Provençaux appellent encore « Pichoto-mar » (petite mer). Il a 14 km de long sur 7 km de large et sa superficie est d'environ 6 300 ha. Cette vaste nappe d'eau mérite en effet le nom d'étang : sa profondeur de quelques centimètres sur les bords ne dépassait pas, paraît-il, 0,50-0,80 m en moyenne avant l'installation des rizières *. Son régime a complètement changé depuis et nous reviendrons sur ce sujet au chapitre de l'hydrologie de surface. Il avait d'ailleurs déjà été modifié depuis l'érection d'une digue le long du Rhône et en bordure de la mer, digues qui le protègent des inondations du fleuve et des envahissements marins.

« L'étang du Vaccarès est séparé des étangs de Malagroy et de Monro par une langue de terre, l'île de Mornès, parsemée de flaques d'eau, à laquelle fait suite une série de petites îles. Au Sud de l'étang de Monro, une ligne de radeaux ** orientée toujours Est-Ouest porte le Bois des Rièges célèbre pour sa faune et flore. Au Sud de cette ligne d'îles irrégulières, variables et incertaines viennent d'autres radeaux, d'autres îles entourées d'étangs enchevêtrés les uns dans les autres, aux contours de labyrinthes » (J. REPELIN 170).

Plus à l'Ouest, les minuscules gazes *** et radeaux font place à un étang beaucoup plus uniforme, l'étang dit de l'Impérial. A l'Est on rencontre successivement l'étang de Lion, puis ceux de la Dame et du Fournelet.

* Un étang est fort peu profond, quelques décimètres en saison pluvieuse.

** On appelle radeau les territoires, petits en général, recouverts d'une végétation halophile, qui émergent de quelques décimètres en hiver dans le domaine des étangs à la façon de vrais radeaux flottants sur l'eau : par extension, on donne le même nom à des territoires plus grands et plus marqués.

*** Les gazes dans ce même domaine désignent les passages naturels de l'eau entre les étangs, qu'on peut traverser à gué.

Le long du cordon littoral actuel se trouvent les étangs les plus récents dont certains communiquent par des graus* avec la mer (lagunes).

La forte évaporation estivale assèche les zones marginales des étangs où un craquement en polygones et des efflorescences salines se produisent. Si les terrains restent desséchés très longtemps, des plantes halophiles s'y installent : les enganes (salicornes) ; on a alors la sansuire. Ce terme s'applique à toutes les terres basses, désertes et salées de la Basse Camargue recouvertes par des eaux pendant l'hiver.

C – L'INFLUENCE DE L'HOMME DANS L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE

La morphologie de la Camargue était jadis en perpétuelle évolution. Cette évolution a été complètement déséquilibrée et même arrêtée en certains domaines, et cet état de choses tient surtout à l'établissement des digues continues qui isolent le delta de deux bras du Rhône et de la mer.

Le fleuve ne peut plus diramer, inonder et colmater la plaine et ses eaux ne coulent plus vers la côte par les étangs en dessalant les parties amont. Ainsi les terrains ont cessé de s'élever par manque d'apport solide ; il en résulte un tassement sans compensation qui rend plus difficile le dessalage des zones basses. De même, la mer avant la construction de la digue à la mer**, gonflée par les tempêtes du Sud-Est, envahissait et salait la Basse Camargue et même le Vaccarès ; le phénomène inverse se produisait évidemment en temps de mistral.

D – LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique du delta du Rhône est assez varié et complexe. Entre les deux bras actuels on distingue en plus du système d'étangs, gazes et marais que nous avons déjà vu, tous les anciens bras du fleuve qui se déplaçaient fréquemment (et qui ont déterminé parfois les dépressions peu profondes que sont les marais), les divers petites diramations de ces anciens bras et enfin de grands et petits émissaires créés par l'homme. Ce réseau actif ou mort a constamment, comme nous le verrons, une grande influence sur la nappe phréatique.

LE GRAND RHONE

Le Grand Rhône charrie la plus grande partie des eaux et de leur charge solide. Son cours s'étend jusqu'à la mer sur 46 km. Son lit est en général limoneux et plus rarement sableux et atteint souvent des profondeurs importantes de l'ordre de 4 à plus de 10 m (11 m à Arles, 19 m avant les embouchures). Néanmoins à 10 km en aval d'Arles les poudingues de la Crau forme un seuil (Seuil de Terrin en cours de déroctage) où la hauteur d'eau est en étiage de 1,90 m. A Arles le Rhône est assez étroit (150 m) mais plus au Sud il atteint 400 m de large. La pente est très douce, 10 cm par km d'Arles à la mer (60 cm/km de Lyon à Beaucaire).

Le régime du Rhône inférieur est très complexe en raison de la présence d'un bassin versant très important et varié.

A Beaucaire on observe en général deux maxima, en Automne et au Printemps (qui peut se prolonger jusqu'à Juin à cause de la fonte des neiges) et des minima à la fin de l'été et en hiver.

Parfois un troisième maximum se développe pendant l'hiver (fig. 3 et 4).

Pour 1966 le débit maximum à Beaucaire était de 5 200 m³/sec et le débit minimum de 500 m³/sec.

* Les graus sont des chenaux naturels faisant communiquer un étang avec la mer, ou l'embouchure d'une rivière.

** La digue à la mer (fig. 5) a été construite en 1860 près du rivage ; elle a une hauteur de 2,20 m et une longueur de 45 km environ, elle est naturellement équipée des pertuis pour l'évacuation des eaux excédentaires en amont.

Le Grand Rhône transporte 17 000 000* m³ d'alluvions par an qui se transforment en partie en gain de terrain important. Les berges sont protégées tout le long par divers travaux d'endiguement, mais en aval de Saint Louis elles restent libres et se modifient rapidement. L'embouchure récente a trois sorties (Grau du Piémanson, Grau du Roustan, Grau du Levain). L'embouchure active est le Grau du Roustan (fig. 13) les deux autres étant actuellement détériorées.

En aval de l'île de la Cappe le Grand Rhône semble d'un âge post-romain. D'anciens méandres se sont développés sur la partie aval du bras (Bras Mort et Bras de Fer), aujourd'hui à l'état de marais.

LE PETIT RHONE

Cette branche actuelle a une importance secondaire, un débit très réduit (16/100 du fleuve) et ne charrie que 4 000 000 m³* de matières solides fines qui la mettent en voie de colmatage.

Cette granulométrie augmente pourtant pendant les crues. Ainsi les apports du Petit Rhône ne compensent pas l'action des vagues et de la houle et un recul de son embouchure (située à 2 km à l'Ouest des Saintes Maries au Grau d'Orgon) et du rivage environnant se produit, contre lequel on tente de lutter par des ouvrages artificiels.

La profondeur du Petit Rhône ** est en moyenne de 3-6 m, mais peut atteindre à certains endroits plus de 10 m (région de Sylvéréal et Bac du Sauvage près de l'embouchure)***.

ANCIENS BRAS (fig.5)

Les divagations du Rhône qui ont formé le delta n'ont cessé de modifier l'aspect et les limites de la Camargue****.

Actuellement, malgré les remaniements naturels et artificiels, plusieurs anciens cours, récemment abandonnés, sont parfaitement identifiables.

Nous avons ainsi :

Le Bras Mort

Il est situé à l'Est du Grand Rhône et a fonctionné d'après DENIZOT au XVI^e siècle. Il se ramifie dans sa partie aval en deux embouchures (Bras du Passon à l'Ouest et de Galéjon à l'Est).

Ses parties aval, surtout au Bras du Passon, sont actuellement pratiquement effacées par les installations des salins. La partie amont sèche à son origine est ensuite marécageuse.

* Chiffre datant de la fin du dernier siècle et devant être actuellement inférieur à cause des nombreux barrages construits depuis.

** Nous donnons aux chapitres d'hydrologie de surface les profils en long du Grand et du Petit Rhône et leur salinités.

*** Il faut noter dès maintenant ce détail parce qu'il est possible que cet approfondissement joue un rôle important dans l'alimentation d'une partie de la nappe en Camargue.

**** Étudiés depuis longtemps par un nombre considérable d'auteurs, tant historiens que géographes et géologues, la connaissance détaillée des passages des anciens chenaux du Rhône a été très aidée récemment par l'étude des photographies aériennes.

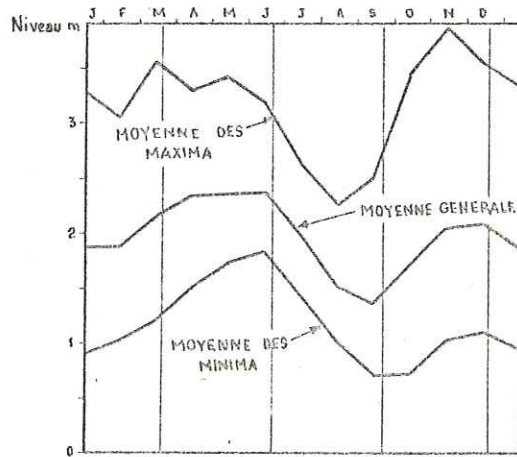


Fig 3 - REGIME DU RHONE A BEAUCAIRE (d'après PARDE)

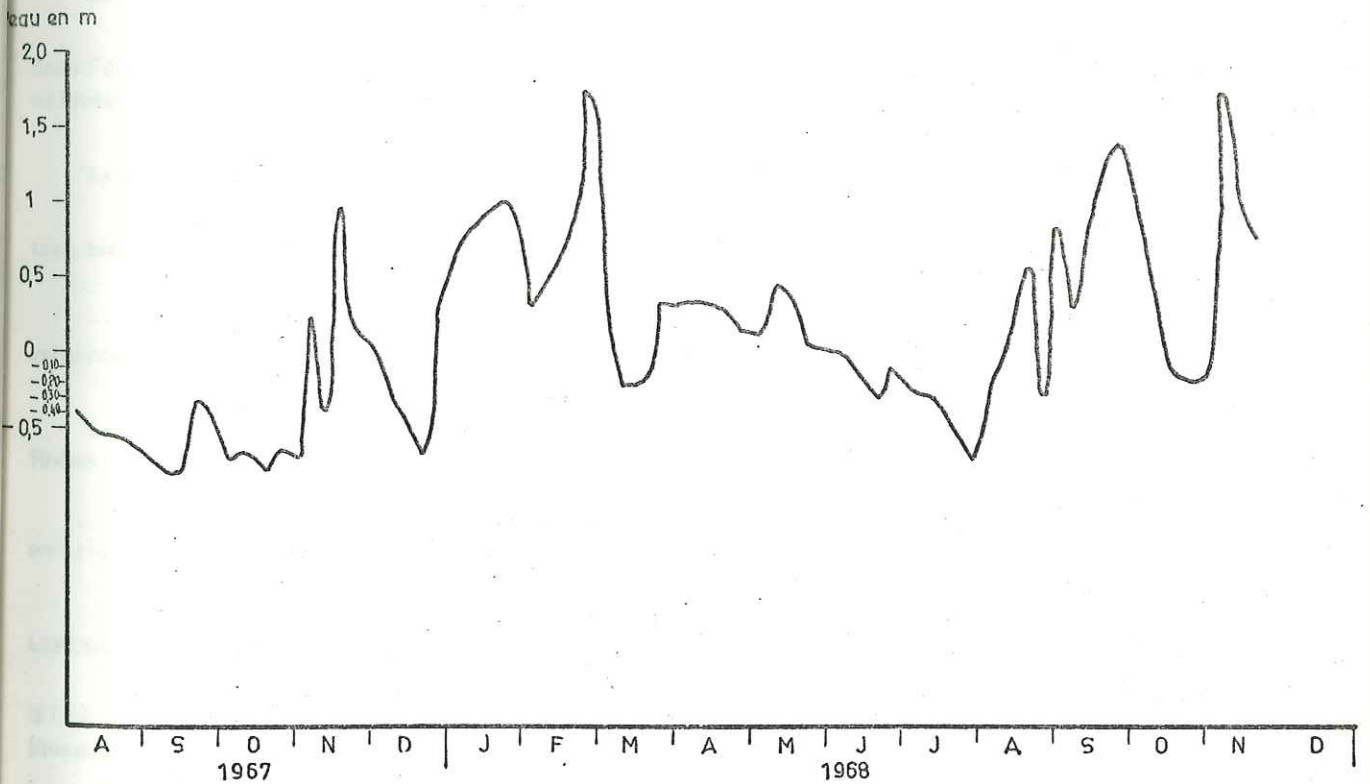


Fig 4 - LE RHONE A ARLES (TRINQUETAILE) EN 1967-1968

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Le Bras de Fer ou Canal du Japon

Il fait partie aussi des branches récentes que le Grand Rhône a suivies. Il a été fonctionnel jusqu'en 1711 et a été abandonné accidentellement.

Il décrit de nombreux méandres qui s'expliquent par l'existence des anciens cordons littoraux (Mme C. DUBOUL-RAZAVET 114). Ce Bras de Fer bien conservé et colmaté dans son cours amont, présente des marais dans sa section moyenne située à un niveau plus élevé que la région environnante et protégé de la pénétration de la mer par les montilles et les digues ; la partie aval est à l'état de lagune (Vieux-Rhône) envahie par les eaux salées.

Le Rhône de Saint Ferréol

Ce Rhône a été pendant longtemps, avant qu'il atterrisse au 16^{ème} siècle, un des principaux bras actifs ainsi que semble l'indiquer l'importance de ses berges, bien conservées en Haute et Moyenne Camargue. Il se détache du Grand Rhône au niveau de l'Île de la Cappe et coule vers le Sud, où il semble qu'il suive le même cours que le Rhône d'Albaron, au-delà il longe la rive nord du Vaccarès, où le bras est très apparent et ensuite s'infléchit vers le Sud passant à l'Ouest du Vaccarès* et de l'étang de Malagroy où il se confond avec le système dunaire actuel (DUBOUL-RAZAVET). Sa partie haute jusqu'au Mas d'Agon est aujourd'hui transformée en roubine (Petite Monlong).

Le Rhône d'Ulmet

Son activité cessa au XV^{ème} siècle et il semble avoir suivi en amont le même trajet que le Rhône de Saint Ferréol et la disjonction est visible au Nord de Villeneuve. Il longe à l'Est le Vaccarès, fait une grande boucle au niveau de la Tour du Vallat et se divise en deux branches dont l'occidentale est à l'état des marais (Baisse salée).

Le Rhône d'Albaron

Ce bras, dans la partie nord du delta cultivée depuis longtemps, est visible d'une façon très fragmentaire, bien que ses levées soient très apparentes. Il semble être atterri au XII^{ème} siècle.

Dans la région occidentale du Petit Rhône, Le Rhône des Tourradons est le bras le plus ancien mais son existence est contestée : il est mal tracé et aurait coulé jusqu'à l'étang de Mauguio.

Le Rhône de Sylvéréal (Peccais) est nettement visible et constitue le prolongement de la partie amont du Petit Rhône jusqu'au Grau du Roi.

A ce système des bras il faudra aussi ajouter leurs dérives secondaires (Rhône de Saliers) dont on ne voit pas toujours la continuité (fig. 5) et le système des crevasses.

LES CREVASSES (fig. 5 et 7)

Les crevasses (du terme anglais) sont des chenaux secondaires obliques du bras principal qui coupent la levée naturelle de celui-ci et qui déchargent pendant les crues le surplus de débit dans les bassins environnants (marais) en les alluvionnant.

La partie aval de la crevasse (« crevasse tongue » C. KRUIT 156) n'a plus l'aspect d'un chenal mais constitue des langues qui pénètrent dans les marais formant des petites surélévations. Ces langues sont aujourd'hui visibles dans les marais septentrionaux de la Camargue (marais de Saliers, de Pont de Rosny, etc.)

* Le Vaccarès est très proche du point où passait ce Rhône et érode par l'action de ses vagues son bourrelet (falaise de 1,50 m). Il semble aussi que le Vaccarès était beaucoup moins étendu qu'aujourd'hui et doit donc couvrir plusieurs crevasses du Bras de Saint Ferréol.

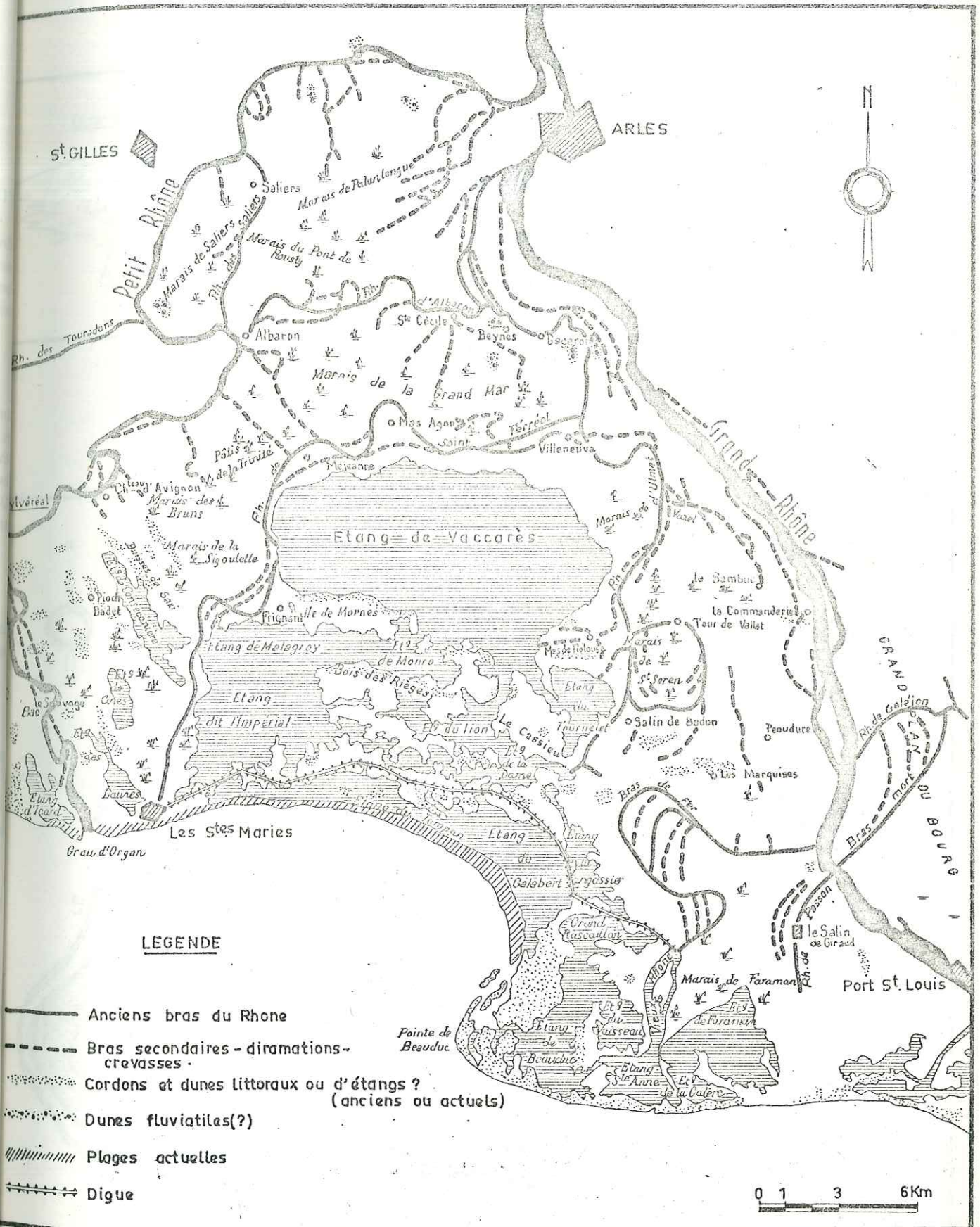
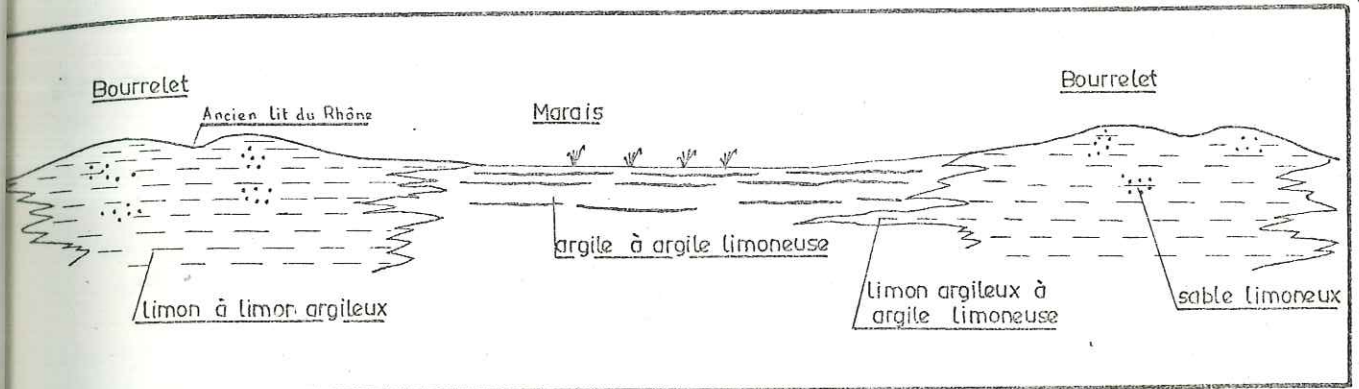
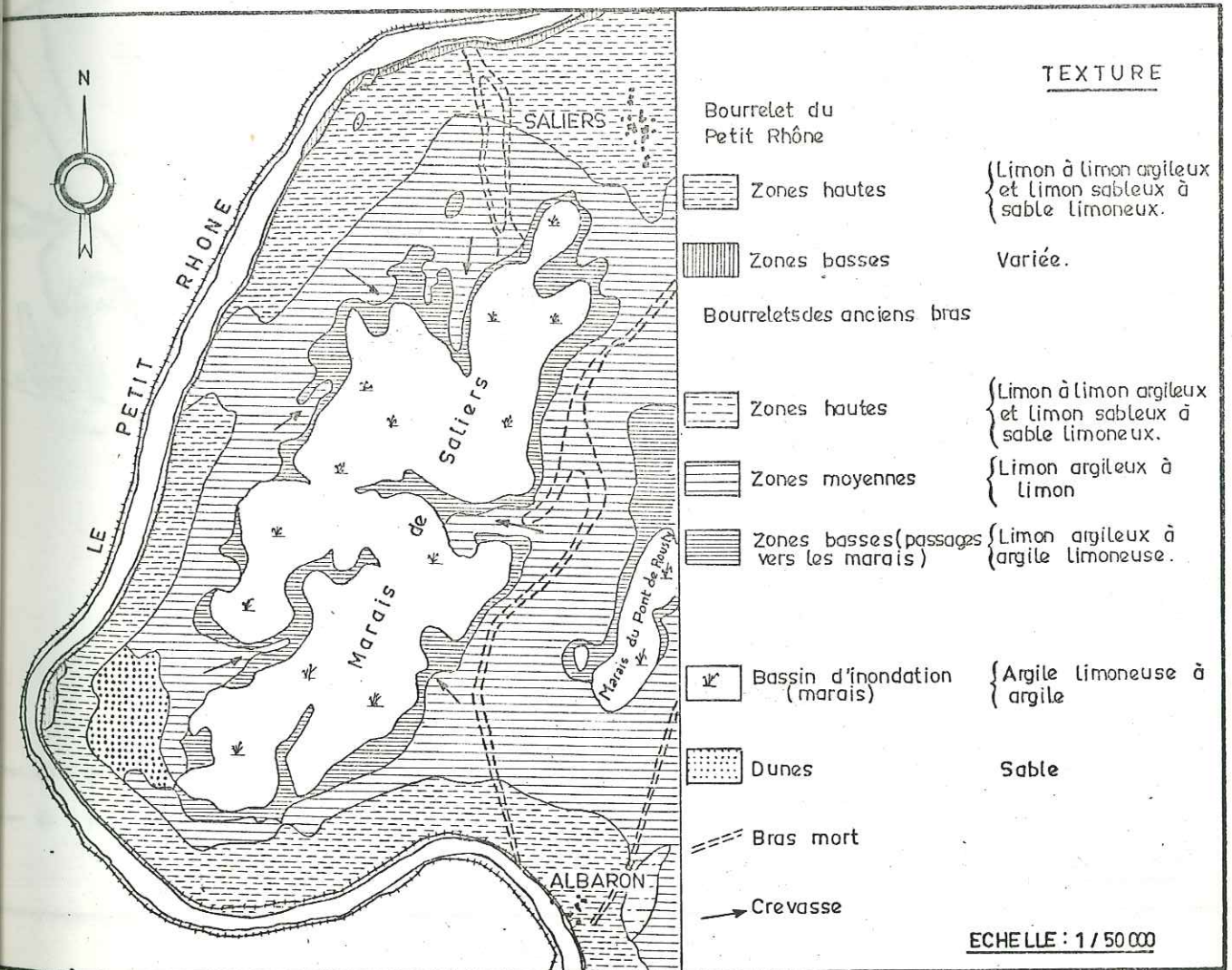


Fig 5 - DISTRIBUTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE NATUREL (BRAS, MARAIS, ETANGS) ET DES DUNES ET CORDONS DUNAIRES

Fig 6-7 - RELATION BOURRELETS - MARAIS



PROFIL SCHEMATIQUE



PLAN

(extrait de la carte géomorphologique de la planche hors texte I

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

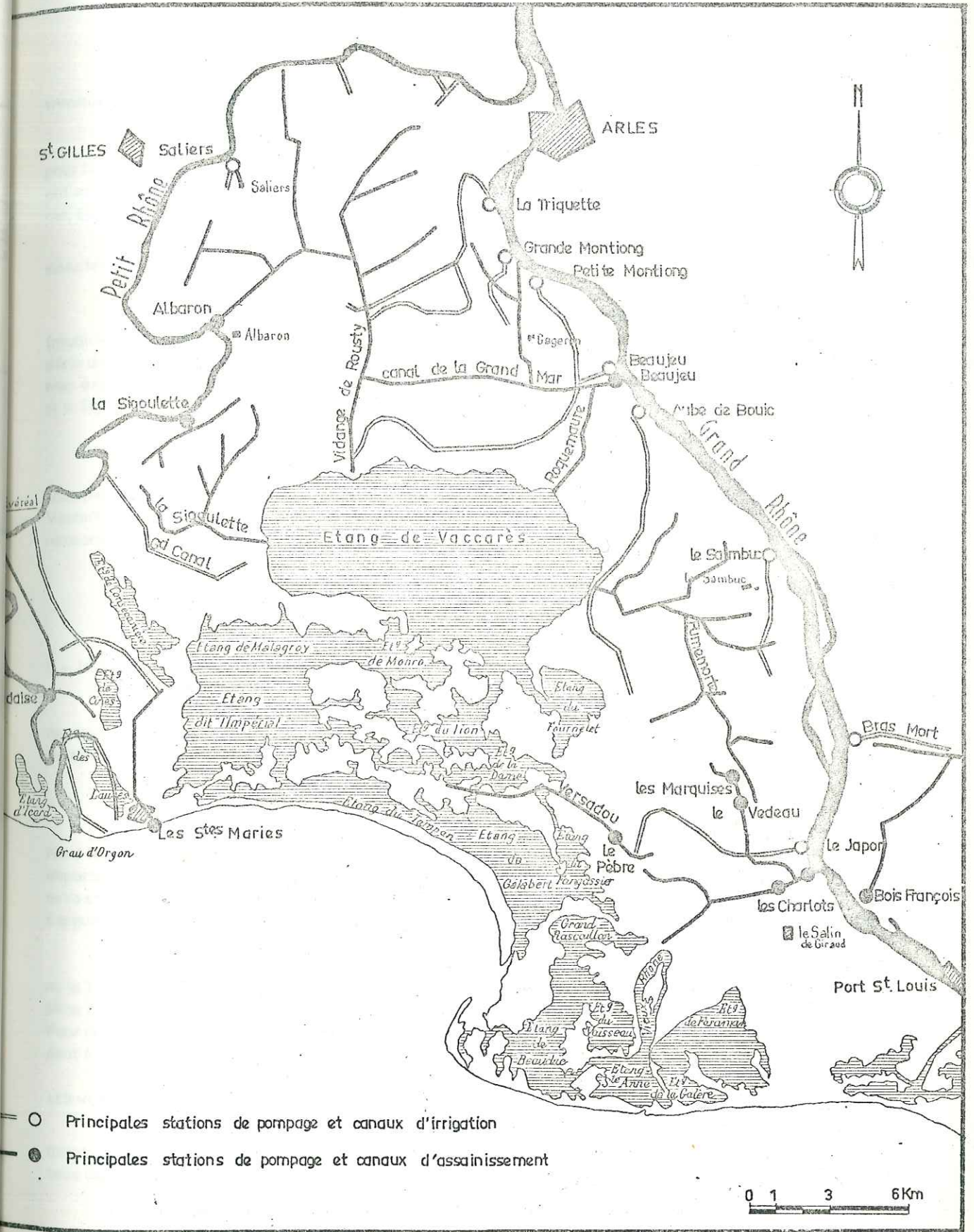


Fig 8 - SCHEMA DE DISTRIBUTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ARTIFICIEL

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

HYDROGRAPHIE ARTIFICIELLE

L'eau, si abondante à la surface du delta, est généralement, à cause de sa teneur en sel, inutilisable pour les cultures. D'autre part le dessalage des terres salées, le drainage et le maintien en eau de certaines cultures ont amené la création d'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 inférieurs (fig. 8).

Ainsi furent aménagés depuis longtemps en roubines d'irrigation, l'ancien Rhône de Saint Ferréol (roubine de la Petite Monlong), celui d'Ulmet et celui d'Albaron (roubine de la Triquette). 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 Saliers et de la Grand'Mar. 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. Or devant les grands accroissements des colatures d'irrigation une certaine partie des eaux, normalement destinées à s'écouler dans le Vaccarès, est refoulée pour la sauvegarde de celui-ci et de son parc naturel* dans le Grand et le Petit Rhône. Enfin nous signalons le système artificiel d'introduction de l'eau de mer pour les salins dans la région de Salins de Giraud.

Nous reviendrons sur le réseau hydrographique lors de l'étude de l'hydrologie de surface.

E - LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Le climat est en Camargue un facteur très important qui conditionne non seulement le milieu humain, faunistique et floristique mais aussi le dynamisme sédimentaire et morphologique, l'hydrologie et l'hydrodynamique souterraine.

Les principaux facteurs sont les précipitations, les températures et les vents.

Le climat de la Camargue est méditerranéen, donc sec et chaud, avec des vents fréquents surtout le Nord Nord-Ouest et des pluies au printemps et en automne ayant un caractère orageux. Cependant il y a des variantes importantes à cause de sa morphologie plate et de l'abondance des surfaces d'eau libre : les vents y sont plus puissants et plus fréquents, les précipitations plus importantes qu'en Provence mais en général un peu moindre qu'en Languedoc, le taux d'humidité plus élevé, bien que l'évaporation soit intense et les variations thermique brusques.

Les principales stations météorologiques en Camargue sont les Stations d'Arles, de Salins de Giraud, de la Tour de Vallat et des Saintes Maries de la Mer. Les données qui suivent ont été citées et exploitées par Mme D. SCHACHTER (205), C. KRUIT (156), Mme C. DUBOUL-RAZAVET (114), P. HEURTEAUX (151). Pour notre part nous présentons les données météorologiques de ces dernières années (1967-68-69) qui correspondent à l'étude hydrogéologique.

LES VENTS

Les vents soufflent en Camargue de toutes directions, la plaine n'offrant aucun obstacle. Ils sont fréquents et souvent violents (fig. 9). Les vents qui dominent aussi bien au point de vue fréquence que vitesse sont ceux du secteur allant du Nord à l'Ouest : Mistral, Tramontane, Largade.

Le Mistral souffle pratiquement toute l'année mais surtout au printemps et représente plus de la moitié des totaux annuels des autres vents.

* Dans l'ensemble on peut évaluer à 200 millions de m³ l'eau presque douce qui est envoyée au Vaccarès (Chiffre de 1953 avant les travaux de refoulement)

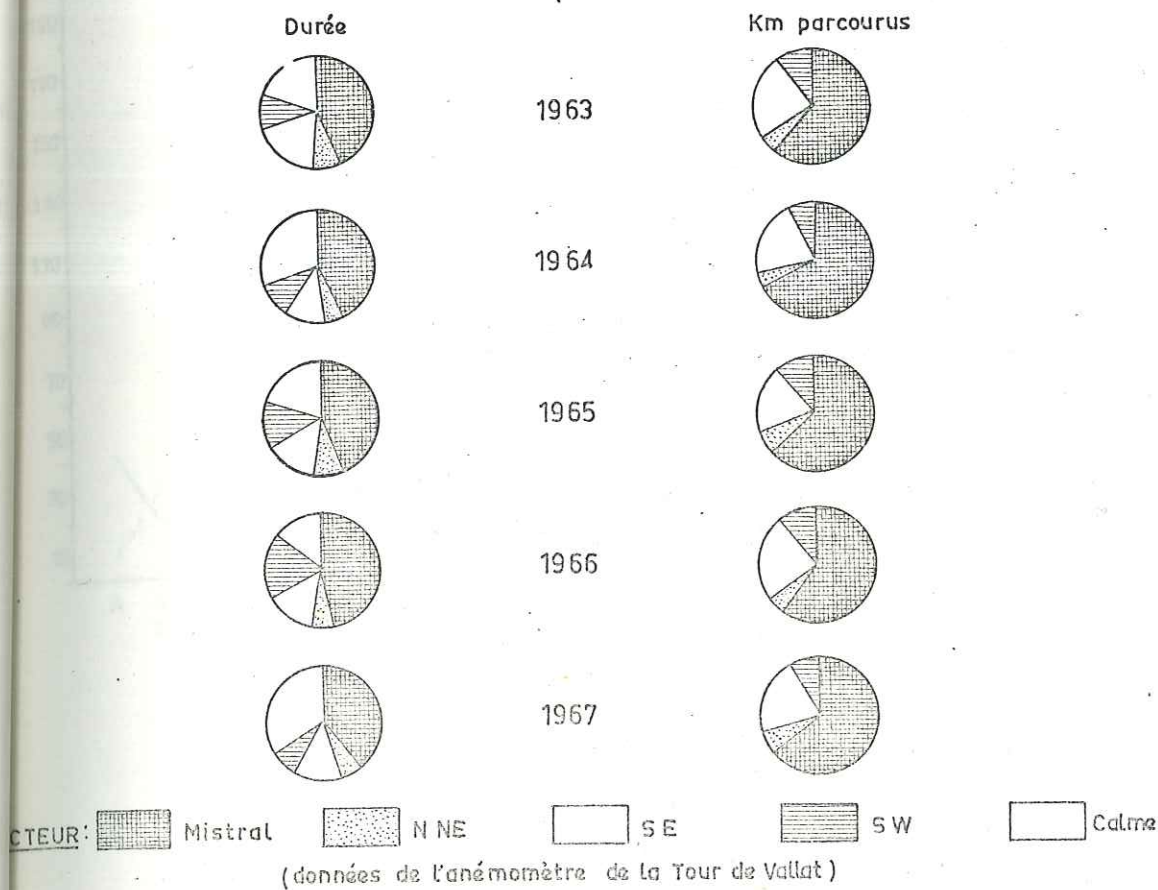


Fig 9 - REGIME DES VENTS EN CAMARGUE

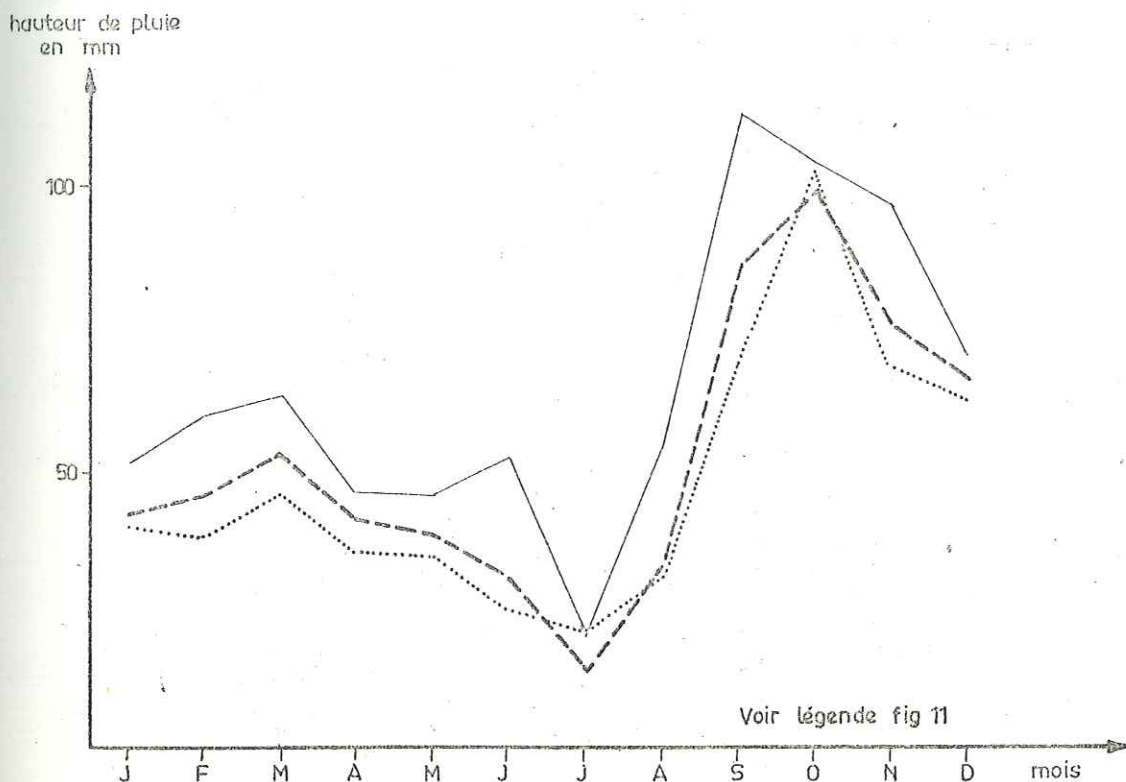


Fig 10 - COMPARAISON DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES EN CAMARGUE (1951-1965)
 (d'après les données de P. HEURTEAUX)

Pluie en mm

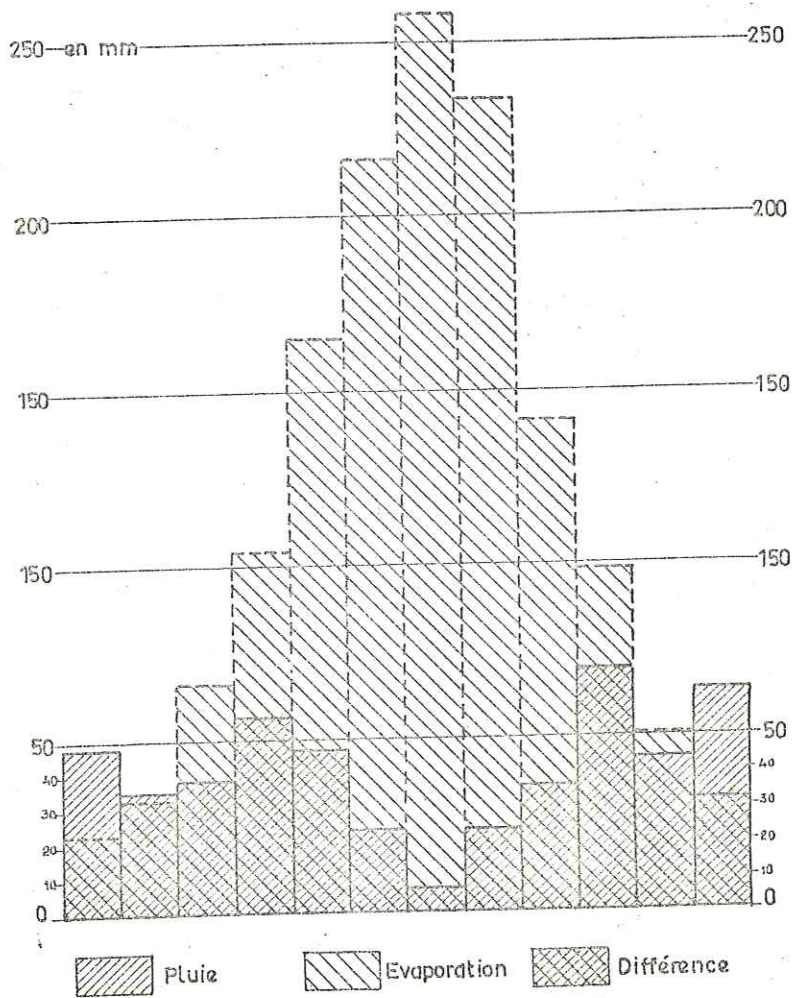
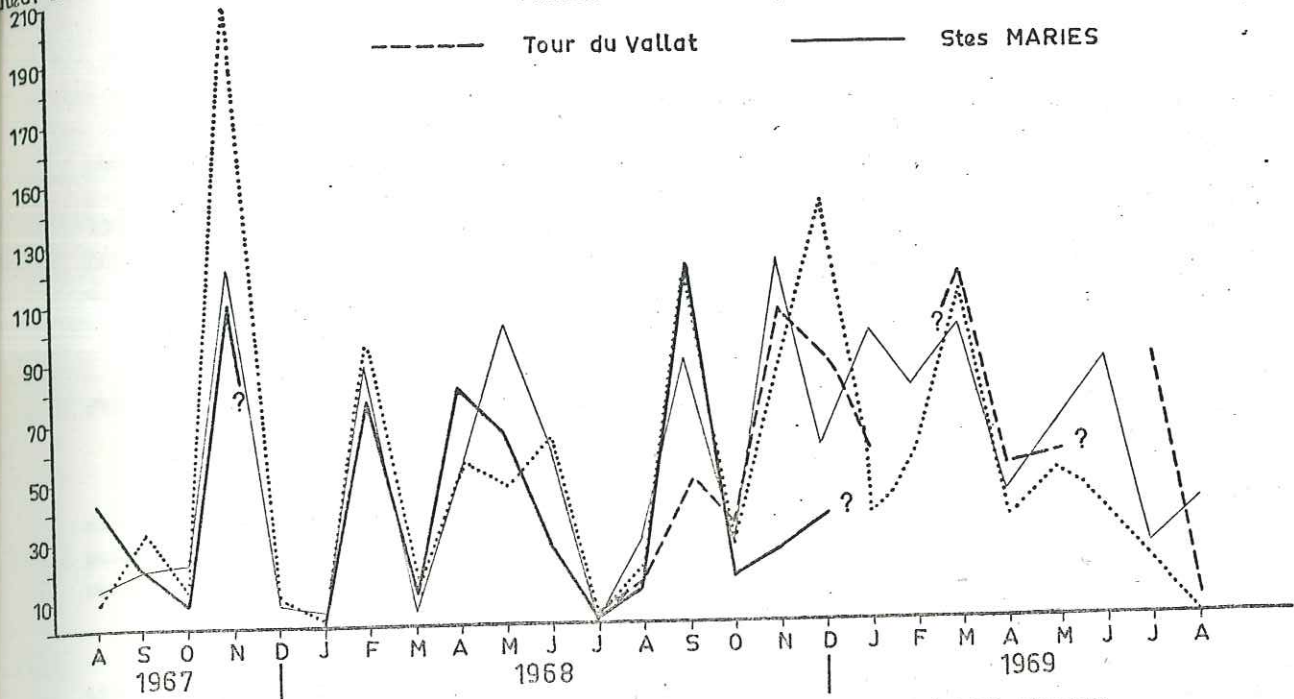


Fig 12 - SCHEMA COMPARATIF DES PRECIPITATIONS ET EVAPORATION (1936-1943)
Salins de Giraud (d'après D.SCHACHTER)

Il est sec, amène en général le beau temps et dégage le ciel. Il assèche les marais et réduit les étangs en renouvelant l'atmosphère au-dessus des surfaces évaporantes ; il favorise donc le «salant» et brûle ainsi la végétation. Il dure de 1 à 7 jours et plus rarement 9 jours. Sa vitesse moyenne est de 40 à 50 km/h mais peut parfois atteindre 130 km/h. Il provoque enfin un abaissement général de la température de l'air. Le Mistral, plus que les autres vents, fait varier le niveau de la mer et forme une houle près de la côte. Il abaisse la mer le long du littoral à - 0,50 m tandis que les vents du Sud peuvent la soulever à + 1 m (chiffres cités par C. KRUIT).

La Tramontane vient du Nord et est très violente mais de courte durée. Elle souffle surtout pendant l'hiver et amène la pluie. La Largade enfin est violente mais brève et s'accompagne d'averses.

Les vents du secteur Sud à Est peuvent souffler pendant de longues périodes surtout en automne mais sont beaucoup moins fréquents que ceux du Nord-Ouest. Ils déclenchent au large des tempêtes et une houle puissante déferlant sur la côte. En général ils se chargent d'humidité pendant leur passage sur la Méditerranée et constituent ainsi la principale source des précipitations.

Les vents du Nord Est (montagnéro) et du Sud Ouest (sirocco et labé) d'une importance secondaire sont moins fréquents et moins violents. Le Nord-Est souffle surtout au Printemps et en Automne avec beau temps et le Sud-Ouest en Été.

LES TEMPÉRATURES

Elles sont voisines des régions environnantes. Le mois le plus froid est le mois de janvier et le plus chaud le mois de juillet. Il existe aussi une certaine différence entre la tête du delta et sa côte où les températures extrêmes sont moins élevées. D'après les indications citées par P. HEURTEAUX «les températures les plus basses ne descendent qu'exceptionnellement au-dessous de -5°C et le nombre moyen des jours de gelées sous abri (24) est plutôt bas pour la région. Au cours de l'été la température maximum dépasse en moyenne 30°C pendant 22 jours» (période 1944-1967).

Dans le tableau de la page 25 nous donnons les températures pour la période de nos études.

Les températures de l'eau dans les étangs sont étudiées par Mme D. SCHACHTER (205). Il semble que la température de l'eau (mesurée entre 11 h et 15 h) est à peu près la même que la température de l'air (légèrement supérieure de Décembre à Avril et légèrement inférieure pour le reste de l'année).

LES PRÉCIPITATIONS

Les précipitations en Camargue sont assez faibles et sont conditionnées, comme nous l'avons vu, par le régime des vents. Leur régime se répartit dans l'année d'une manière très inégale* et leurs hauteurs totales varient considérablement d'une année à l'autre. Les pluies sont en principe nettement plus abondantes aux mois d'automne et leur minimum se situe en été. Un deuxième maximum existe au printemps suivi d'un troisième, souvent de même importance, en hiver (fig. 10 et 11). Les jours de pluie correspondent à 1 sur 5 jours en moyenne.

La hauteur moyenne des pluies décroît du Nord vers le Sud. Ainsi à la Station d'Arles on enregistre 667 mm (période 1931-1960), en Moyenne Camargue 550 mm à 570 mm et 543 mm près de la mer** (Salins de Giraud) (fig. 10). Sur la fig. 11 et au tableau de la page 25 nous présentons les précipitations pendant la période de nos observations et nous ferons remarquer que cette diminution des pluies du Nord au Sud n'est pas valable pour cette période.

* A cause des forts orages de courte durée

** Certaines années les précipitations ne dépassent pas 350 mm.

Un autre caractère de la pluviométrie de la Camargue est la répartition irrégulière dans le détail : il peut pleuvoir en Haute Camargue tandis qu'au même moment il ne tombe pas une goutte d'eau en Moyenne ou Basse Camargue.

L'ÉVAPORATION

Les conditions climatiques et morphologiques que nous venons de définir sont très favorables à une évaporation intense : celle-ci est bien supérieure aux hauteurs des précipitations (fig. 12). Cette évaporation met à sec plusieurs étangs ou marais et favorise les remontées du sel. P. HEURTEAUX donne le chiffre de 1 570 mm pour la période de 1964-1968* . Le maximum se situe pendant le mois de juillet (219) et le minimum au mois de janvier (73).**

Le déficit réel est évidemment très variable d'un point à l'autre en Camargue suivant l'existence et la profondeur des plans d'eau libre, la profondeur de la nappe et la nature du sol ferme.

Observations sur les conditions climatiques de la période 1967-1968-1969 des observations (fig.11 et tableau p.25).

L'année 1967 était très sèche, inférieure à l'année moyenne mais cependant avec de fortes pluies d'automne.

Pendant 1968 les précipitations ont été supérieures à la moyenne au Salins de Giraud mais au contraire inférieures à cette moyenne aux Saintes Maries. A Arles cette année était légèrement inférieure à la moyenne.

L'année 1969 serait également assez pluvieuse. L'hiver 1968-1969 a été plus pluvieux que l'hiver 1967-1968. L'été 1969 présente des précipitations supérieures à celles de l'été 1968. Leurs deux automnes sont à peu près également arrosés tandis que le printemps 1968 est plus sec que celui de 1969.

L'examen des courbes et du tableau montre l'irrégularité des pluies pour les différentes régions.

Certaines précipitations élevées (surtout en été) sont dues à des orages de courte durée.

En ce qui concerne les températures, l'été 1968 n'a pas été très chaud et les mois les plus froids ont été décembre et janvier. D'une manière constante les écarts thermiques pour une même journée sont moins grands aux Salins de Giraud qu'en Arles (rôle régulateur de la mer).

LE MILIEU AGRICOLE

Pendant de longs siècles, la Camargue est restée peu exploitée à cause de son milieu naturel défavorable. Toute son activité se cantonnait à la tête de la Camargue peu soumise aux influences salines. En 1800 il n'y avait que 8 000 ha de terres cultivables en production de céréales. Actuellement le domaine agricole occupe environ le tiers du territoire avec toujours un développement plus important dans la partie nord et le long de deux bras actuels.

* mesurée par l'évaporomètre Piche. L'évaporomètre Colorado donne 1 040 mm

** nous avons fait un calcul de l'évapotranspiration réelle par la formule de Turc pour l'année 1968 qui est une année assez voisine de la moyenne.

$$E_r : \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

avec E_r : évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : hauteur des précipitations annuelles en mm.

L : $300 + 25 T + 0,05 T^3$: pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T : température annuelle moyenne de l'air en degré C.

Nous prenons comme P, T la moyenne des précipitations en Camargue pour 1968.

P : 579 mm et T : 14,5°.

On trouve E_r : 485 mm environ, chiffre très inférieur de la réalité. En Camargue donc, la formule de Turc ne peut pas être utilisable et une des principales causes d'erreur est l'influence très importante du vent.

On cultive essentiellement des céréales, de la luzerne, de la vigne et surtout du riz (70 % du domaine agricole). Les surfaces des rizières passèrent de 200 ha en 1942 à 19 500 ha en 1960. Depuis ce chiffre semble être stabilisé sinon en légère régression.

Les cultures du riz surtout et de la vigne nous intéressent plus particulièrement en raison de leur influence sur la nappe. La vigne (3 000 ha environ) ne peut prospérer ici que par une submersion en hiver pendant 40 jours dans le double but de dessaler le sol et de détruire le phylloxéra.

Le riz nécessite un apport d'eau considérable (40 000 m³/ha) et la rizière est en submersion pendant quatre à cinq mois par an.

Nous examinerons plus en détail ces questions aux chapitres d'hydrologie superficielle et d'hydrogéologie.

Enfin il faut signaler qu'une grande partie de la Camargue méridionale a été mise en réserve naturelle de 15 à 18 000 ha dont 7 000 ha appartiennent au seul Vaccarès. Cette réserve a pour but d'assurer la sauvegarde du milieu naturel et biologique exceptionnel de cette région.

		PRÉCIPITATIONS (en mm)				TEMPÉRATURES (en degrés)			
		Arles	Tour du Vallat	Salin de Giraud	Stes Maries	Arles		Salin de Giraud	
						min.	max.	min.	max.
1967	J	23,1	26,3	17,6	33,4	1,8	11,1	3,0	9,3
	F	56,4	61,6	56,0	107,0	3,8	13,3	4,7	8,5
	M	7,1	12,1	11,9	1,6	6,9	16,8	7,5	15,3
	A	21,8	15,7	15,9	0,0	7,8	19,9	8,4	18,7
	M	25,3	6,3	5,1	7,9	11,2	27,3	12,9	20,4
	J	40,1	14,5	8,1	27,0	14,0	25,9	15,3	24,7
	J	6,2	0,1	1,0	manque	18,4	30,4	20,4	29,1
	A	12,9	24,9	9,7	41,4	18,1	31,7	13,0	27,9
	S	20,0	manque	32,0	21,8	14,1	25,7	15,4	23,5
	O	21,7	manque	92,7	7,5	12,1	24,6	13,5	21,9
	N	119,6	manque	206,5	107,2	6,9	16,5	8,0	16,0
	D	6,6	manque	9,9	manque	0,4	9,4	0,4	7,6
1968	J	4,6	?	2,9	0,0	1,6	11,4	4,5	9,9
	F	85,2	manque	93,1	75,4	4,8	12,7	4,0	11,0
	M	3,8	manque	14,0	10,0	5,0	16,5	4,8	14,3
	A	48,9	manque	53,8	78,1	8,3	20,6	9,1	17,0
	M	97,7	manque	45,2	64,5	9,5	21,7	12,3	20,2
	J	57,8	manque	59,2	26,0	13,3	26,7	15,8	23,9
	J	1,1	1,0	1,0	0,0	18,5	26,8	18,3	29,7
	A	29,7	14,2	17,7	13,0	16,5	28,1	17,3	25,8
	S	86,8	48,1	111,4	117,5	13,7	25,2	14,7	23,0
	O	26,2	29,7	28,5	14,5	12,0	22,8	12,3	21,1
	N	120,2	102,4	88,4	25,7	6,48	15,04	6,35	13,0
	D	59,4	89,3	138,9	36,2	2,9	10,4	3,1	9,0
1969	J	95,1	57,4	36,7	manque	3,2	12,4	2,9	10,8
	F	77,2	manque	55,1	68,0	0,9	11,2	0,0	8,3
	M	96,7	114,6	107,0	manque	6,1	15,4	5,6	12,0
	A	42,0	49,8	34,3	56,8	7,4	19,7	7,9	15,4
	M	64,9	55,4	49,6	48,0	12,0	23,6	12,0	18,3
	J	85,2	manque	36,1	manque	13,7	25,9	14,3	22,1
	J	24,2	85,1	18,8	manque	15,4	29,8	16,8	26,2
A	37,6	5,2	0,5	manque	17,1	30,1	17,1	25,8	
moyennes									
1967	360,8	362	386,4		9,6	21,9	9,8	18,5	
1968	321,4		654,0	461,5	9,4	19,8	10,5	18,1	

DEUXIEME PARTIE

ÉTUDES GÉOLOGIQUES

HISTORIQUE

Depuis l'antiquité la Camargue a suscité de la part des géographes et des géologues de multiples travaux dont l'historique est exposé dans les travaux de Mme C. DUBOUL-RAZAVET (114) et F. BOURDIER (52).

E. DE BEAUMONT (1845) est un des premiers à chercher à expliquer la formation du delta et à montrer le rôle des cordons littoraux dans la sédimentation littorale. GAUTHIER-DESCOTTES (1850-1880) établit une chronologie des déplacements que subissent les anciens bras du Rhône et celle de la formation de la Camargue, E. DESJARDINS (1866 - 1876) et Ch. MARTINS (1874) étudient également ces questions tandis que, à la même époque, E. DUMAS (1875) retrace avec plus de détail l'histoire de la formation et de l'évolution de la Camargue; il précise le tracé des cordons littoraux et détermine leur faune de mollusques. En 1889 FONTANNES présente la première édition de la carte géologique au 1/80 000 d'Arles. Au début de notre siècle Th. PICARD (1901) étudie la genèse des cordons littoraux et groupe les résultats obtenus par des séries de sondages exécutés pour divers buts : au début de l'«époque moderne» (Quaternaire) le Rhône dépose à 20 ou 30 m en dessous de son niveau actuel un delta torrentiel à gros galets, une phase de dépôts fins suit, d'abord continentale puis marine, recouverte par une deuxième phase semblable avant la phase continentale palustre actuelle.

De LAMOTHE (1921) pour expliquer la présence de tourbes très au-dessous du niveau actuel de la mer fait appel à la théorie eustatique au lieu de l'hypothèse d'une subsidence. H. BAULIG (1927) reprend quant à lui les mêmes idées mais à la lumière du glacio-eustatisme selon lequel le cône torrentiel sous la Camargue serait contemporain de la rétention des eaux en surface des continents par les glaciers lors du maximum würmien. J. REPELIN (1930) et DENIZET décrivent la morphologie et les différents stades de la formation de la Camargue.

R.D. OLDHAM (1925-1934) étudie les cartes anciennes et se basant sur des témoignages archéologiques conclut que la Camargue a subi un notable affaissement historique (6 m depuis le VII^{ème} siècle). L. FRANÇOIS (1935) établit les déplacements récents du littoral et P. GEORGES (1935) décrit de nouveau les phases de l'évolution de la région du Bas-Rhône. L'étude morphologique de RUSSEL (1942) tend à reconstituer le trajet exact des différents bras du Rhône et à comparer le delta à celui du Mississipi.

Nous devons au très important travail de G. DENIZOT (1922-1949) la connaissance des différentes phases paléogéographiques du delta. Les recherches pétrolières en Camargue ont enrichi inappréciablement nos connaissances de sa constitution et de son histoire géologique et sédimentologique. Mme C. DUBOUL-RAZAVET (1949-1955), A. BONNET (1952-1966) et les sédimentologues hollandais (DOEGLAS, KRUIT, ANDEL 1951-1955) apportent avec leurs travaux des connaissances de grande valeur sur les sédiments actuels et anciens et sur la constitution intérieure du delta.

Actuellement le travail en cours de C. TONI du Service des Sols de la B. Rh. L sur les sols de Camargue apporte des renseignements circonstanciés sur la géomorphologie et la constitution lithologique de la surface du delta. Enfin, nous espérons que notre étude basée sur les résultats d'une étude géophysique et des sondages de recherche d'eau contribue par d'utiles renseignements et précisions à la connaissance de la constitution du Quaternaire en Camargue. Le but pratique de l'étude (hydrogéologie) et le temps disponible ne nous ont permis, jusqu'à présent, de n'aborder que sommairement un certain nombre de problèmes dont l'étude approfondie serait à entreprendre à l'avenir (étude faunistique détaillée du Quaternaire récent et reconstitution du milieu sédimentologique ; étude qualitative du cailloutis pléistocène ; structure récente du delta ?).

CHAPITRE III

SÉDIMENTOLOGIE ET ÉVOLUTION ACTUELLE DU DELTA
DU RHONE

Ce chapitre est une synthèse des travaux existants mais nous nous sommes en particulier grandement inspirés des travaux de C. KRUIT⁽¹⁵⁵⁻⁵⁶⁾ et surtout des publications de Mme C. DUBOUL-RAZAVET⁽¹⁰⁹⁻¹⁵⁾ auxquelles nous avons fait de larges emprunts. Par ailleurs nous faisons quelques remarques basées sur des résultats de l'étude pédologique de la Compagnie du Bas-Rhône-Languedoc et des sondages que nous avons effectués pour l'étude hydrogéologique du delta.

SÉDIMENTATION LITTORALE

Sur certaines côtes il y a progression de l'appareil littoral par les apports du Rhône mais la mise en place des sédiments est faite par la mer et dépend des conditions hydrodynamiques marines. Ces sédiments, où les éléments grossiers font défaut à l'époque actuelle, se soumettent à une sorte de lavage : les parties argileuses facilement délayées sont entraînées par le courant et portées dans le golfe à une certaine distance de la côte, tandis que les parties sablonneuses, dont la précipitation est plus rapide, tombent dans l'estuaire et sont ensuite ramenées sur les bords par le mouvement incessant des vagues.

«Le promontoire du Grand Rhône avance par accolement frontal des cordons littoraux émergés primitivement en îles. Avec cette avancée le grau oriental s'élargit par érosion de sa rive gauche, sous l'action des vents de secteur Ouest, et surtout du Mistral dominant (portant sur cette portion de la berge), puis sur l'embouchure élargie apparaît une nouvelle île. Corrélativement, le grau occidental se colmate peu à peu. Ainsi s'explique la migration progressive de l'embouchure principale vers l'Est». (114). (fig. 13)

Au contraire le Petit Rhône recule par insuffisance d'apport et évolue en estuaire *. (fig. 14)

Nous avons signalé plus haut que la mer et les conditions hydrodynamiques marines jouaient un rôle essentiel dans la mise en place des sédiments fournis principalement par le Rhône ; ainsi des accumulations peuvent se produire très loin des zones d'apport et indépendamment du débit du fleuve « Telles sont la pointe de Beauduc et celle de l'Espiguette à l'Ouest du Petit Rhône. Le jeu des transferts latéraux et des contre-courants de fond compensateurs y détermine, malgré l'absence d'apports directs massifs, un remblaiement actif sur le versant Ouest de ces pointes**, grâce à l'action dominante des vents continentaux (qui dans ce cas particulier sont ceux du Sud-Est) et au faible effet dispersif des vents portants (Mistral) sur une étendue trop réduite de la côte».

« Dans la région de Palavas-Carnon, les apports s'épuisent par éloignement des sources d'alimentation. Un recul des rivages par dispersion et transfert se produit. La côte de Faraman recule également par destruction du talus deltaïque du Bras de Fer et la dominance des effets dispersifs»***.

* Les Stes Maries de la Mer, séparées de la mer à la fin du siècle dernier par une plage de 800 m se trouvaient menacées par les eaux dès 1930. D'après C. KRUIT (155) le village était situé à 5 km au moins de la côte pendant l'extension maximum du littoral.

** Pour ces régions les houles du Sud-Est qui sont les plus destructives ailleurs, n'ont qu'un effet érosif négligeable à cause de l'orientation de leurs côtes.

*** Ce recul n'implique pas obligatoirement à l'heure actuelle un affaissement du sol mais est dû à l'éloignement a priori des apports du fleuve (P. GEORGES, L. FRANÇOIS)

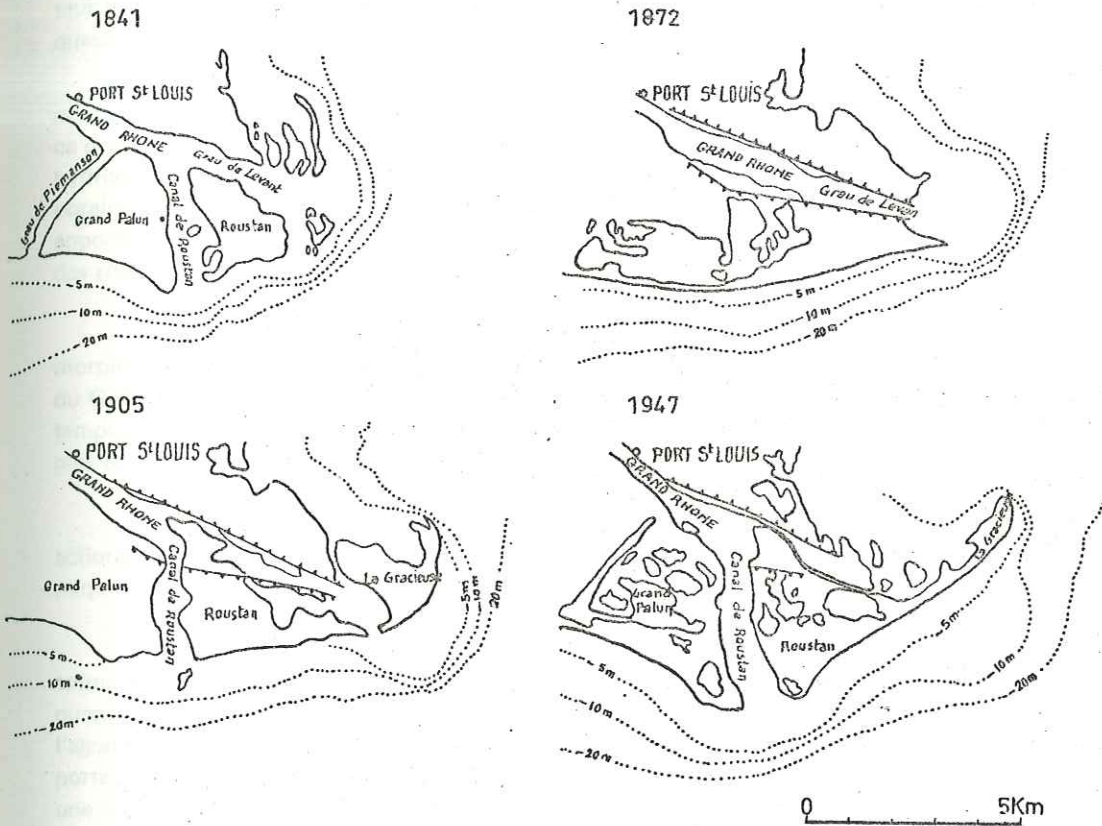


Fig 13 - EVOLUTION DE L'EMBOUCHURE DU GRAND RHONE (C. KRUIT, page.25)

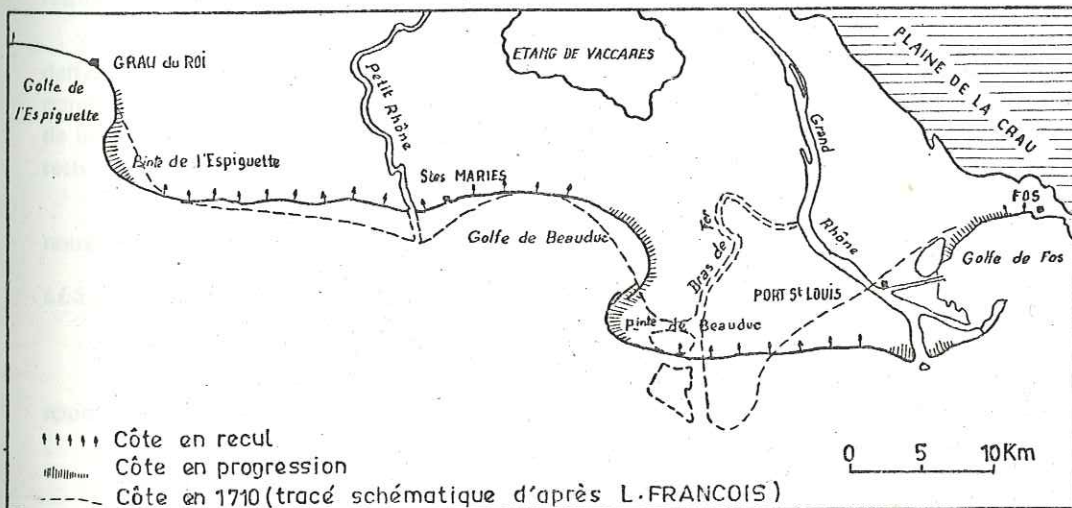


Fig 14 - EVOLUTION RECENTE ET ACTUELLE DU LITTORAL CAMARGAIS

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

«Finalement les phénomènes littoraux présentent une grande complexité ; une même cause pouvant engendrer, au même moment, des conditions hydrodynamiques très variables selon la localité considérée. Le facteur essentiel de cette diversité reste l'orientation des rivages par rapport aux vents dominants et aux houles obliques.»

«Le mouvement résultant de la mer et des terres ne provoque pas, sur les côtes meubles l'apparition des caractères morphologiques typiques de leur évolution. Cela tient au fait que dans l'ensemble du delta, l'alternance des transferts de sens différents, accompagnée ou non d'effets dispersifs, engendre, en fonction des conditions hydrodynamiques liées aux vents, une alternance de reculs et d'avancées qui sont à l'origine de profondes et temporaires variations de la morphologie du rivage. Cette instabilité est encore accrue par la nature du matériel sableux apporté par le fleuve, dont le caractère meuble permet un entraînement facile et donne de rapides modifications des régions littorales.»

«Au contraire le cas des sédiments lourds (galets) ou argileux assurent une certaine stabilité de leur morphologie qui reflète alors l'évolution résultante des divers phénomènes comme par exemple les falaises érosives du Golfe de Fos. Par contre l'existence d'une falaise érosive sableuse au contact de la mer marque donc un recul temporaire, mais n'indique rien quant à la marche générale de l'évolution et peut bien s'observer sur des côtes stables ou même en voie de progression (Beauduc).»

«En un mot l'évolution du littoral est surtout déterminée par le jeu des actions de transfert et des actions dispersives. En plus les déplacements éoliens contribuent encore à accentuer les phénomènes hydrodynamiques.» (114)

A l'arrière des rivages il y a colmatage des étangs et évolution en sansouires. Le mécanisme de ce colmatage est très particulier. «Dans la zone septentrionale l'érosion des berges limoneuses au vent a pour conséquence, la mobilisation des matériaux fins, remis en suspension, qui vont se déposer au centre des dépressions, et l'agrandissement corrélatif des surfaces lagunaires. Au Sud, l'évolution se complète par un remblayage dû à des apports marins (houle du Sud-Est) et à des transports éoliens sableux. Ces phénomènes provoquent du Sud au Nord une sédimentation successivement sableuse, sablo-vaseuse, puis vaseuse». (114)

SÉDIMENTATION A L'INTÉRIEUR DU DELTA

A l'intérieur du delta les formations les plus récentes sont en général visibles en surface. Elles correspondent, comme nous l'avons vu au chapitre II :

- aux micro-reliefs, tels les cordons dunaires qui apparaissent vers le Sud dans la partie la plus récente du delta. Ils sont bordés vers le Nord par d'anciens rivages marins d'une origine différente. On y retrouve encore de nombreuses zones de surélévation qui sillonnent une grande partie de la surface de la Camargue et sont constituées de limons plus ou moins argileux et souvent de sables plus grossiers que ceux du littoral et qui représentent les restes des anciens bras du Rhône, atterris ou parfois en cours de destruction*.

- aux dépressions, marais ou étangs qui sont enserrées par les reliefs précédents et qui s'étendent, ainsi que nous l'avons vu, sur une grande surface de la Camargue .

LES CORDONS

Les anciens cordons ont pu subsister, comme le dit Mme C. DUBOUL-RAZAVET (114) grâce :

- à une longue période de stabilité des rivages pendant laquelle un cordon, bien enraciné et alimenté par les apports continus, peut lutter contre l'ensevelissement et résister aux érosions ultérieures (Sylve Godesque);
- à une région d'avancée assez rapide pour éviter le recouvrement par colmatage des anciennes lignes de rivage.

* Or depuis l'endiguement seuls le vent et l'action humaine peuvent intervenir comme facteurs érosifs.

Les dunes des cordons subissent des attaques éoliennes incessantes et si une végétation ne les protège pas, elles se dispersent et s'allongent suivant la direction des vents dominants, ou même disparaissent totalement. Mme C. DUBOUL-RAZAVET distingue parmi ces cordons dunaires des anciens rivages stables, des levées périllittorales et des cordons littoraux typiques.

Les anciens rivages stables

Ils apparaissent à la surface du delta dans les zones à l'Est et à l'Ouest de la Camargue.

Ces anciens rivages se distinguent des autres cordons par :

- la grande largeur de la bande littorale ;
- la présence des galets à l'enracinement du cordon ;
- une faune spéciale de mollusques plus ou moins abondante.

D'après des résultats des sondages ils s'enracinent profondément ce qui explique d'après le même auteur « un remblaiement continu à la faveur de la subsidence du delta et la stabilité locale de la ligne du rivage au cours de la transgression flandrienne ».

A l'Est du Grand Rhône, un ancien rivage a été emouï sous les alluvions du Bras Mort (l'île de Lansac)*. A l'Ouest (en Petite Camargue), le plus ancien rivage maritime (114) paraît être celui de la Sylve Godesque au Nord d'un système complexe de cordons d'orientation et d'origine différentes**.

Les levées périllittorales

Elles se rencontrent dans la région à l'Ouest du Petit Rhône au Sud de la Sylve Godesque et correspondent à des bras périllittoraux édifiés par le Rhône à proximité de ses embouchures. Elles ont une origine mixte car elles étaient en même temps rivages et levées du fleuve, et contiennent des mollusques marins.

Les cordons littoraux typiques

Ces cordons sillonnent la région occidentale de la Camargue (région des Saintes Maries), sont allongés dans le sens du Mistral et d'après Mme C. DUBOUL-RAZAVET ont dû faire partie des « apports successifs du promontoire deltaïque du Rhône de Saint Ferréol ». Ils sont massifs et assez continus quel que soit leur mécanisme de formation.

Plus à l'Est, au centre et à la partie orientale de la Camargue existent encore plusieurs cordons dunaires ou dunes isolées mais placées en alignement (voir chapitre II : les montilles et fig. 5) ; l'avancée rapide des terres a permis (114) leur maintien en surface***.

* Les sables fins et les galets remaniés par la mer et d'origine durancienne de ces dunes contiennent une faune où dominant comme sur les rivages analogues de l'Ouest les *Pectunculus insubricus*, *Cardium edule*, *Loripes lactens*, *Cerithium vulgatum*.

** Il renferme des mollusques comme : *Pectunculus insubricus*, *Cardium tuberculatum*, *Donax*, *Corbulomya*...

*** Plusieurs auteurs (E. DUMAS (116) et autres) pensent que le cordon de Rièges est la suite de la Sylve Godesque. Mme C. DUBOUL-RAZAVET considère cette hypothèse comme peu vraisemblable car les séries sableuses de Badel et du Nord de Consécanière qui les séparent, semblent plus récentes. Au contraire l'emplacement topographique des dunes de Frignands et de l'île de Mornès (fig. 5) font penser (c'est le cas de C. KRUIT) que ce sont elles qui constituent le prolongement de la Sylve Godesque.

Ici les galets disparaissent totalement «par éloignement des zones d'alimentation et par suite du recouvrement des anciens rivages» (114). Ces cordons qui forment (au centre) des chainons longs et étroits isolés ou groupés mais séparés par des lagunes vaseuses sont encore caractérisés, à l'inverse des anciens rivages stables, par l'absence des mollusques * et subissent un ensevelissement partiel sous une sédimentation fine. Leur enracinement n'est généralement pas profond et les sables du cordon passent progressivement aux sables vaseux des fonds littoraux**.

LES ANCIENS CHENAUX DU RHONE

Certains de ces anciens chenaux peuvent être masqués sous l'accumulation des sédiments, à la faveur d'alluvionnements successifs. Ceux qui sont encore visibles en surface ont été abandonnés à une date plus récente. La répartition de ces chenaux a été décrite au chapitre II.

Les bourrelets des anciens bras du Rhône sont constitués d'alluvions limoneuses ou limono-argileuses renfermant par endroits des niveaux sablo-limoneux plus abondants semble-t-il dans les parties centrales. La texture devient de plus en plus fine en s'éloignant des bords et en s'approchant des dépressions où les marais se sont établis (fig. 6, 7 et planche hors texte I)

LES ÉTANGS — LES MARAIS

Les cordons et les levées du fleuve limitent des zones de dépression parsemées d'étangs et de marais, «dont l'évolution sédimentaire est fonction de la topographie et de leur maturité morphologique» (114).

Le plus intéressant des étangs est le Vaccarès :

«Le Vaccarès s'agrandit depuis longtemps par suite de l'attaque de ses rives sous l'effet des vagues poussées par les vents portants qui élèvent le niveau des eaux le long des rivages vers lesquels ils soufflent. Le phénomène est souligné par la présence des petites falaises d'érosion subverticales».

L'agrandissement des étangs «reste lié à l'insuffisance des apports alluviaux. L'endiguement du fleuve prive aujourd'hui le delta des apports limoneux et explique l'accélération de l'érosion généralisée des étangs. La perte sédimentaire, au cours de la sortie des eaux en mer, n'est plus compensée en effet par les dépôts des crues du Rhône». Les roubines de drainage n'amènent que des eaux décantées ou parfois chargées des troubles enlevés aux terres cultivables des rizières, et n'apportent pas une amélioration de la situation.

«Son niveau moyen de base s'abaisse, les terres subissent la grave menace de l'extension du «salant» et la Camargue se verra menacée de submersion à échéance plus ou moins lointaine d'autant plus que la région est légèrement subsidente»*** (114).

* Sauf pour les montilles de Marquise où on a trouvé *Murex brandaris* (G. DENIZOT)

** Étant donné que ces cordons sont azoïques, il n'y a aucune preuve qu'ils correspondent à des rivages marins. Il pourrait donc s'agir de cordons dunaires marquant par exemple le rivage d'un ancien lac, en arrière d'un cordon littoral vrai (Comme par exemple les dunes du Petit Argence aux environs du Petit Rhône en Tête de Camargue d'après J.P. POGGI (185) , J. BARRIERE)

*** En raison de sa faible profondeur, le Vaccarès est agité jusqu'au fond par les vents violents et les sédiments surtout vaseux remettent en suspension une grande quantité des produits qui se trouve entraînée dans les étangs du Sud et vers la mer.

D'après les mesures de G. TALLON (218) suivant le grand axe du Vaccarès, le fond de celui-ci se serait abaissé de 0,45 m de 1837 (mesure de POULLE ; fond : - 1,57 m N.G.F.) à 1953 (mesure de TALLON fond : - 2,05 m N.G.F.). Au contraire les cotes des terrains situés dans le Sud-Est du delta, où on a des mesures récentes (Compagnie SALICAM), sont restées inchangées.

En Basse Camargue, les étangs limoneux saumâtres de la bordure littorale, moins profonds mais très vastes, jalonnés d'îlots, communiquent entre eux en hiver, s'agrandissent et se comblent rapidement.

«Le recul des rivages se produit par le même mécanisme que dans les étangs du centre, mais ici contrairement au Vaccarès une grande partie des sédiments se dépose sur place au centre des lagunes où elle se mêle aux dépôts dus à la décantation des eaux turbides venues de la région du Vaccarès ». (114)

Il faudra enfin noter l'influence de la digue à la mer qui prive les étangs intérieurs des apports maritimes qui facilitaient jadis leur comblement.

Au Nord de la Camargue les marais sont situés au-dessus du niveau lagunaire général et plus ou moins à l'abri de la remontée du sel. Ils se colmatent lentement dans qu'apparaissent des phénomènes érosifs secondaires à cause de la présence d'une végétation plus dense que, sans les étangs salés et d'un fond moins profond et moins couvert par l'eau.

DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES

Nous présenterons au chapitre V les caractères de texture et de granulométrie représentatifs des différents dépôts.

En ce qui concerne la nature des argiles que renferment les sédiments du delta, Mme C. DUBOUL-RAZAVET signale l'illite, kaolinite, montmorillonite, hydrobiotite, chlorite etc.. «en proportions variables suivant les lieux de prélèvement.

Les variations sont consécutives à l'apport des divers affluents du Rhône (provenant des régions différentes) et aux perturbations de leur débit respectif.»

CHAPITRE IV

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

Pour l'étude géologique de la Camargue, pays plat n'offrant pas des coupes naturelles, la seule méthode et technique de travail est l'étude des sondages ou des investigations géophysiques et la connaissance géologique des régions limitrophes.

INTRODUCTION - HISTOIRE ANTEPLIOCÈNE

La constitution de la plaine du Bas-Rhône est relativement récente. A partir de la fin du Jurassique et pendant la plus grande partie du Crétacé sur toute la Provence à l'Ouest du massif émergé des Maures, se déposent des sédiments calcaires sur une grande épaisseur. Une émergence amenant l'apparition de l'isthme durancien d'orientation transversale au Rhône actuel se produit à l'Aptien avec formation des bauxites ; cette émergence est suivie d'une transgression marine puis des dépôts fluvio-lacustres. Pendant ce dernier dépôt une première phase orogénique se produit avant la fin du Crétacé (Maestrichtien). A la fin de l'Eocène se situe une phase orogénique importante (bartonienne) qui détermine la structure profonde de la région et l'apparition des Alpilles, des chaînes de la Fare et de la Nerthe. Cette surrection est suivie d'un effondrement qui est à l'origine des bassins oligocènes de Marseille et d'Aix et du delta du Rhône limité au méridien d'Arles*. Avec la fin de l'Oligocène la transgression aquitanaise envahit la zone effondrée du delta du Rhône mais n'atteint pas la Crau comme le fera la mer burdigalienne qui avec des molasses et marnes recouvrira même partiellement les Alpilles pénéplanées et pénétrera dans le bassin de la Durance.

La transgression se développe au Vindobonien avec toujours des molasses et marnes («Schlier») mais on ne trouve pas de trace de sédiments du Miocène supérieur (érosion pontienne) et on passe aux dépôts marins du Pliocène et du Quaternaire.

Avec la régression marine du Miocène une autre phase orogénique importante (alpine) rajeunit les plis formés lors de la phase pyrénéenne et déforme le Miocène. Lors de cette phase alpine, la chaîne des Alpilles se soulève tandis que la région située au Sud s'affaisse formant une dépression où arrivent les eaux du Rhône et de la Durance, alors séparées. Des sondages profonds (région de Fos-sur-Mer) ont mis en évidence des accidents d'orientation Nord Nord-Ouest - Sud Sud-Est, affectant le substratum miocène, tardives manifestations de la phase orogénique alpine.

LE SUBSTRATUM DU QUATÉNAIRE DE LA CAMARGUE

Dès le début du Pliocène, après la phase d'érosion fluviale du Miocène terminal (Pontien), la mer envahit la vallée du Rhône en formant un immense fjord qui montait jusqu'aux environs de Lyon** (fig.15).

La transgression a été brutale d'où l'absence de conglomérats de base ; elle recouvre les reliefs anté-pliocènes que la mer miocène n'a pas pu atteindre.

* L'orientation approximative Nord-Sud du Rhône reste l'oeuvre du soulèvement alpin ; le massif pyrénéo-corsu-sarde maintient pendant une longue période un réseau hydrographique de répartition très différente (97).

** Cote maximum de la mer pliocène considérée à 180 m environ.

LE PLAISANCIEN

La série pliocène essentiellement fine, débute par le Plaisancien. Celui-ci est constitué par des argiles et des marnes gris-bleu avec des intercalations marno-sableuses surtout rencontrées vers le sommet. Ces terrains affleurent hors de la Camargue en une étroite bande, sur le rebord sud-est de la Costière sous le cailloutis. A l'Ouest leur maximum de puissance reconnue par sondage, est de 620 m à Générac et leur minimum de 35 en Vistrenque. Au Sud-Ouest dans la région d'Aigues-Mortes le Pliocène marin (Plaisancien plus Astien) montre plus de 1 000 m de puissance sur le Burdigalien. A l'Est, il règne aussi sur une grande épaisseur sous la Crau.

L'identité de composition lithologique, minéralogique et paléontologique indique une grande rapidité de sédimentation en accord donc avec l'hypothèse d'une invasion brutale du continent pontien.

La faune des mollusques qu'il contient (trouvée aussi bien dans les affleurements que dans les sondages) est : *Ostrea cochlear* var *navicularis*, *Arca barbata*, *Venus multilamella*, *V. islandicoides*, *Corbula gibba*, *Nassa semistriata*.

L'ASTIEN

Le faciès type de l'Astien est celui des sables jaunes ou verdâtres, plus ou moins argileux avec intercalation d'argile pure. Le passage du Plaisancien peut se faire soit insensiblement par des alternances répétées des couches d'argile et de sable, par des passages latéraux (fig. 16) ou être marqué par de petites intercalations gréseuses ou calcaires. Dans la région à l'Est de Saint Gilles, sur le talus sud-Ouest de la Costière, aussi bien que sous la Crau les sables se chargent en galets (annonçant le Quaternaire torrentiel), composés essentiellement des galets de quartz, de quartzites et de calcaire. Enfin fréquemment surtout dans les régions sud-occidentales ce faciès se termine par un niveau d'argile jaune à nodules de calcite pulvérulente épais de 1 à 3 m, qui pourrait correspondre à un niveau lacustre ou saumâtre consécutif au retrait définitif de la mer pliocène (65).

Au-dessus de ce Pliocène marin on peut distinguer un cailloutis fluviatile attribué au Villafranchien par J.P. SCHWOBTHALER et H. VOGT (210) mais que G. DENIZOT considère comme un faciès fluvial de l'Astien.

Dans le faciès astien et avec le changement de la granulométrie depuis le Plaisancien, apparaissent des faunes plus abondantes et de caractère littoral. Les principaux représentants sont : *Nassa semistriata*, *Corbula gibba*, *Corbulomya mediterranea* (114), *Arca diluvii*, *Meretrix chionae*, *Donax semistriatus*, *Cardium paucicostatum*. Souvent des espèces saumâtres s'y mêlent, soulignant l'amorce de la régression de la mer, comme *Potamides basteroti*, *Bittium reticulatum*, *Cardium edule* (114).

La série astienne a une puissance extrêmement variable, liée aux conditions de sédimentation et à l'érosion du Pliocène terminal. L'Astien semble être absent dans certaines parties orientales de la Costière (environs de Meynes). A Générac, sa puissance est de 35 à 50 m, ailleurs en Costière et en Vistrenque où il est conservé, elle est d'une dizaine de mètres environ.

Sous la Camargue le Pliocène (Plaisancien et Astien) a une puissance très variable :

Dans la région des Saintes Maries il est absent et le Quaternaire repose sur le Kimméridgien à 115 m de profondeur. A Beauduc il a plus de 800 m d'épaisseur (de 52 m à 894 m). Dans la région de Villeneuve il se trouve à 35 m de profondeur et sa puissance est de 450 m ; à Sainte Cécile il est situé à 42 m de profondeur avec une épaisseur de 550 m ; dans la région d'Albaron à l'Ouest du Petit Rhône il fait 180 m et à l'Est 310 m.

En rive occidentale du Vaccarès, le Pliocène a une épaisseur énorme de plus de 1 000 m et repose sur le substratum ante-burdigalien marin, (le faciès du Miocène fait défaut à la suite de l'érosion pontienne). Par contre à la tête de la Camargue près d'Arles il est beaucoup moins épais (52 à 92 m).

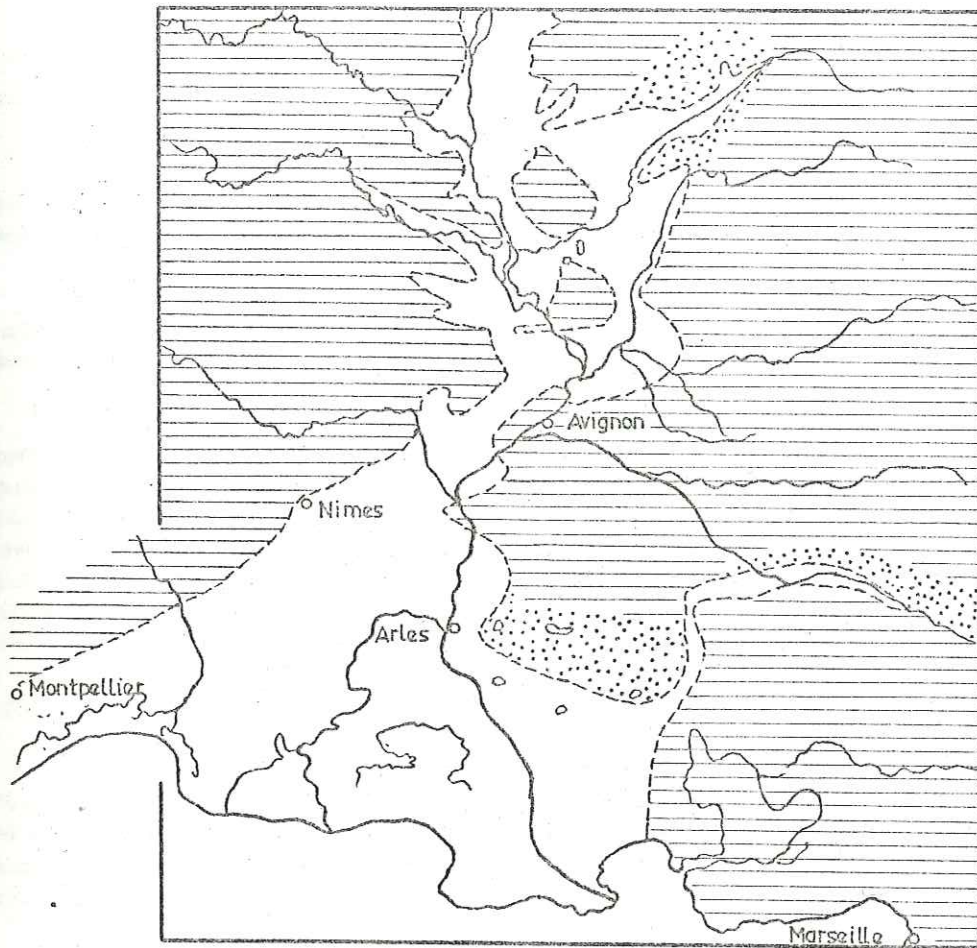


Fig 15. EXTENSION DU PLIOCENE DANS LA REGION DU BAS-RHONE
 Pliocène marin en blanc; grands apports détritiques en pointillé
 (hors de l'extension marine)
 (d'après G.DENIZOT)

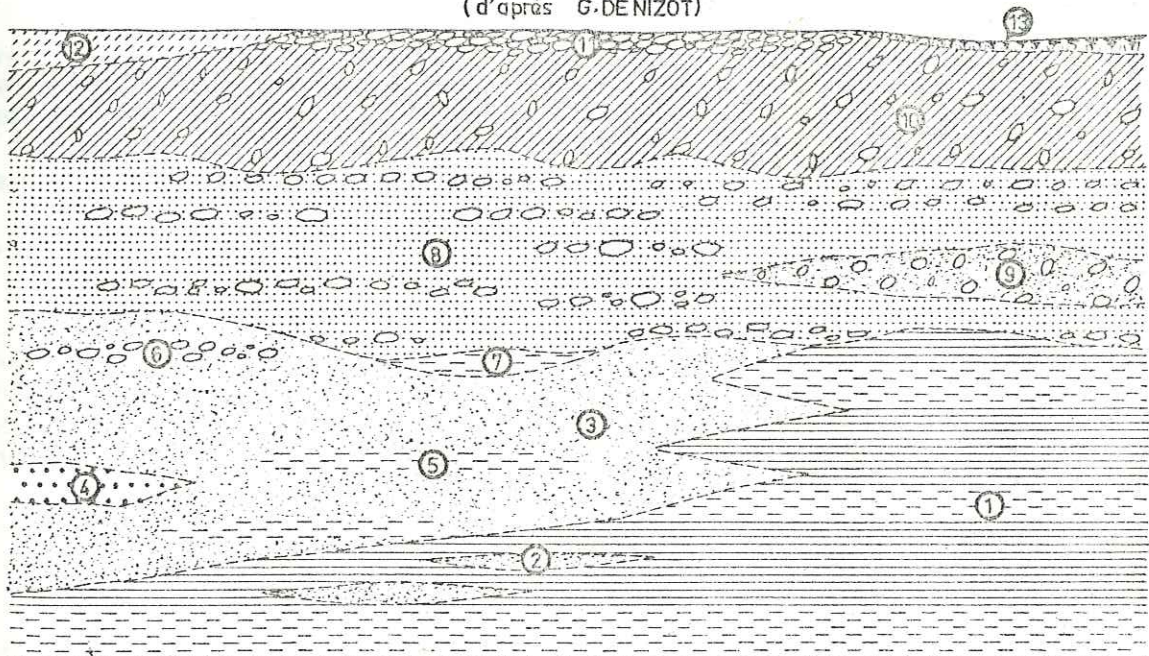


Fig 16 - FACIES DU PLIOCENE ET DU QUATERNAIRE EN COSTIERES ET VISTRENQUE

Pliocène marin faciès Plaisancien: 1: argiles et marnes bleues; 2: lentilles sableuses; faciès Astien: 3: sables; 4: lentilles de grès
 5: lit d'argile; 6: cailloutis fluviomarins; 7: argile jaune à calcite pulvérulente; Villafranchien: cailloutis et sables lités à (Marvernensis)
 9: lentille de cailloutis consolidés; Quaternaire: 10: cailloutis en vrac à matrice altérée; 11: cailloutis libre de surface; 12: Loess;
 13: dépôts des étangs.
 (d'après G. CHEYLAN)

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

L'AMPLEUR DU COMBLEMENT PLIOCENE

L'épaisseur variable (nulle aux Saintes Maries) et souvent très considérable (plus de 1 000 m au Vaccarès) du Pliocène dans la basse vallée du Rhône implique l'existence d'un ancien relief très accusé à la fin du Miocène (topographie pontienne). L'importance de l'érosion pontienne et du comblement pliocène a été déjà supposée par M. FONTANNES et Ch. DEPERET. Plus tard G. DENIZOT (99) et surtout A. BONNET et Mme C. DUBOUL-RAZAVET (44) se basant sur des résultats des sondages de la Société Nationale des Pétroles Languedoc-Méditerranée (SNPLM) ont fait connaître la puissance très variable et parfois très importante du Pliocène de la plaine du Bas-Rhône et donc l'existence d'un relief très accusé.

L'ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène ont été établis avec plus de précision et plus de certitude (preuves faunistiques) par L. BEAUFORT, J. BRUNEAU, A. GREPIN et Y. JULLIAN (22), par l'étude des travaux de recherches pétrolières de la même Société. En groupant sur carte les données des forages, de la sismologie et de la gravimétrie les auteurs ont pu esquisser une topographie pontienne comportant des vallées de 600 m de profondeur remplies d'argiles pliocènes qui se continuaient en dessus de ce remplissage sur 600 m (fig. 17). Un relief pontien enfoui ressort à l'emplacement des côtes actuelles séparant les dépressions continentale de la mer. « Un réseau hydrographique devait donc descendre vers ces dépressions et se diriger vers l'intérieur des terres. Ces cours d'eau descendant vers le Nord devaient rejoindre le collecteur principal, probablement le Rhône ou la Durance pontienne pour aller franchir cette barrière en un point et se jeter ensuite dans cette mer intérieure qu'était devenue la Méditerranée pontique ». (22)

Cette énorme épaisseur du Pliocène (peut-être plus de 1 500 m à Saint Gilles) ne saurait s'expliquer comme le montre les même auteurs par la théorie eustatique : il est géophysiquement impossible d'admettre un niveau de la Méditerranée de 1 500 m inférieur à l'actuel. Il faut donc faire appel à des mouvements de subsidence qui se sont vraisemblablement prolongés au-delà du Pliocène, mais assez faiblement si on en juge par les variations d'épaisseurs des dépôts quaternaires.

LE QUATERNAIRE CAILLOUTEUX (Pléistocène)

Au-dessus du Pliocène marin s'étend un vaste épanchement caillouteux continental. Avant d'entrer dans la description du Pléistocène de la Camargue où nos sondages de recherche d'eau ont apporté d'importants renseignements il est indispensable d'examiner sommairement ce même Quaternaire dans les zones limitrophes (Costière et Crau) où il affleure (fig. 18, 31).

1 - LES HAUTES TERRASSES DE LA COSTIERE DE NIMES

LE CAILLOUTIS

Cet ensemble caillouteux commence dans la région de Roquemaure et se poursuit pratiquement sans discontinuité jusqu'à Montpellier ; il est séparé des Garrigues (plateaux calcaires) de Nîmes par la dépression du Vistre, la Vistrenque*. La Costière est un complexe de plusieurs niveaux d'âges distincts mais les auteurs ne sont pas toujours d'accord quant à leur altitude relative, à leur cartographie et leur origine : surface de remblaiements, paliers d'érosion ou plateformes ayant subi des abaissements en gradins d'origine tectonique (52) J.P. SCHWOBTHALER ET H. VOGT (210) en accord avec beaucoup de chercheurs voient dans ce cailloutis deux origines :

- Un cailloutis d'origine peu lointaine issu du Massif Central. Il comprend des galets de quartz et de calcaire (Région de Remoulins, Sernhac...)
- Un cailloutis d'origine alpine (rhodanien), caractérisé par des quartzites et des galets cristallins, qui forme l'essentiel de la Costière.

La puissance du cailloutis est très variable. En Costière proprement dite il a une épaisseur de 14 m à Garons, 9 m à Caissargues. Sous la Vistrenque il atteint 20 à 35 m. A Aigues-Mortes il a 65 m sous les alluvions tines récentes.

* Les sondages de la S.N.P.L.M. révèlent que ce cailloutis existe aussi sous la Vistrenque et sous les marais et les alluvions récentes du Sud (région du Grau-du-Roi).

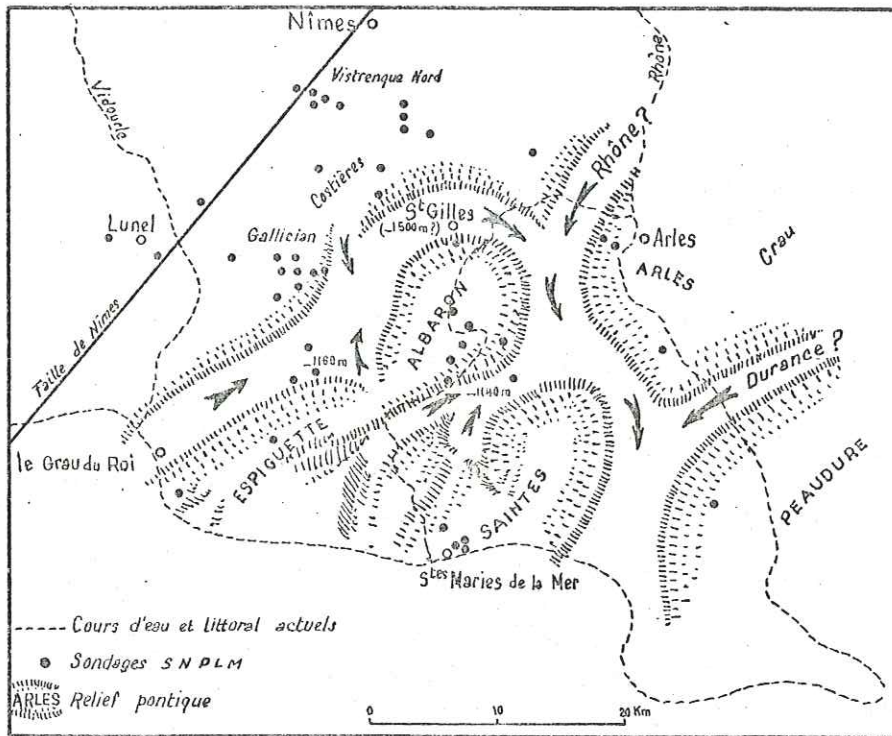


Fig 17 - ESQUISSE DE SOUBASSEMENT PLIOCENE ET INTERPRETATION DE LA MORPHOLOGIE PONTIENNE

(d'après Lucien BEAUFORT, Jean BRUNEAU, André GREPIN et Yves JULLIAN)

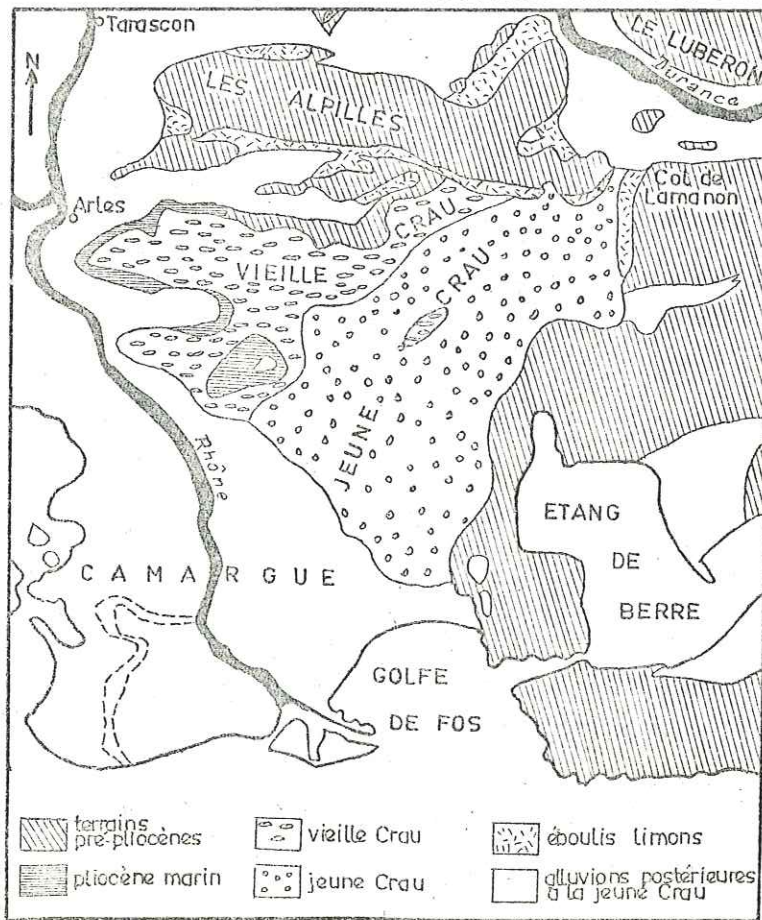


Fig 18 - ESQUISSE GEOLOGIQUE DE LA CRAU

Près de Saint Gilles une coupe montre (210) un cailloutis moyennement consolidé par un ciment calcaire. Il est constitué de : 63 % de quartzites, 33 % de quartz, 4% de calcaires avec absence de roches grenues. Il est lité et présente quelques minces niveaux de sable. La partie supérieure est très altérée et les galets sont enrobés dans une matrice rouge avec une disposition en vrac.

Une analyse donnée par J.P. POGGI (185) dans la même région de Saint Gilles montre le cailloutis assez différent surtout en ce qui concerne le nombre de galets calcaires * : quartz 41 %, silix 18 %, quartzites 17 %, calcaires siliceux 22 %, gneiss très altérés 2 %.

A l'Ouest-Nord Ouest de Bellegarde on a des alternances des cailloutis et des lits sableux : quartzites 75 %, quartz 22 %, calcaires 1 %, roches cristallines 3 %.

Un cailloutis plus récent est le « gress à gapan » **. Il porte des indices de morphologie glaciaire dus aux glaciations du Quaternaire moyen et supérieur. Ce cailloutis a : 40 % de quartz, 55 % de quartzites, 5 % de calcaires.

En plus de ce cailloutis, où on peut constater un caractère ancien par l'altération et le faible pourcentage de calcaire et l'absence de roches grenues, on peut voir le long de la bordure de la Costière entre Beaucaire et Bellegarde deux niveaux de terrasses caillouteuses d'origine rhodanienne (11) et datant semble-t-il du Pléistocène moyen et supérieur .

On distingue une terrasse à 25 m établie directement sur les marnes plaisanciennes dont des vestiges sont visibles entre les carrières de Beaucaire et Bellegarde, et une terrasse à 5 m qui s'ennoie sous les alluvions modernes du Rhône. Son cailloutis, très peu ou pas altéré (éléments de grande fraîcheur), est constitué de quartzites, calcaires, roches éruptives, vertes et métamorphiques.

LA DATATION DES DIFFÉRENTS NIVEAUX ET NAPPES DU CAILLOUTIS DE COSTIERE

F. ROMAN considérant des critères altimétriques, donne un âge pliocène *** au cailloutis se trouvant à une altitude supérieure à 100 m, le cailloutis inférieur à 100 m étant quaternaire et d'autant plus récent s'il est situé à une cote plus basse. P. GEORGE attribue le cailloutis au Pliocène tant d'après des critères altimétriques que d'après sa forte altération ; l'érosion ultérieure aurait découpé dans le remblaiement pliocène différents niveaux en fonction des variations eustatiques. E. DUMAS (116) considère l'ensemble comme pliocène en se basant sur l'existence(?) d'*Elephas meridionalis* qu'on ne regarde plus aujourd'hui comme toujours caractéristique du Pliocène.

G. DENIZOT (100) signale que la limite entre sables astiens et cailloutis est imprécise et donne à ce dernier un âge pliocène supérieur continental (Villafranchien) **** tout en acceptant la possibilité de l'existence d'un cailloutis quaternaire. P. MARCELLIN (162) pense que le gapan date du Quaternaire ancien. Les géologues de la S.N.P.L.M. estiment que la constitution minéralogique des sables des cailloutis, qu'ils placent au Villafranchien, est plus proche du Quaternaire que du Pliocène.

* Le taux élevé des galets calcaires est souvent un indice d'un apport durancien ou d'un apport d'origine locale. P. DEMANGEON (90) souligne cette influence durancienne à Saint-Gilles. D'ailleurs comme le note POGGI, ce fait est observable actuellement sur les alluvions tardi-glaciaires du Rhône et de la Durance (Durance 77 % calcaires siliceux, 5 % quartzites alpins, 18 % roches métamorphiques vertes et quartz ; Rhône : 25 % calcaires, quartzites 30 %, roches éruptives et métamorphiques 45 %.

** Sol caillouteux de couleur rouge sang due à l'altération

*** A cette époque on considérait le Villafranchien comme la partie supérieure du Pliocène. Il a été rattaché au Quaternaire depuis le Congrès Géologique International de Londres (1948).

**** Il cite *Mastodon arvernensis* dans la Costière de Saint Gilles.

Les chercheurs récents tiennent compte des caractères lithologiques, de l'étude morphologique, des conditions pédologiques, d'éolisation et de gélivation des galets. Ainsi SCHWOBTHALER ET VOGT (210) distinguent plusieurs niveaux en Costière : un cailloutis villafranchien déposé entre le retrait de la mer pliocène et la glaciation du Günz (on le trouve à Saint Gilles où il renferme *Mastodon arvernensis*) ; un cailloutis (fluvio-glaciaire) Günz (Jonquières, Bellegarde) ; un cailloutis de l'interglaciaire Günz-Mindel qui pourrait exister à Jonquières ; un cailloutis Mindel (fluvio-glaciaire) (formation de gapan).

En ce qui concerne la terrasse à 25 m de Beaucaire Bellegarde, les pédologues de la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc (B.Rh.L.) d'après le degré d'évolution et la position topographique estiment qu'il s'agit d'une formation du Mindel tandis qu'ils attribuent la terrasse à 5 m au Würm I.

L'HYDROGRAPHIE ANCIENNE

La présence du cailloutis à quartzites en Costière et sous la Vistrenque montre que le Rhône longeait la Garrigue jusqu'au Mindel, dernière formation (?) de la Costière d'après SCHWOBTHALER et VOGT, ou jusqu'au Günz d'après d'autres chercheurs (pédologues de la B.Rh.L.)

Ensuite le Rhône aurait passé à l'Est de la Montagnette et aurait rejoint le rebord de la Costière pour former les terrasses citées plus haut. Les formations de la Costière ont souvent été interprétées comme des terrasses eustatiques ou glacio-eustatiques (DEPERET, BLAYAC, De LAMOTHE) mais des réserves existent sur leur existence (SCHWOBTHALER et VOGT).

2 - LA PLAINE DE BEUCAIRE

Au Nord de la Camargue et à l'Est de la Costière le cailloutis existe également sous les dépôts récents du Quaternaire.

Le cailloutis présente la même constitution (J.P. POGGI 185) que le cailloutis visible sur la terrasse de 5 m (Würm I) ; il est sableux, gris au sommet et jaunâtre vers la base jusqu'au substratum marneux. Ce cailloutis était autrefois considéré par les auteurs comme étant villafranchien et aurait été décroché du plateau de Costière par une faille ou une flexure (185).

D'après le même auteur pendant la régression pré-flandrienne, le Rhône et la Durance réunis à Rognonas débouchaient dans la plaine de Beaucaire-Arles et au cours de leurs divagations auraient érodés le cailloutis et constitué des terrasses. A. BONNET (42) considérant le cailloutis comme Villafranchien note cependant qu'à l'Est de la plaine de Beaucaire il « est limité par une érosion récente du Rhône qui a ensuite accumulé un cailloutis post-würmien moderne qui ravine et surmonte la surface du Villafranchien. »

3 - LA CRAU

A l'Est de la Camargue s'étend une vaste plaine caillouteuse, considérée comme un cône de déjection, en forme de grand triangle de 500 km² environ de surface, dont les sommets sont marqués par Arles, Lamanon et Fos-sur-Mer (fig. 18). Ce plan légèrement incliné s'abaisse du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

Ce cône est considéré comme issu essentiellement de la Durance, qui passait à l'époque de sa formation par la région d'Eyguières et de Lamanon, et enfoui sous les dépôts modernes du delta du Rhône actuel (Camargue)

La Crau étudiée par un nombre considérable d'auteurs est divisée en deux unités, la Vieille et la Jeune Crau. La séparation topographique n'est pas nette, la Jeune Crau se terminant en biseau en surface de la Vieille Crau (82) légèrement redressée sur le flanc des Alpilles (97).

La Vieille Crau (ou Crau d'Arles) est couverte par des galets de quartzites avec sable plus ou moins abondant et souvent cimentés en poudingue. Les roches cristallines sont peu nombreuses et très altérées. L'altération des galets calcaires donne une terre rouge assez caractéristique vis-à-vis du poudingue de la Jeune Crau. La Vieille Crau passe sous la Jeune Crau à travers laquelle elle pointe dans la région de l'étang d'Entressen (DENIZOT) et sous la Tête de la Camargue (résultat de nos sondages de recherche d'eau) où elle forme le substratum immédiat des dépôts fins récents*.

G. DENIZOT considère que ce cailloutis est le même que celui qui forme la Costière de Saint Gilles et correspondrait à un delta torrentiel du Rhône qui se confondait plus à l'Est avec le cône de la Durance qui passait par Eyguières (fig. 20):

La Jeune Crau (ou Grande Crau ou Crau de Miramas) présente un cailloutis avec des galets d'une allure très fraîche et pas altérés. Ce cailloutis contient des quartzites, calcaires, roches granitiques et métamorphiques et des roches vertes duranciennes (parmi lesquelles les variolites). Son épaisseur est inégale et peut dépasser 20 m ; sa partie supérieure est transformée en poudingue à cause de la présence de la nappe calcaire et pas de la conséquence de la pédogénèse.

Il est d'origine durancienne et daterait de l'époque où ce fleuve passait par le col du Lamanon, soit 32 m plus haut que son lit actuel (fig. 20)

DATATION

Sur les cartes géologiques du début du siècle toute la Crau était considérée comme Pliocène, avant que L. COLLOT ne distingue un cailloutis pliocène et un cailloutis quaternaire. Puis l'eustaticien De LAMOTHE (1927 - 1958) inspiré par Th. PICARD (1901 - 1983) admit que les alluvions anciennes du Rhône constituait un cône de déjection enfoui sous la Camargue. H. BAYLIG (1927) imagine deux cônes enfouis sous la Camargue, l'un formé par le Rhône et l'autre prolongeant la Crau**. En opposition avec la plupart des chercheurs de l'époque, qui s'accordaient pour dater la Crau du Pliocène au Quaternaire récent, H. BAULIG considère la Jeune Crau plus récente, d'âge würmien compte tenu des données morphologiques, du parallélisme avec les terrasses würmiennes de la Durance, et des considérations pédologiques (faible altération). G. DENIZOT (1930 - feuille d'Arles) attribue la Vieille Crau au Pliocène supérieur et date la Jeune Crau d'une phase plus tardive, post-würmienne.

F. BOURDIER (52) considère dans la Jeune Crau que l'altération est importante et lui confère un âge ante-würmien (Mindel ou plus ancien par TRICARD (226)

En ce qui concerne le niveau de base, en fonction duquel le cône a été établi, BAULIG estime que le niveau de la mer s'est maintenu à - 50 m pendant le maximum de la glaciation würmienne. Pour G. DENIZOT il y aurait eu un affaissement du golfe du Lion entraînant un enfoncement du Pliocène «concentrique», tout autour de la Camargue, mais après ce mouvement un rejeu l'aurait ramené à l'altitude actuelle.

Toujours d'après G. DENIZOT la Durance aurait repris son cours actuel soit par une capture, soit par l'accumulation de dépôts de pentes dans le pertuis (fin du Würm d'après E. BONIFAY).

4 - LE PLEISTOCENE EN CAMARGUE

CONNAISSANCES ANTÉRIEURES

Sur le soubassement pliocène les sondages entrepris pour différents buts ont confirmé l'existence, comme pour les régions limitrophes, du cailloutis sous la couverture fine de la Camargue. Ce cailloutis se rencontre à des

* En Moyenne et Basse Camargue il semble que le cailloutis soit celui de la Jeune Crau comme nous le verrons plus loin.

** Nous verrons que d'après les résultats de nos sondages cette hypothèse semble vraisemblable.

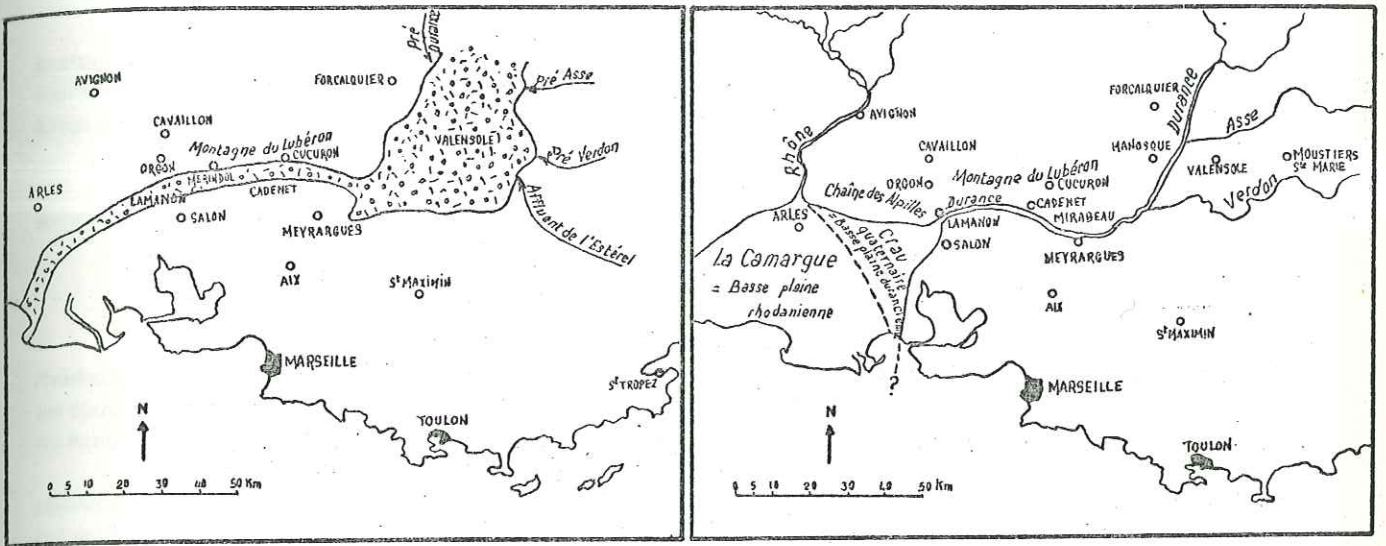


Fig 19 - LA DURANCE a) A L'EXTREME FIN DU PONTIEN b) AU QUATERNAIRE LORSQU'ELLE ARROSAIT LA CRAU (d'après Cécile CORNET)

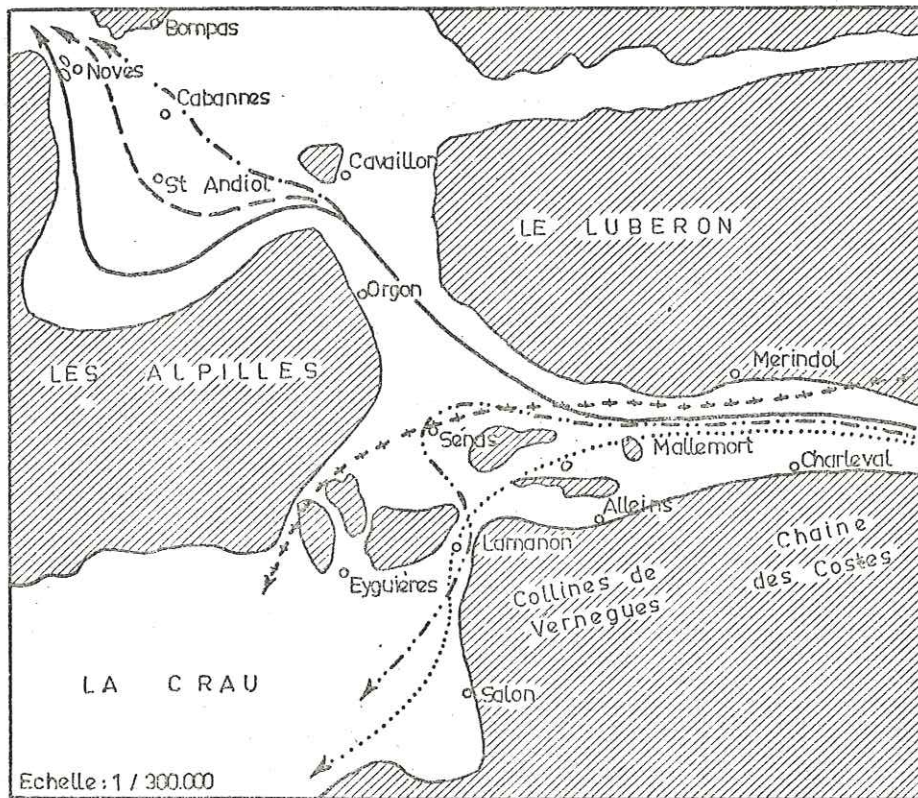


Fig 20 - LES ANCIENS COURS DE LA DURANCE (d'après C. GOUVERNET)

" Au Pliocène supérieur: tracé selon les croix - Au Quaternaire ancien: pointillé - Au Quaternaire moyen: tiré et deux points - Au Quaternaire récent: trait continu (La déviation vers Orgon date la fin du Tyrrhénien) Lits de divagation de la Durance dans le bassin de Cabannes - St Andiol (période de remblaiement correspondant à la transgression flandrienne): tiré et tiré avec un point. "

profondeurs variables en général croissantes du Nord-Est vers le Sud-Ouest (à -55 aux Saintes Maries) ; nous verrons plus loin la structure détaillée de sa surface. Son épaisseur est également variable mais nous connaissons moins bien sa répartition étant donné que seuls les sondages pétroliers l'ont traversé.

Mais tous les sondages qui ont touché ou traversé le cailloutis ne donnent que rarement une description sommaire de sa nature.

Son origine et son âge (par comparaison aux cailloutis limitrophes) étaient donc très incertains.

En effet C. DUBOUL-RAZAVET (114) écrit «si les très épais cailloutis sur lesquels reposent les alluvions rhodaniennes semblent devoir être attribués au Villafranchien dont ils conservent tous les caractères morphologiques, ses couches passent vers le sommet à des alluvions vaso-sableuses sans qu'apparaisse aucune faune caractéristique dans les conglomérats terrigènes grossiers».

Elle en attribue pourtant avec A. BONNET (45) toute l'épaisseur au Villafranchien en «raison de leur similitude totale avec ceux qui recouvrent en surface la Costière» qu'elle admet Villafranchien. Il n'y aurait donc d'après cet auteur que deux séries stratigraphiques quaternaires en Camargue : le Villafranchien et le Flandrien*.

Or, les cailloutis limitrophes (Crau, Costière) bien que les différents auteurs ne soient pas toujours d'accord sur leurs âges précis, comprennent deux ou plusieurs niveaux. F. BOURDIER suppose alors une série plus complexe datant de diverses époques, allant du Pliocène jusqu'au Würm.

Les auteurs qui ont étudié la Crau voient son prolongement sous la Camargue et son mélange avec des cailloutis déposés par le Rhône. Ceci nous laisse donc supposer l'existence de deux systèmes de cailloutis : un système rhodanien dans la partie occidentale de la Camargue semblable à celui de la plaine de Beaucaire (ou de la Costière?) et un système durancien en Camargue orientale avec deux niveaux distincts, correspondant à la Vieille Crau et à la Jeune Crau (Villafranchien et Würmien ?).

LE CAILLOUTIS - RÉSULTAT DE NOS SONDAGES

Les sondages que nous avons effectués en Camargue dans le but d'étudier les nappes aquifères ont pénétré dans le cailloutis de 6 à 12 m. Nous n'avons pas malheureusement ainsi une coupe complète du cailloutis camarguais.

Sur les figures 21 à 30 nous présentons une description générale dont nous examinerons ici les détails. L'implantation de ces sondages est indiquée sur la fig. 32 et sur les planches hors texte IV et VI.

Les sondages ont rencontré les premiers niveaux caillouteux sous les formations argilo-limoneuses ou limono-sableuses aux cotes N.G.F. suivantes (du Nord-Est vers le Sud-Ouest) :

S3 :- 11,45 ; S7 :-10,50 ; S10 :- 5,60 ; S2 :- 23,70 ; S6 :- 31,10 ; S4 :- 24,43 ;
S8 :- 18,70 ; S9 :- 30,50 ; S5 :- 36,28 ; S1 :- 41,70 ;

ceci confirmé au premier coup d'œil l'opinion généralement admise d'un pendage du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

* L'auteur note cependant que l'absence de niveaux siciliens et tyrrhéniens dans la région camarguaise permet de supposer que l'apport du cailloutis fluvial adû se prolonger dans la partie post-villafranchienne.

D'après les coupes des sondages nous avons distingué 3 niveaux différents dans l'épaisseur traversée du cailloutis : (du bas vers le haut)

- un cailloutis «jaune» altéré
- un cailloutis «intermédiaire»
- un cailloutis «gris» frais

Le cailloutis «jaune» a été rencontré sur toute l'épaisseur traversée dans les sondages S3 (8,70m) et S7 (7 m environ), tandis qu'aux autres sondages il existe sous le cailloutis gris (S4, S8, S10) ou vraisemblablement sous le cailloutis intermédiaire où ont été arrêtés les sondages S1, S2, S5, S9. Il a une matrice sablo-limoneuse au sommet quand il passe directement aux dépôts fins récents du Quaternaire récent. Généralement cette matrice est un sable jaune souvent abondant quelquefois marneux et parfois (S7) il est consolidé avec un ciment grésocalcaire qui doit lui enlever toute sa perméabilité. Mais le caractère particulier de ce cailloutis «jaune» est la nature et le degré d'altération de ses galets. Ceux-ci sont en général formés de quartzite et de calcaire dont le pourcentage croît vers les horizons inférieurs ; ils ont surtout vers le sommet une auréole d'altération plus ou moins profonde et de couleur jaune ; les roches grenues sont absentes ou très rares et très altérées en général. Dans les niveaux supérieurs les galets sont encroûtés et polarisés et les galets calcaires décalcifiés à la périphérie ou même transformés en cailloux pédologiques. Parfois (S3, S7) la partie inférieure du cailloutis est constituée presque uniquement de calcaire avec très peu ou pas de quartzites. Il faut noter également la présence dans les horizons supérieurs du cailloutis «jaune» des sondages S3 et S7, où ce cailloutis est directement sous les dépôts fins du delta, la présence de quelques débris de mollusques.

Le sondage 7 notamment a livré la faune suivante : entre 12,6 et 13,15 m :

Cardium lamarcki Reeve, *Cardium glaucum* Brug. var. *paludosa* B.D.D., 1 *Helix* sp

Cette faune pourrait représenter l'établissement d'un ancien étang en ces lieux* (voir aussi plus loin page 48 et 49)

Le cailloutis «intermédiaire» a été rencontré sous le cailloutis «gris» aux sondages S1, S2, S5, S9. Les galets ont ici un aspect moins altéré et le sable a une couleur gris-jaune. Il est toujours peu riche en espèces pétrographiques mais à côté des galets quartzitiques (majoritaires) et calcaires on note quelques roches métamorphiques, cristallines ou vertes.

Le cailloutis «gris» frais est la dernière formation caillouteuse rencontrée dans nos sondages. On le trouve à tous les sondages sauf au S3 et au S7 situés en Haute Camargue. Son épaisseur est peu importante, 2 à 4 m hormis au sondage S6 qui, sans l'avoir traversé entièrement, y a pénétré de 12 m. Il a fréquemment une matrice sableuse grise. Les galets sont d'une grande fraîcheur sans aucune trace d'altération. On note des quartzites blanches, quartz, calcaires, roches vertes et plusieurs variolites, roches cristallines éruptives ou métamorphiques. Souvent les galets des horizons supérieurs sont polarisés par un léger encroûtement. Son passage au cailloutis intermédiaire est insensible est semble-t-il progressif (S2).

Les parties supérieures du cailloutis des sondages S2, S4, S5, S8, S9 et S10 présentent une faune plus ou moins abondante de mollusques et les galets ont quelques caractères d'aplatissement. Au sondage S4 (la Capellière) nous avons des débris de *Cardium*.

* Nous n'avons pas observé une faune quelconque aux autres sondages où le cailloutis «jaune» se trouve couvert par les autres niveaux caillouteux.

Au S5 (Fielouse)* de 35,4 à 36,4 m : *Corbulomya mediterranea* Da Costa, *Corbula Gibba* Olivi, *Cardium paucicostatum* Sow., *Cardium papillosum* Poli., *Cardium glaucum* Brug. var. *paludosum* B.D.D., *Mactra subtruncata* Da Costa, quelques *Hydrobia* sp, *Turritella triplicata* Brocc., rares *Syndesmia ovata* Phil., *Helix pulchella* Müll. (hygrophile), *Carychium minimum* Müll. ; l'essentiel de la faune est cependant constitué par *Corbula gibba*. Le biotope serait un grand étang de faible profondeur peu euryhalin **. Au même sondage mais de 36,40 à 38,20 m on a : *Corbula gibba* Olivi, *Turritella triplicata* Brocc., *Turbonilla* sp, *Corbulomya mediterranea* Da Costa, débris de *Cardium* et *Venus* ; Le biotope serait un étang avec ouverture plus franche sur la mer.

Au S10 (La Chassagnette) le sommet du cailloutis de 7,70 à 8,00 m présente : *Cardium glaucum* Brug. var. *paludosa* B.D.D., *Bythinia tentaculata* L., *Rissoa* sp (relativement abondante), *Mactra subtruncata* Da Costa, *Scrobicularia plana* Da Costa ; il s'agirait là de faune de rivage de grand étang.

Au S2 (Pont du Mas d'Ange) le limon caillouteux sur le cailloutis franc renferme : *Cardium*, *Corbula gibba* Olivi, *Scrobicularia plana* Da Costa, *Hydrobia* sp..

Le cailloutis du sondage 8 (Fangouze) présente sur une épaisseur de 5 m environ la faune suivante : de 19,20 m à 20,00 m : *Turritella triplicata* Brocc., *Anomia*, *Nassa reticulata* L., *Nassa pygmaea* Lmk., *Dentalium novemcostatum* Lmk, *Nucula nucleus* L., débris de *Cardium papillosum* Poli et de *Pecten* ou de *Chlamys* ; la faune évoque un faciès presque typiquement marin, probablement littoral bien que l'on trouve des représentants profonds. De 20,20 à 20,90 m on a *Corbula gibba* Olivi, *Donax semistriatus* Poli, *Rissoa* sp, fragments de *Venus* sp ; il s'agirait là d'une faune banale littorale plutôt marine. Elle pourrait ainsi nous indiquer avec certitude un premier maximum d'une transgression marine (flandrienne ou ante-flandrienne ?) qui a suivi l'essentiel du dépôt caillouteux de la Camargue, alors que la faune des autres sondages correspondrait plutôt à un régime lagunaire plus ou moins ouvert vers la mer.

ENSEIGNEMENTS APPORTÉS PAR L'ÉTUDE DES COUPES DES SONDAGES

Le cailloutis «jaune» présente les mêmes caractères (lithologie et altération) que le cailloutis constituant la Vieille Crau considéré d'âge au moins villafranchien. Il forme la surface du cailloutis s.l. en Haute Camargue et passe ensuite sous le cailloutis «gris» en Moyenne et Basse Camargue. Son grand pourcentage en galets calcaires est en faveur d'une origine durancienne (voir page 38). L'encroûtement que présentent ses horizons supérieurs résulte vraisemblablement d'une exposition atmosphérique pendant un certain temps avant le dépôt des cailloutis «intermédiaires et gris».

Le cailloutis «gris» a la même constitution que le cailloutis de la Jeune Crau et a donc également la même origine durancienne***. Il doit comme celui-ci dater du Würm, âge plus généralement admis pour la Jeune Crau.

Nous retrouvons donc la constitution du cône durancien de la Crau au moins sous la partie orientale de la Camargue (fig. 32). La partie occidentale peut couvrir des dépôts caillouteux rhodaniens datant de l'époque où le Rhône passait par la plaine de Beaucaire, à l'Est immédiat de la Costière.

* La faune et le biotope ont été déterminés par J. BARRIERE

** Salure plus ou moins stable.

*** Le cailloutis «intermédiaire» ne semble pas présenter un développement en surface du cailloutis s.l. de la Camargue. Lorsqu'il existe on le trouve sous le cailloutis «gris» de la Moyenne et Basse Camargue.

Ce cailloutis apporté par le Rhône à son niveau supérieur au moins, doit ressembler à celui décrit par J.P. POGGI sous la plaine de Beaucaire (cailloutis frais würmien) et couvrir, peut-être, un cailloutis plus ancien (Villafranchien ?) comme celui de la Costière de Saint Gilles, décroché par la faille de Saint Gilles. Des coupes détaillées de sondages seront seules capables de résoudre le problème. Avec la faune marine rencontrée à Fangouse le cailloutis se serait déposé dans une mer ou aurait été repris par elle. S'il s'agit de dépôt, la mer serait pré-flandrienne (néotyrrhénienne) si on considère l'âge du cailloutis comme würmien ; l'argument essentiel en faveur de cette thèse est qu'on ne pourrait pas expliquer le ravinement important (voir p.49 à 51) du cailloutis «gris» würmien, consécutif à une régression s'il s'agissait d'une mer flandrienne (qui correspond aux dépôts fins de la Camargue).

Pendant cette régression une grande partie du cailloutis a dû être érodé et c'est la raison pour laquelle on ne trouve nulle part un paléosol sur sa surface, ou les niveaux marins éventuels équivalents du Fangouse. Si par contre au lieu du dépôt on admet un simple remaniement par la mer, rien n'empêche que cette mer soit flandrienne.

A une époque plus récente, si on admet comme dépôt le cailloutis de Fangouse, on aurait assisté à l'établissement sur la surface du cailloutis en Haute et Moyenne Camargue des grands étangs saumâtres (sondages S2, S3, S4, S7, S10 et S9 ?) remaniant ce cailloutis. Ces étangs pourraient correspondre à l'avancée de la mer flandrienne qui à ces débuts ne semblerait pas avoir atteint le Vaccarès.

STRUCTURE DE LA SURFACE DU CAILLOUTIS s.l.

Jusqu'ici, dans des publications récentes, la surface du cailloutis était présentée avec une pente assez régulière s'abaissant doucement du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Nous avons, dans un premier stade, (planche hors texte II), tenté de préciser cette surface par les renseignements fournis par les différents sondages existant déjà et les travaux de prospection électrique du B.R.G.M. en tête de Camargue (214).

Dans les parties du centre et du Sud où nous n'avions pas, à cette époque, assez de renseignements, les isobathes proposées se moulaient essentiellement sur les anciennes interprétations (156, 39). Dans le Nord, par contre, où les données sont plus abondantes, nous avons pu constater une structure plus complexe :

- existence d'une «gouttière subméridienne» descendant jusqu'à la cote -30 ;
- à l'Ouest de cette gouttière subméridienne présence d'une dépression orientée Nord-Est - Sud-Ouest, «dépression du mas des Tuiles», descendant également à -30 et séparée d'une brusque fosse à -40 par une arête étroite qui s'étire à -10 : la fosse à -40 peut être le prolongement de la «fosse d'Albaron» également à -40 et qui semble se poursuivre vers le Sud par le «sillon de Ventabren» ;
- au Nord de la dépression du mas des Tuiles existence du «sillon occidental» ;
- au Sud de la même dépression apparition d'une nouvelle gouttière à -25, «gouttière de Tamaris» dans le prolongement d'un étroit sillon à -30 vers l'Ouest ;
- au Sud de ce sillon, existence d'une «arête méridionale» à -5, orientée Est-Ouest ;
- enfin s'amorçant sur le bord du Grand Rhône creusement du «sillon oriental» ouvert vers le Sud.

L'ensemble donne une topographie assez confuse où il n'est pas cependant impossible d'y voir une formation en terrasses imbriquées, creusées de ravins par le seul jeu de l'érosion avec dépressions fermées comme en Costière.

Cependant si on accorde une certaine confiance aux résultats de la prospection géophysique certaines formes et dénivellations importantes s'expliquent mal par un ravinement et une érosion post ou tardie pléistocène.

Ainsi sur la planche hors texte III, tout en admettant un ravinement, figure aussi une interprétation tectonique où les digitations, plus ou moins théoriques, imposées par les cotes différentes de points voisins dans l'interprétation précédente, sont remplacées par des accidents.

Ainsi apparaissent :

- a) une série d'accidents subméridiens :
 - F1 à l'Ouest de l'«arête»
 - F2 dans le Nord du «sillon occidental» avec inflexion vers le Sud pour passer dans la «fosse d'Albaron»
- b) une série d'accidents Est-Ouest :
 - F3 au Nord de la «dépression du mas des Tuiles»
 - F4 au Sud de la «gouttière de Tamaris» et dans le sillon qui la prolonge vers l'Est
 - F5 au Sud de l'«arête méridionale».
- c) enfin un accident F6 dans le «sillon de Ventabren».

Cette première interprétation nous a grandement guidé pour l'implantation de nos sondages d'étude des nappes car le cailloutis était considéré à ce moment là comme la principale formation susceptible de contenir une nappe aquifère notable, et on pensait que sa structure devait jouer un rôle important dans l'hydrogéologie profonde de la Camargue.

L'étude géophysique par sondages électriques que nous avons entreprise pour la même étude hydrogéologique* a en outre précisé nos connaissances de la région autour du Vaccarès (fig. 31 profils I, II, III) :

Profil I : sous une épaisseur variable, mais généralement faible d'alluvions fines quaternaires (4 à 32 m), on rencontre le toit du cailloutis s.l.

L'interprétation des sondages électriques 101 et 102 était impossible à cause de la présence d'une même eau salée dans les alluvions modernes et le cailloutis : il n'y a pas ici de contraste entre les résistivités de l'Holocène et celles du cailloutis, à moins d'admettre la présence de celui-ci à une dizaine de mètres de profondeur environ (alors que d'après la carte de la planche hors texte II il semblerait être à -25 m environ).

Le passage de l'accident de la planche III ne semble pas être confirmé par ce profil (sondages électriques 107 et 108)**. Entre les sondages électriques 112 et 116 le contraste des résistivités du cailloutis et des dépôts fins est moins net et il faut montrer une certaine réserve sur l'exactitude du profil à ces endroits.

Profil II : l'épaisseur des alluvions modernes décroît d'une trentaine de mètres au Sud du profil, à une dizaine de mètres au Nord. Cependant au milieu du profil, entre la Tour de Montmeillan et le Mas de Pontevès, le toit du cailloutis remonte à 7 mètres de la surface puis s'effondre à 20 m de profondeur. Notons que l'hypothèse d'une faille (F5) entre les sondages électriques 212 et 213, semble confirmée par la position du toit de l'Astien (50 m au sondage électrique 212, 30 m entre les sondages électriques 216 et 220).

Profil III : sous la couverture argilo-sableuse moderne, le toit des cailloutis remonte de plus de 30 m à une vingtaine de mètres, entre le Pont de Méjeanne et les Arènes de la Basse Méjeanne. Puis le Cailloutis se retrouve brusquement à 40 m de la surface à l'alignement de l'accident tectonique (F1) supposé sur la planche III.

* Étude exécutée par la Compagnie de Prospection Géophysique Française. Nous reviendrons avec plus de détail sur ce sujet dans la partie hydrogéologie. Voir implantation planche hors texte IV.

** Le sondage S2 implanté à l'«arête méridionale» pour confirmer la faible profondeur du cailloutis (-5 à -30 m) due éventuellement à l'existence d'un accident tectonique (F5), n'a trouvé celui-ci qu'à -23,70 m.

Le long d'un deuxième accident (au prolongement de la F5) il remonterait à 17 m de la surface mais nous n'avons au Nord de cette « faille » qu'un seul point de mesure (sondage électrique 313). L'Astien rencontré par le sondage mécanique Albaron 2 et reconnu par les sondages électriques 309, 310, 311, se situe ici à 80 m de la surface.

La planche hors texte IV précise les parties septentrionales et complète les secteurs méridionaux. Sur cette carte, où nous tentons d'expliquer les formes par les seules actions de l'érosion et du ravinement sans interprétation tectonique, de nouvelles formes apparaissent :

- prolongement de la «gouttière de Tamaris» vers le Sud Sud-Ouest («sillon de Trinité»)
- «haut fond d'Albaron» à -15 m
- «palier de Vaccarès» à -30 m
- «ravin du Mas d'Agon».

Sur la planche hors texte V nous présentons la nouvelle interprétation tectonique.

L'étude géophysique que nous avons entreprise a retrouvé le prolongement de certains accidents de la planche III : la continuité à l'Est et à l'Ouest de la faille F5 (profil II et III) bien que le profil IV n'est pas présenté une analogie importante au point de son passage ; la continuité vers le Sud de la F1.

Il est difficile d'être affirmatif sur l'existence réelle de ces accidents ; néanmoins un certain nombre de facteurs plaident en faveur de leur existence :

- On connaît, d'après les travaux de plusieurs chercheurs, (G. DENIZOT, F. ELLENBERGER, M. GOTTIS, J.P. SCHWOBTHALER, H. VOGT, A. BONNET, L. GLANDEAUD, E. BONIFAY et autres), l'existence de failles ou accidents quaternaires souvent dus à un rejeu des accidents profonds (costière, flexure de Saint Gilles).
- La position de certaines failles à l'aplomb des accidents du substratum profond de la Camargue (39). C'est le cas des accidents F4 et F6 ; d'ailleurs la dépression du Mas de Tuiles s'aligne également suivant un accident profond.
- Le «décrochement» du substratum astien à certains endroits où nous avons tracé un accident affectant le cailloutis (profil géophysique II entre les sondages électriques 212 et 213)*.

Il est difficile de dire quelle est la nature exacte des accidents présumés dans le cailloutis ; il pourrait facilement, dans certains cas, s'agir de flexures.

Vers la mer, si le cailloutis continue avec la même pente générale (-5 à -10 m en tête de la Camargue, -50 m dans la région des Saintes Maries), il doit affleurer dans la mer à la base de la pente deltaïque sous-marine (voir coupe structurale sur la planche hors texte V). Au-delà il formerait (KRUIT. 156) le plateau continental couvert par des dépôts sableux, ce qui implique d'après l'auteur le dépôt de ce cailloutis fluviatile à une époque où la mer avait un niveau beaucoup plus bas que son niveau actuel. (?)

Nous reviendrons plus loin sur la structure de la Camargue en général.

* Il est regrettable que l'on n'ait pas pour le mur du cailloutis un nombre de points suffisants pour tracer des isobathes valables : ceci aurait pu faciliter grandement notre interprétation.

Les sondages pétroliers qui ont traversé le cailloutis ont donné les épaisseurs suivantes : 60 m aux Saintes Maries ; 31 m à Beauduc ; 45 m à 49 m dans la région d'Albaron ; 61 m à Ventabren ; 72 m à l'Ouest du Vaccarès ; 20 m dans la région d'Augery ; 30 m en tête de la Camargue.

Fig 21 - SONDAGE S1: Les Frignants

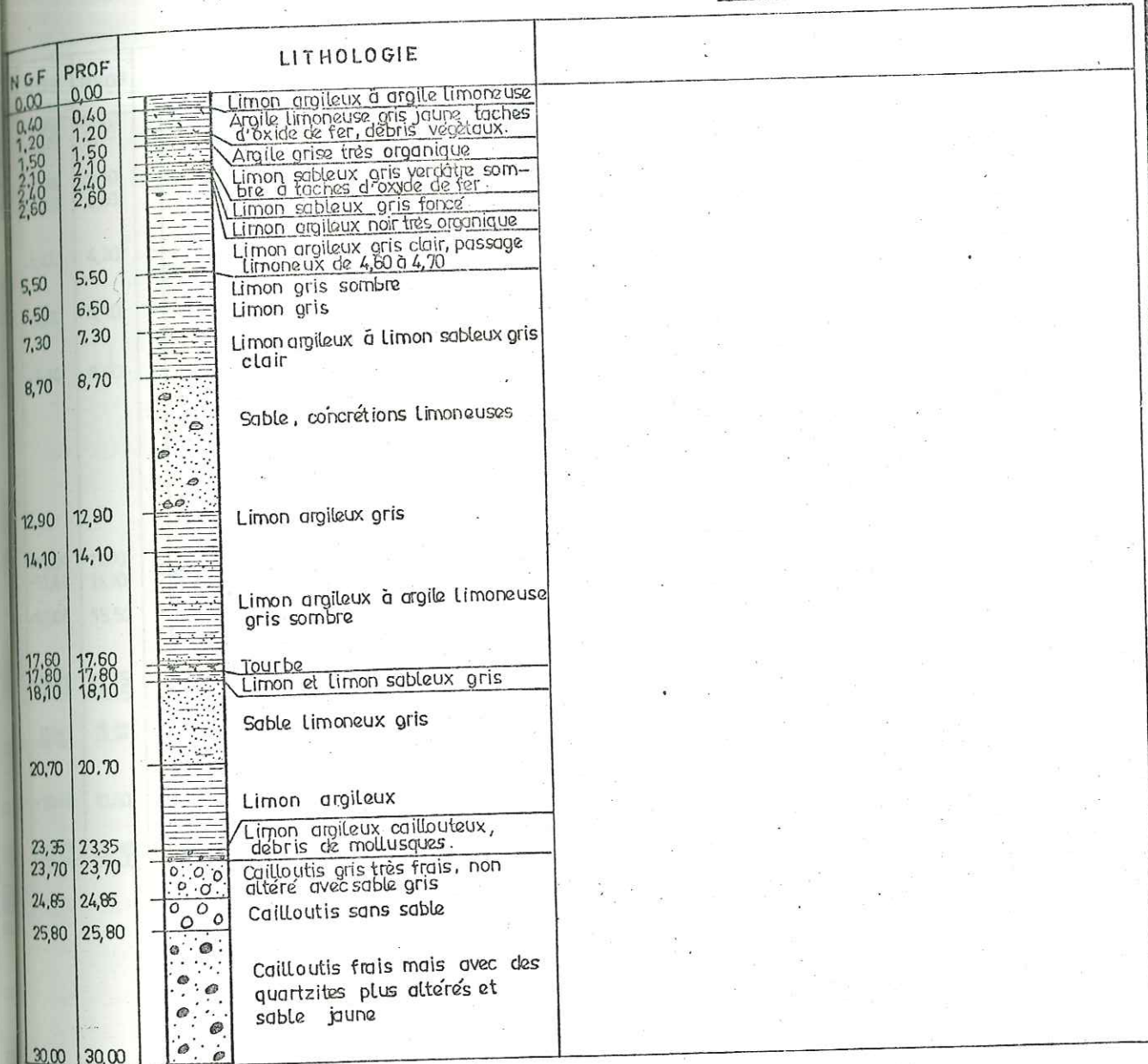
Nature de l'emplacement: cordon dunaire

NGF	PROF	LITHOLOGIE	MILIEU (Biotope)
0,50	0,00	Limon sableux gris, colluvion	
-0,40	0,90	Limon sableux beige clair	
-0,80	1,30	Sable gris beige éolien ?	Faune non caractéristique
-4,45	4,95	Sable gris	
-5,95	6,45	Tourbe	
-6,05	6,55	Limon gris clair	
-7,25	7,75	Limon sableux gris clair et brun	
-7,50	8,00	Limon argileux gris clair, petits passages limono sableux à la base	Etang
14,70	15,20	Argile limoneuse gris clair	
16,90	17,40	Limon argileux à argile limoneuse gris	Littoral marin Grand golfe ou grand étang
24,70	25,20	Limon sableux gris sombre	Marin ? Littoral marin
26,60	27,10	Limon sableux gris sombre	Littoral marin ou d'étang ouvert sur la mer
29,30	29,80	Niveau très organique	
29,50	30,00	Argile limoneuse grise avec débris végétaux	Etang saumâtre ou d'eau douce
30,20	30,70	Sable limoneux gris	
32,30	32,80	Sable gris, quelques nodules d'argile durcie, paillettes de mica	
34,35	34,85	Argile limoneuse grise	Etang avec tendance au sursalage
35,60	36,10	Niveau tourbeux	
36,00	36,50	Argile limoneuse grise, débris végétaux	Niveau peu salé
36,70	37,20	Niveau gris très organique	
36,90	37,40	Argile limoneuse grise	
37,60	38,10	Sable limoneux gris	
38,50	39,00	Sable gris à grandes lamelles de micas noir	
41,70	42,20	Cailloutis gris frais à sable gris	
44,50	45,00	Cailloutis gris frais	
45,50	46,00	Cailloutis d'aspect plus altéré et sable roux gris	
46,50	47,00	Cailloutis d'aspect plus altéré et sable roux gris	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 22 - SONDAGE S2 : Pont du Mas de L'Ange

Nature de l'emplacement : marais



tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 23 - SONDA GE S3 : Mas de l'Ange


Nature de l'emplacement : bourrelet moyen d'ancien bras.

NGF	PROF	LITHOLOGIE
2,85	0,00	Limon à limon sableux gris jaune
2,26	0,60	
0,76	2,10	Limon argileux gris jaune clair à taches bleutées.
0,46	2,40	Limon argileux gris clair et brun
		Limon argileux à argile limoneuse gris bleuté à taches d'oxyde de fer
-1,44	4,30	Limon argileux à argile limoneuse gris sombre.
-3,24	6,10	Limon argileux gris bleuté à taches d'oxyde de fer
-5,14	8,00	Limon et limon argileux gris
-11,74	14,00	Limon argileux gris caillouteux
-11,44	14,30	Limon argileux et sable avec de nombreux galets jaunes altérés
-12,64	15,50	Cailloutis jaune altéré avec sable gris, présence de galets peu altérés, débris de coquilles
-14,89	17,75	Cailloutis sans matrice
-15,23	18,15	Marne à galets
15,94	18,80	Cailloutis jaune à sable gris, galets de calcaire et peu de quartzites
18,14	19,80	Cailloutis jaune sans matrice
-18,54	21,40	Cailloutis jaune à matrice sablo-marneuse
-20,04	22,90	Marne jaune légèrement sableuse avec quelques graviers.
20,14	23,00	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 24 - SONDAGE S4: La Capellière























Nature de l'emplacement : marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE	MILIEU (Biotope)
0,27	0,00		Etang euryhalin ressemblant aux étangs actuels de la Camargue Conditions palustres
0,02	0,25		
-0,78	1,05		
-2,78	3,05		
-2,98	3,25		
-3,53	3,80	Limon argileux organique	
-3,78	4,05	Limon argileux gris	
		Limon argilo-sableux gris	
		Sable gris sombre	
-7,83	8,10	Limon sableux à sable limoneux gris sombre avec quelques petits passages limoneux.	Etang plus ou moins ouvert et plus ou moins euryalin
-11,83	12,10	Limon avec petits passages plus argileux.	Etang ouvert avec apport marin Golfe marin ou étang très ouvert sur la mer
-15,93	16,10	Tourbe et limon sableux	Apport d'eau douce
-15,98	16,25		
		Limon argileux gris	Etang
			Mélange des faunes très dégradées et de grand étang
-23,23	23,50	Limon sableux gris	
-24,43	24,70	Cailloutis gris frais non altéré et sable gris; mollusques.	Faune euryaline Etang ?
-25,83	26,10	Cailloutis jaune à matrice marnreuse jaune compacte, galets arrondis, peu nombreux	
-27,43	27,70	Cailloutis jaune d'aspect altéré avec matrice sableuse et marnreuse	
-27,83	28,10	Cailloutis jaune à matrice sableuse jaune	
-28,83	29,10		
		Cailloutis jaune à sable jaune abondant.	
-31,73	32,00		

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

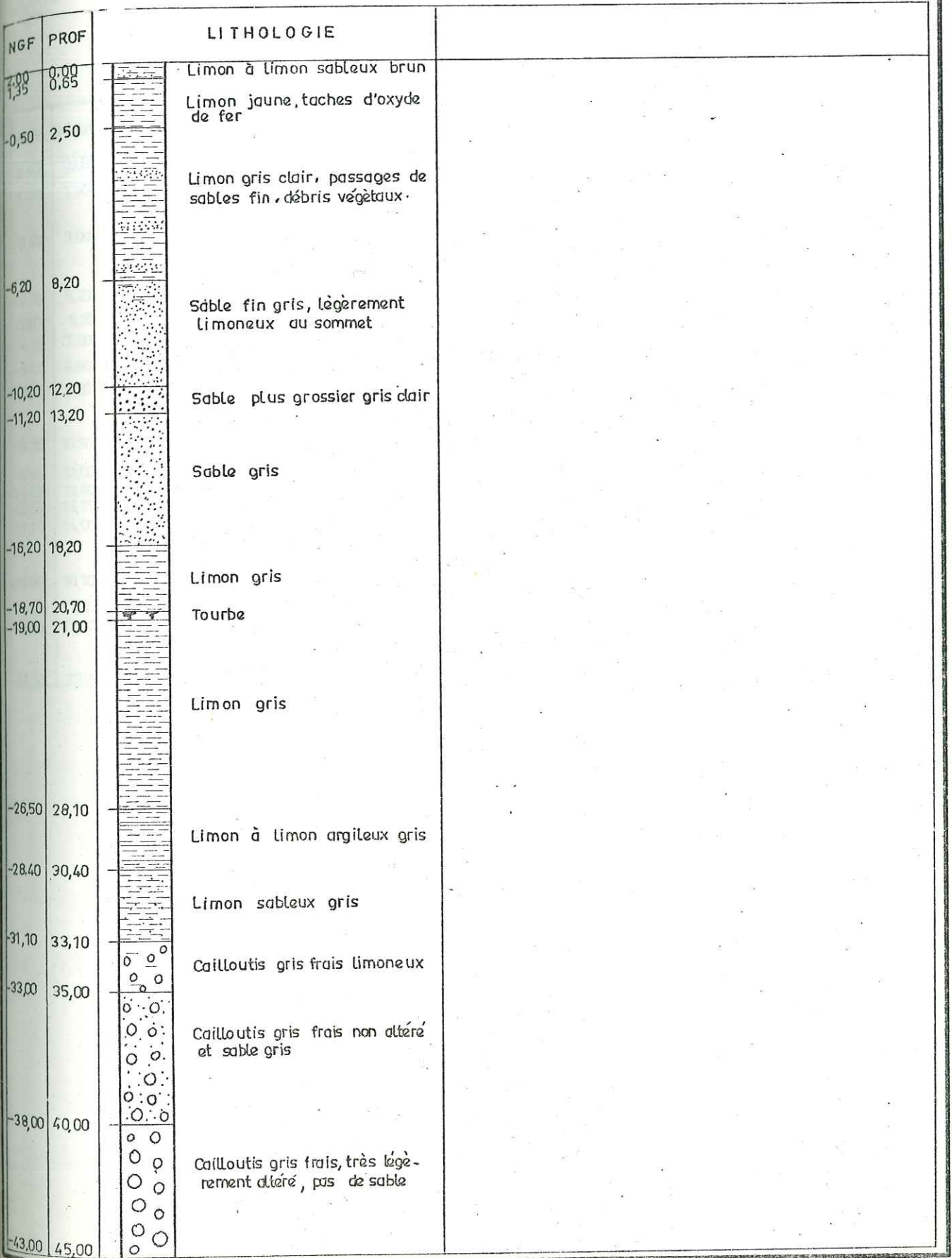
Fig 25 - SONDAGE S5 : Fiélouse

Nature de l'emplacement : marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE	MILIEU (Biotope)
0,12	0,00	 Limon à limon sableux brun clair, racines.	
-1,73	1,85	 Sable limoneux gris sombre	
-4,53	4,65	 Sable limoneux à sable gris à gris sombre	Étang de plus en plus fermé
-6,38	6,50	 Sable limoneux gris	
-7,38	7,50	 Sable limoneux à sable gris	
-9,58	9,70	 Sable limoneux gris sombre	Grand étang
-11,38	11,50	 Limon sableux gris à gris sombre	
-11,88	12,00	 Sable limoneux gris	Marin ou grand étang avec influences marines
-14,38	14,50	 Limon argileux gris sombre	Grand étang
-18,88	19,00	 Limon argileux à argile limoneuse gris.	
-21,88	22,00	 Limon argileux gris	Marin
-24,08	24,20	 Limon à limon argileux gris	
-26,08	26,20	 Limon argileux gris	
-26,88	27,00	 Limon à limon argileux gris, débris végétaux décomposés, quelques petits graviers noirs(5mm)	Grand étang avec influences marines
-29,38	29,50	 Limon à limon argileux gris	
-32,08	32,20	 Sable gris	
-32,88	33,00	 Sable à sable limoneux gris	Cordon de rivage d'étang ?
-35,28	35,40	 Limon argileux gris avec des galets polarisés et ± aplatis	Grand étang de faible profondeur
-36,28	36,40	 Cailloutis gris frais non altéré à sable gris ; mollusques	
-38,08	38,20	 Cailloutis légèrement altéré avec sable gris jaune	
-39,98	40,10	 idem que ci-dessus avec plus de sable	
-41,98	42,10	 idem que ci-dessus avec plus de sable	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 26 - SONDAGE S6: Pont de Méjeanne Nature de l'emplacement: bourrelet haut d'ancien bras



tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 27- SONDAGE S7: Augery

Nature de l'emplacement : bourrelet actuel du Grand Rhône

NGF	PROF	LITHOLOGIE	MILIEU (Biotope)
2 60	0,00	Limon argileux à argile limoneuse jaune.	Continental dans l'ensemble
1 30	1,30	Limon jaune brun	
-0 40	3,00	Limon argileux à argile limoneuse gris bleuté, taches d'oxyde de fer.	Etang sursalé
-2 70	5,30	Limon argileux à argile limoneuse gris sombre.	
-3 60	6,20	Argile limoneuse à argile gris noir très organique, débris végétaux.	Niveau d'eau saumâtre avec des affinités d'eau douce
-4 40	7,00	Argile limoneuse grise, passages organiques, et tourbeux vers 7,80m.	Niveau peu profond avec apport d'eau douce
-5 40	8,00	Argile limoneuse à argile gris noir, niveaux tourbeux.	Etang saumâtre avec arrivées d'eau douce Etang sursalé peu profond Estuaire ?
-6 20	8,80	Limon gris à gris sombre	
-8 30	10,90	Limon à limon argileux	Etang saumâtre
-9 40	12,00	Limon gris	
-10 00	12,60	Limon à limon sableux, quelques graviers.	Etang saumâtre
-10 55	13,15	Cailloutis altéré et limon sableux, débris de cardium.	
-11 40	14,00	Cailloutis jaune altéré	
-13 50	16,10	Cailloutis jaune avec matrice marno-sableuse jaune.	
-14 40	17,00	Cailloutis jaune à matrice sableuse jaune.	
-15 10	17,70	Cailloutis jaune à ciment grèsocalcaire jaune, absence de quartzites.	
-17 40	20,00		

Fig 28 - SONDAGE S8 : Fangouze

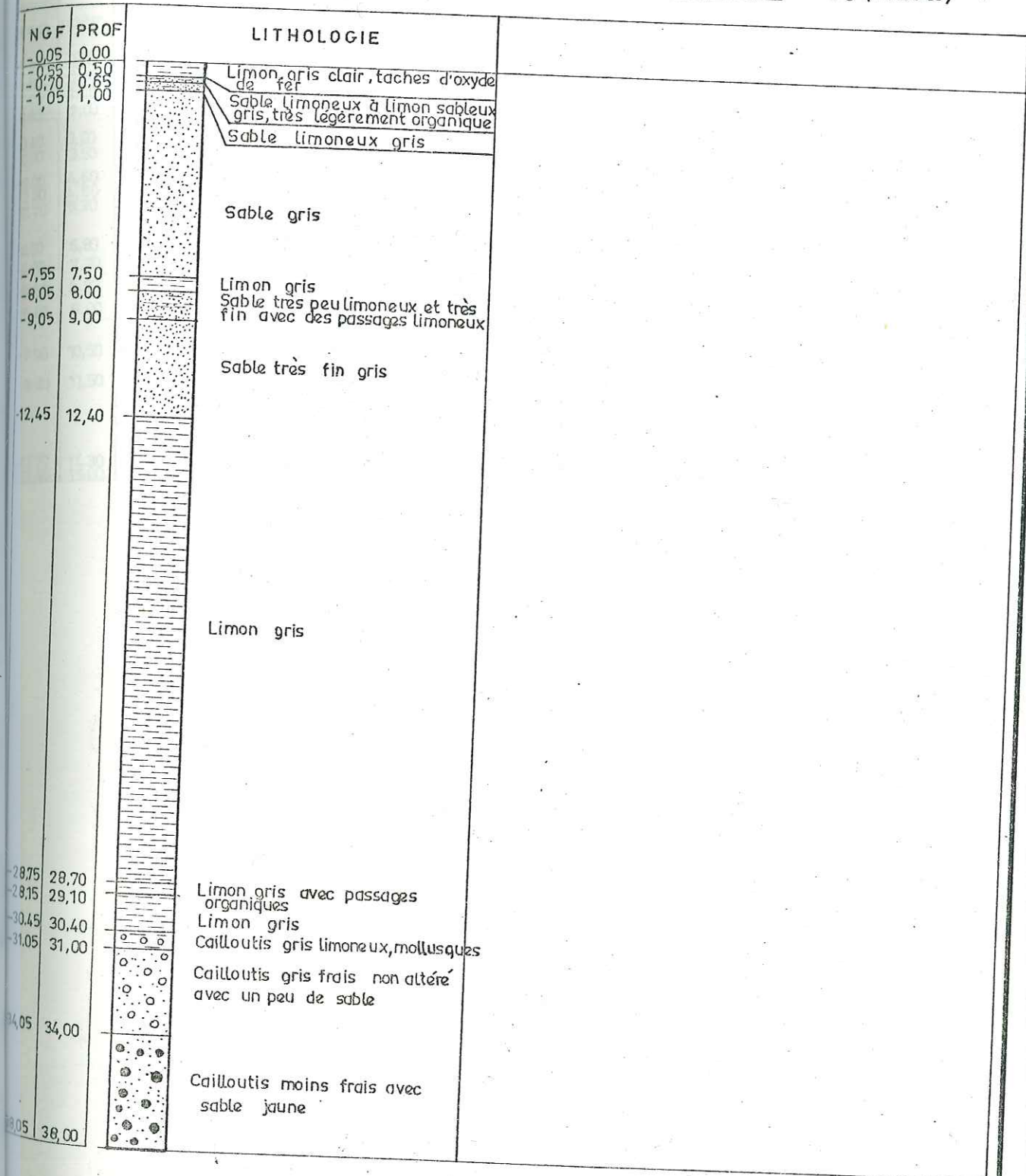
Nature de l'emplacement : passage bourrelet bas-marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE
0,50	0,00	Limon argileux gris clair, taches d'oxyde de fer
-0,60	1,10	Limon gris clair
-2,10	2,60	Limon gris
-3,50	4,00	Sable limoneux, nodules d'argile
-7,50	8,00	Limon sableux gris, passages plus limoneux
-11,50	12,00	Limon gris
-18,70	19,20	Cailloutis gris frais avec matrice limono-sableuse ; mollusques
-19,50	20,00	Cailloutis gris frais et sable gris ; mollusques.
-20,40	20,90	Sable gris avec des graviers, mollusques.
-22,80	23,30	Limon sableux gris avec de petits graviers
-23,50	24,00	Cailloutis gris frais, mollusques
-23,90	24,40	Cailloutis jaune altéré avec sable jaune
-27,50	28,00	idem que ci-dessus plus des galets calcaires.
-30,50	31,00	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 29 - SONDAGE S9 : Vaccarès

Nature de l'emplacement : étang (Vaccarès)



tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 30 - SONDAGE S10 : La Chassagnette

Nature de l'emplacement : bourrelet haut d'ancien bras du Rhône

NGF	PROF	LITHOLOGIE	MILIEU (Biotope)
2.60	0,00	Limon argileux à argile limoneuse brun	Continental (xérophile)
1.80	0,80	Limon argileux gris beige taches d'oxide de fer	
1.20	1,40	Limon gris verdâtre, taches d'oxide de fer	Etang euryhalin avec arrivées d'eau douce. Niveau à eau douce
0.60	2,00	Limon gris verdâtre, taches d'oxide de fer	
-0.40	3,00	Limon argileux à argile limoneuse beige, taches d'oxide de fer	
-0.90	3,50	Limon sableux gris, taches d'oxide de fer	Etang saumâtre avec arrivées d'eau douce. Grand étang saumâtre
-2.00	4,60	Limon gris bleuté	
-2.20	4,80	Limon gris à poches tourbeuses	Etang saumâtre avec arrivées d'eau douce. Grand étang saumâtre
-2.70	5,30	Tourbe noire	
-4.20	6,80	Limon sableux gris, graviers quartzeux à la base	
-4.70	7,30	Limon à limon sableux à nodules d'argile	
-5.60	8,20	Limon avec graviers	
-6.40	9,00	Cailloutis gris à matrice limoneuse; galets non altérés, mollusques	
-7.90	10,50	Cailloutis gris frais non altérés avec quartzites blanches	
-8.90	11,50	idem que ci-dessus avec sable jaunâtre	
-11.70	14,30	Cailloutis jaune altéré à matrice sablo-mrineuse	
-12.40	15,00	Marne jaune à petits galets	

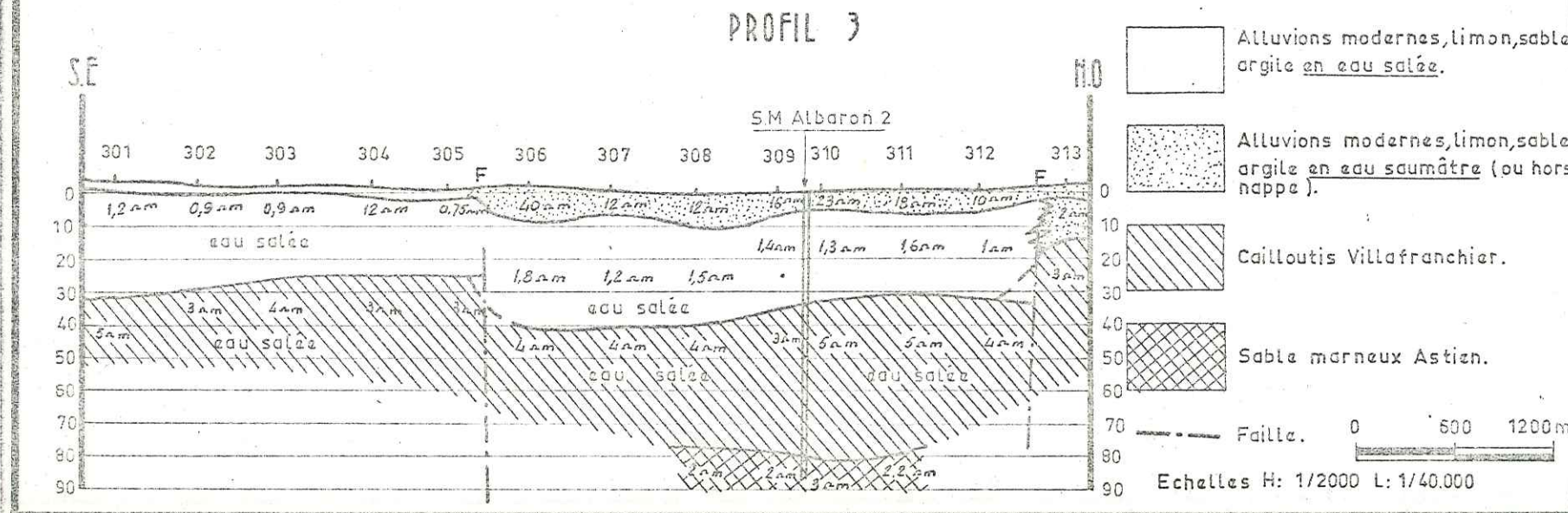
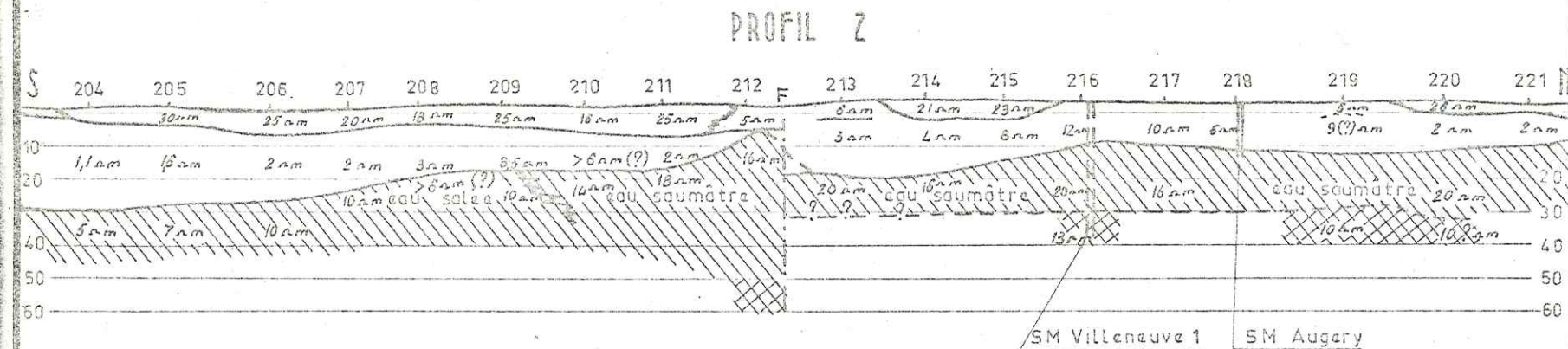
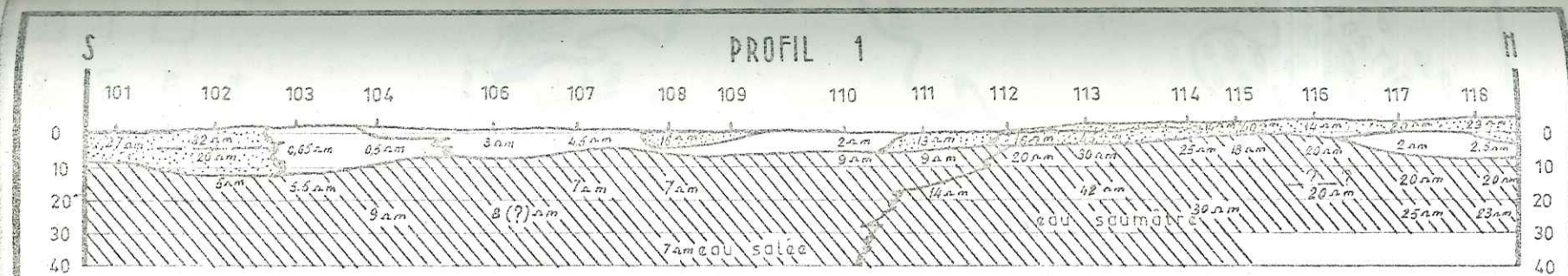


Fig 31 - PROFILS, GEOPHYSIQUES

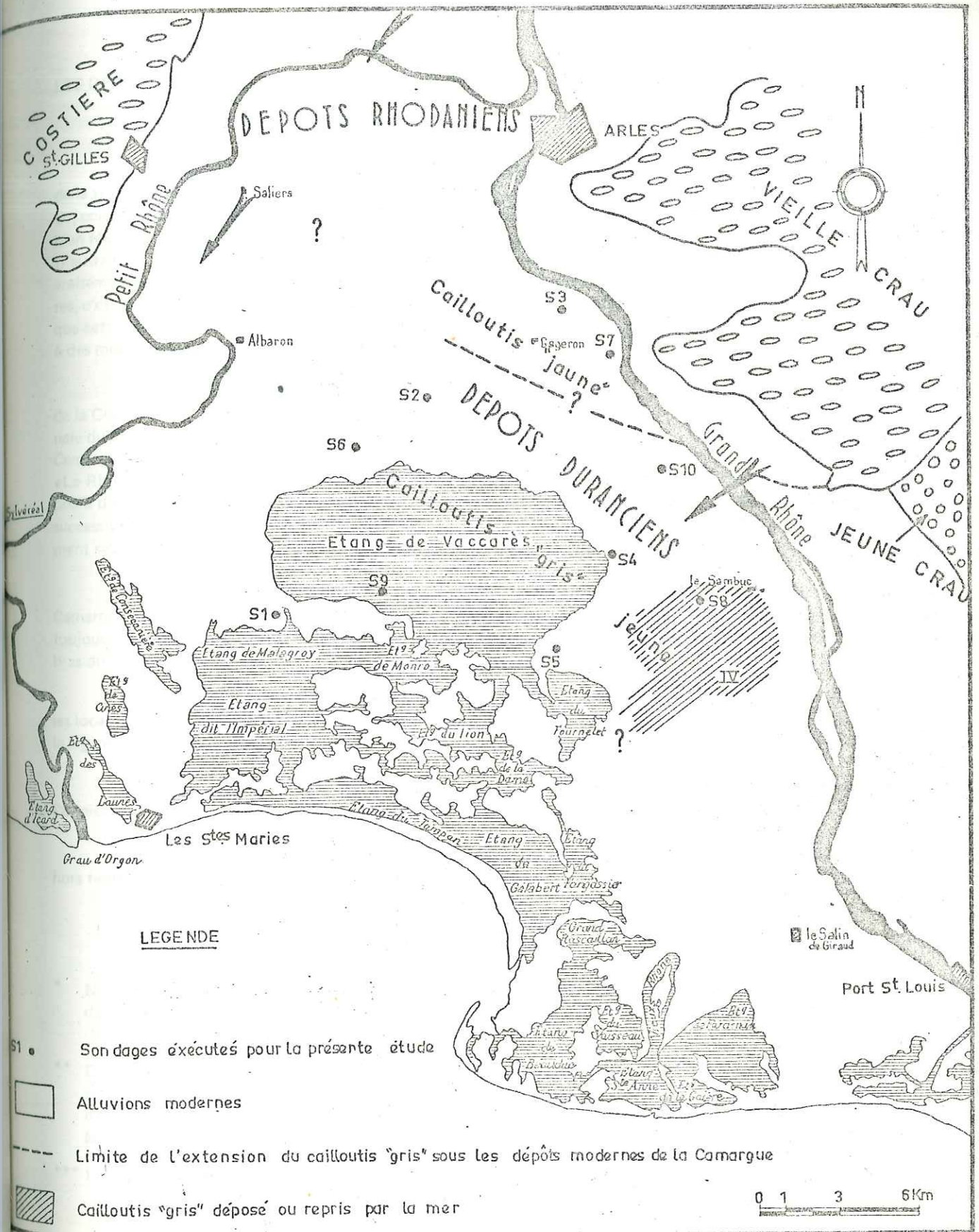


Fig. 32 - SCHEMA PALEOGEOGRAPHIQUE - REPARTITION ET ORIGINE DES NIVEAUX CAILLOUTEUX EN CAMARGUE A LA FIN DU DEPOT CAILLOUTEUX

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

LES DÉPÔTS FINS DU QUATERNAIRE RÉCENT ET ACTUEL (HOLOCÈNE)

CONNAISSANCES ANTÉRIEURES - INTRODUCTION

A cette époque l'avancée progressive de la mer a envahi la basse vallée rhodanienne. Les auteurs partisans de la théorie eustatique font partir cette transgression de la cote -50 (H. BAULIG) ou au moins -27 (De LAMOTHE). Or, comme le note J. BOURCART (50) «les variations du niveau de la mer dues aux glaciations et aux déglaciations sont bien réelles, mais insuffisantes pour expliquer à elles seules les transgressions et régressions du Quaternaire méditerranéen. D'autre part, on ne peut évidemment faire appel à elles pour expliquer celles des époques géologiques antérieures, où, vraisemblablement, il n'y avait pas de glaces polaires. Or, si le Quaternaire se distingue des périodes géologiques antérieures, c'est essentiellement par l'activité orogénique qui s'y est manifestée. Nous admettons qu'il y a toute raison de croire que cette activité continue aujourd'hui. Il semble donc nécessaire d'attribuer l'essentiel des variations des niveaux marins à des mouvements de déformation du globe.»*

L'étude de Mme C. DUBOUL-RAZAVET (114-115) basée sur l'étude faunistique des coupes des sondages de la Compagnie d'Exploitation Pétrolière (C.E.P.) révèle que les rivages de cette mer n'ont pas atteint la partie septentrionale du delta **. Ces rivages se situent à l'Ouest aux abords du cordon littoral de la Sylve Godesque (Petite Camargue) en Camargue au voisinage des berges septentrionales de l'étang du Vaccarès, à l'Est au contact du cordon des Marquises***. «Le Rhône apportait à ces rivages fossiles une charge sédimentaire dont la mise en place par la mer tendait à rétablir le profil d'équilibre longitudinal du fleuve. Un actif alluvionnement en a résulté, permettant l'extension du delta par émergences successives des régions méridionales. Corrélativement dans le secteur septentrional à l'abri de l'invasion marine, le comblement se compose uniquement d'assises fluvio-lacustres et continentales» (115).

Le même auteur explique des alternances verticales locales des dépôts marins et laguno-continentaux en Basse Camargue par une lutte continue entre des terres émergées et la mer. Ces périodes de recul du rivage ne dépendent pas toujours d'après Mme C. DUBOUL-RAZAVET, des mouvements eustatiques mais restent liées aux déplacements des anciens bras du fleuve.

Les alluvions marines et lagunaires qui surmontent le cailloutis présentent une épaisseur très variable selon les localités, ce qui traduit, en dehors de la morphologie primitive, les mouvements d'affaissement du bassin, c'est-à-dire, la légère subsidence du delta (114).

La plus forte épaisseur (55 m) d'alluvions fines est observée au voisinage des Saintes Maries, où le centre de l'affaissement semble se situer, et il correspond à une activité intense et de plus longue durée du fleuve.

Cette subsidence serait facilitée par une action tectonique récente des failles ou flexures présumées (planches hors texte III et V) et par abaissement du compartiment Sud.

* Nous verrons plus loin que dans les régions du Bas-Rhône existait une activité tectonique pendant le Quaternaire. Cependant ainsi que le reconnaît M GIGNOUX la théorie épigénétique et la théorie eustatique renferment toutes deux une part de vérité ; c'est également l'avis de G. DENIZOT.

** D'après PAULUS (179) il existerait même un cordon littoral beaucoup plus en amont entre Arles et Saint Gilles, à faune marine, couvert par des dépôts fluviatiles. Nous avons vu que d'après J.P POGGI et J. BARRIERE dans cette région existe des dunes marquant le rivage d'un ancien étang. C. KRUIT (156) place le rivage marin aux mêmes endroits environs que Mme C. DUBOUL-RAZAVET.

*** Le marais de la Grand'Mar présenterait alors un ancien Vaccarès (J. REPELIN)



Un log-type étant impossible à établir à cause des multiples variations des faciès et des passages latéraux nous présentons aux coupes des fig. 21 à 30 les résultats des sondages S1 à S10 qui rendent compte de la nature sablo-vaseuse de ces alluvions. La relation de la nature de ces formations avec leur origine (fleuve, marais, étang, mer) est décrite au chapitre suivant. Leur répartition superficielle est représentée sur la carte géomorphologique de la planche hors texte I.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE FAUNISTIQUE DES SONDRAGES EXÉCUTÉS POUR LA PRÉSENTE ÉTUDE

Jusqu'à l'heure actuelle nous ne connaissons pas une coupe complète de la faune du Quaternaire récent partant du cailloutis et allant jusqu'en surface. La reconstitution du milieu qui régnait en Camargue à l'époque holocène était donc basée sur des faunes recueillies en divers points et à différentes profondeurs, mais on n'avait aucune certitude quant aux conclusions générales concernant l'évolution de la Camargue.

Nous présentons donc ici pour la première fois une série continue de la faune malacologique des sondages S7 Augery, S10 La Chassagnette, S4 La Capellière, S5 Fielouse, S1 Les Frignants.

Nous indiquons ainsi le milieu qui régnait pendant le dépôt de différents niveaux et nous en déduisons, en conclusion, l'évolution holocène de la Haute et Moyenne Camargue. La détermination de la faune et du biotope correspondant a été effectuée par J. BARRIERE avec la collaboration de C. TONI. *

Sondage S7 Augery (Haute Camargue) **

Niveau (profondeur)	Faune	Milieu (biotope)
12,60 m cailloutis	<i>Cardium lamarcki</i> Reeve <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. 1 <i>Helix</i> sp	Étang saumâtre
12,20 - 12,40 m	<i>Cardium lamarcki</i> Reeve <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Neritina fluviatilis</i> L. quelques <i>Hydrobia</i>	Étang saumâtre avec apport d'eau douce important
11,60- 11,80 m	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Neritina fluviatilis</i> L.	Étang saumâtre
11,00 - 11,20 m	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Limnaea limosa</i> L.	Étang saumâtre
8,8 - 10,7 m (de la base vers le sommet)	<i>Neritina fluviatilis</i> L. (très nombreuses) <i>Limnaea limosa</i> L. <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Hydrobia</i> sp rares <i>Cardium glaucum</i> Brug. (usés) <i>Hydrobia</i> sp (très nombreuses) <i>Scrobicularia plana</i> Da Costa <i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Cardium glaucum</i> Brug., var., <i>paludosa</i> B.D.D	Étang saumâtre à très fortes arrivées d'eau douce ou estuaire Faune d'étang sursalé qui s'assèche pendant l'étiage (comme les étangs actuels)

* Malheureusement, à l'heure actuelle, tout le matériel recueilli dans les autres sondages n'est pas encore exploité.

** Pour la correspondance avec les niveaux faunistiques, voir les fig. 21, 24, 25, 27, 30

	<i>Limnaea palustris</i> Müller <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Hydrobia</i> sp rares débris de <i>Cardium glaucum</i> Brug.	Étang saumâtre avec arrivée d'eau douce
8,20 - 8,40 m	Tourbe	
7,60 - 7,80 m	Niveau organique à <i>Limnaea limosa</i> L. <i>Limnaea palustris</i> Müller <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Planorbis complanatus</i> Stud. très rares <i>Cardium glaucum</i> Brug	Niveau peu profond avec apport d'eau douce
7,20 - 7,40 m	<i>Planorbis</i> sp <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Helix</i> sp	Niveau identique au précédent
6,60 - 6,80 m	<i>Limnaea stagnalis</i> L. <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Planorbis complanatus</i> Stud. quelques <i>Hydrobia</i>	Niveau d'eau saumâtre avec tendance d'eau douce
6,20 - 6,40 m (tourbeux)	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Planorbis complanatus</i> Stud.	Biotope identique
5,80 - 6,00 m	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Helix</i> sp <i>Helix pulchella</i> Müller <i>Hydrobia</i> sp (très nombreuses) <i>Succinea</i> sp fragments de <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D.	Dépôt très littoral d'étang saumâtre (présence d'espèces hygrophiles)
5,30 - 5,60 m	<i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Hydrobia</i> (très nombreuses)	probablement étang sursalé
4,80 - 5,00 m	fragments d' <i>Hélix</i> sp	peut-être niveau continental
4,00 - 4,20 m	fragments d' <i>Hélix</i> sp	peut-être niveau continental
3,60 - 3,80 m	<i>Planorbis complanatus</i> Stud. <i>Helix</i> sp	Impossibilité d'affirmer s'il s'agit d'étang ou de milieu d'eau douce
3,00 - 3,20 m	Débris indéterminables	
2,60 - 2,80 m	<i>Helix</i> sp 1 <i>Hydrobia</i> sp	Continental ?
2,00 - 2,20 m	faune à <i>Hélix</i>	Continental (pas d'espèce aquatique)
0,00 - 1,60 m	<i>Helix barbara</i> L. <i>Helix</i> sp	Continental

Conclusions :

Après le dépôt caillouteux un étang saumâtre semble s'être installé à l'endroit où se manifestait souvent la présence du fleuve ; on assiste par la suite au comblement de cet étang et à son émergence (cette région constitue actuellement un bourrelet du Rhône). Notons enfin l'absence de toute influence marine.

Sondage S10 La Chassagnette (Haute à Moyenne Camargue)

Niveau (en m)	Faune	Milieu (biotope)
Cailloutis	Voir faune page 48	Grand étang
6,40 - 6,60	<i>Bittium reticulatum</i> Da Costa <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Rissoa</i> sp <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Hydrobia</i> sp <i>Syndesmia ovata</i> Phil. 1 <i>Limnaea</i>	Étang euryhalin avec arrivées d'eau douce
6,20 - 6,60	<i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Scrobicularia plana</i> Da Costa <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa	Faune indiquant un littoral d'étang.
6,00 - 6,20	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Limnaea limosa</i> L. <i>Planorbis complanatus</i> Stud.	Étang d'eau douce à légèrement saumâtre
4,60 - 4,80 (niveau tourbeux)	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Limnaea palustris</i> Müller <i>Succinea</i> <i>Hydrobia</i> sp (très nombreuses) <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Syndesmia ovata</i> Phil. quelques <i>Helix</i> sp	Niveau à eau douce Littoral d'étang sursalé (comme les étangs actuels)
3,75 - 4,00	<i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Limnaea palustris</i> Müller <i>Hydrobia</i> (très nombreuses) <i>Bythinia tentaculata</i> L. rares <i>Helix</i> sp	Étang euryhalin avec arrivées d'eau douce
2,60 - 3,50	<i>Helix crenulata</i> Müller <i>Helix vermiculata</i> Müller <i>Helix barbara</i> Locard	Continental (faune xérophile)
1,60 - 1,80	<i>Helix barbara</i> Locard 1 fragment de <i>Cardium</i> sp	Continental avec probablement un plan d'eau à proximité
0,00 - 1,10	faune à <i>Helix barbara</i> Locard	Continental

Conclusions

Nous assistons à peu près au même processus que pour la région d'Augery située plus au Nord : étang euryhalin avec arrivées d'eau douce et émergence finale due à l'éloignement de la mer.

Actuellement la Chassagnette est couverte par des dépôts de bourrelet de l'ancien Rhône d'Ulmet.

Sondage S4 La Capellière (Moyenne Camargue - Rive occidentale du Vaccarès)

Niveau (en m)	Faune	Milieu (Biotope)
24,70 Cailloutis	<i>Cardium sp</i>	Étang (?)
24,00 - 24,70	<i>Cardium glaucum</i> Brug. <i>Syndesmia sp</i> <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Rissoa sp</i> <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa 1 <i>Planorbis sp</i> 1 <i>Limnaea sp</i> fragment de <i>Neritina fluviatilis</i> L.	Faune euryhaline qui n'est pas trop dégradée : elle indique un apport d'eau douce
23,70 - 24,00	<i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Hydrobia sp</i> <i>Planorbis</i> <i>Retusa truncatula</i> Brug. 1 fragment de <i>Turritella</i> fragment de <i>Cardium glaucum</i> Brug.	Mélange de faune très dégradées (<i>Hydrobia</i>) et de faune de grand étang
22,00 - 23,00	<i>Hydrobia sp</i> <i>Cardium glaucum</i> Brug. <i>Helix barbara</i> L. <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Chlamys sp</i> <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Retusa truncatula</i> Brug. <i>R. subcylindrica</i>	Faune à <i>Cardium</i> et <i>Hydrobia</i> . Mélange de faune comme au niveau précédent.
17,00 - 23,00	<i>Syndesmia sp</i> <i>Mactra sp</i> (rares) <i>Cardium sp</i>	Étang
16,20 - 17,00	<i>Sphaerium sp</i> <i>Pisidium sp</i> <i>Bittium sp</i> 1 <i>Syndesmia ovata</i> Phil.	Apport d'eau douce
13,10 - 14,10	<i>Scolaria tenuicosta</i> Mich. <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Nucula nucleus</i> L. <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Donax semistriatus</i> Poli. <i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Cardium paucicostatum</i> Sow. <i>Cardium sp</i> juven <i>Raphitoma attenuata</i> Mtg (coralligène) <i>Dosinia sp</i> juven <i>Leda pella</i> L. <i>Mytilus sp</i> <i>Ostrea sp</i> <i>Pharus sp</i> <i>Retusa truncatula</i> Brug. <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Venus sp</i> (fragment) <i>Natica</i> (fragment)	Prédominance de faune marine. Il s'agit soit d'un grand étang très ouvert sur la mer, soit d'un golfe dû à une pulsation marine

12,10 - 13,10	<i>Syndesmia</i> <i>Phytia bidentata</i> Bourg. <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Cardium glaucum</i> Brug. 1 plaque d'oursin <i>Turbonillia sp</i>	Étang ouvert avec apport marin
10,10 - 11,10	<i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa (abondant) <i>Hydrobia sp</i> <i>Cardium glaucum</i> Brug <i>Tapes sp</i> 1 <i>Helix barbara</i> L 1 <i>Rissoa sp</i>	Étang avec faune un peu dégradée avec quelques apports d'eau douce
6,05 - 7,05	<i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Cardium glaucum</i> Brug. <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Donax semistriatus</i> Poli 1 <i>Syndesmia sp</i>	Faune euryhaline (sableuse) d'étang plus ou moins ouvert
3,80 - 4,00	<i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Rissoa sp</i> <i>Syndesmia ovata</i> (abondant) Phil. <i>Hydrobia sp</i>	Faune très euryhaline
3,25 - 3,80	<i>Limnaea limosa</i> L. <i>Planorbis complanatus</i> Stud. <i>Helix sp</i> <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D.	Faune continentale avec influence saumâtre
3,00 - 3,25	<i>Limnaea limosa</i> L. <i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Hydrobia sp</i> <i>Helix pulchella</i> Müller fragment de <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D.	Conditions palustres semblables au niveau précédent
2,05 - 3,05	<i>Helix barbara</i> L. <i>Hydrobia sp</i> <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D.	Conditions d'étang euryhalin comme les étangs actuels de la Camargue
Surface		Marais

Conclusions

Il semble que sur le cailloutis pléistocène se soit installé un grand étang avec à plusieurs moments, des apports d'eau douce. Au cours de son existence le régime de cet étang aurait été perturbé par une avancée marine de courte durée (due plutôt à une subsidence et à l'absence locale des apports solides qu'à une remontée du niveau marin). Progressivement l'étang aurait vu se colmater ses graus vers la mer et serait devenu un étang intérieur avec prédominance de faune palustre avant de se combler et de s'assécher complètement pour donner le marais actuel (marais du Vazel)

Sondage S1 Les Frigants (Au Sud du Vaccarès limite de la Moyenne avec la Basse Camargue)

Niveau (en m)	Faune	Milieu (biotope)
42,20 Cailloutis	Pas de faune apparente	
39,00 - 42,20 (sable micacé)	Pas de faune apparente	
38,10 - 39,00	débris indéterminables	
37,40 - 37,70 37,20 - 37,40 36,10 - 37,20 (niveau avec des passages tourbeux)	<i>Bythinia tentaculata</i> L. Nombreux opercules de <i>Bythinia</i> <i>Neritina fluviatilis</i> L. <i>Bythinia tentaculata</i> L. (nombreuses) <i>Limnaea</i> sp fragment de <i>Cardium glaucum</i> Brug.	Niveau peu salé
35,20 - 35,60	<i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Cardium glaucum</i> Brug. var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Hydrobia</i> sp (nombreuses) 1 <i>Helix barbara</i>	Étang avec tendance de sursalage
31,00 - 34,85	débris indéterminables	
30,10 - 30,40	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Limnaea palustris</i> Müller <i>Bythinella</i> sp <i>Planorbis</i> sp	Étang d'eau douce peut être à peine saumâtre
29,60 - 29,85 (Niveau organique)	<i>Bythinia tentaculata</i> L. <i>Cardium glaucum</i> Brug. var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Limnaea</i> sp	Niveau tourbeux d'étang saumâtre
27,90 - 28,70	<i>Cardium</i> sp fragment de <i>Turritella triplicata</i> Brocc. fragment de <i>Venus</i>	?
25,20 - 27,10	débris indéterminables	
24,20 - 25,20	<i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Venus</i> sp <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Dentalium</i> sp <i>Natica</i> juven <i>Tellina</i> sp	Faune de littoral marin ou de très grand étang très ouvert vers la mer
23,40 - 23,60	<i>Turritella triplicata</i> Brocc. (en majorité) <i>Truncatulla leavigata</i> <i>Macra subtruncata</i> Da Costa <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Alexia</i> sp	Bien que les <i>Turritella</i> soient abondantes il semble qu'il s'agisse de faune littorale : présence d'espèces vivant au bord de l'eau
22,20 - 23,00	<i>Nucula nucleus</i> L. <i>Turritella triplicata</i> Brocc.	Il n'y a pas assez d'espèces pour avoir une opinion définitive sur le milieu mais il s'agit probablement d'un milieu marin.

21,20 - 22,20	<p>1 <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa 1 fragment de <i>Turritella triplicata</i> Brocc. fragment de <i>Venus</i></p>	Faune pas assez riche pour en tirer des conclusions.
20,60 - 20,80	fragment de <i>Venus</i>	
19,60 - 19,80	<p><i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Venus</i> sp <i>Cardium paucicostatum</i> Sow. <i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa plaque d'oursin rares <i>Hydrobia</i></p>	Affinités marines certaines mais il s'agirait plutôt d'un grand golfe ou d'un grand étang.
18,00 - 19,20	<p>faune plus ou moins identique à celle du niveau 17,65 - 18,00 ci-dessous. En outre on trouve :</p> <p>1 <i>Nucula nucleus</i> L. 1 <i>Pharus</i> sp <i>Natica</i> sp <i>Retusa truncatula</i> Brug. <i>Leda pella</i> L. <i>Donax variegatus</i> Gmelin <i>Nassa</i> sp 1 <i>Corbula gibba</i> Olivi</p>	Faune de littoral marin très probablement
17,65 - 18,00	<p><i>Solen</i> sp <i>Venus</i> sp (nombreuses) <i>Donax</i> sp (Nombreux) fragment d'oursins 1 <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Raphistoma attenuata</i> Mtg 1 <i>Corbula gibba</i> Olivi</p>	
15,20 - 17,40		
8,00 - 15,20	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa Rares fragments de <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. 1 fragment de <i>Cardium paucicostatum</i> Sow.</p>	Faune d'étang (non caractéristique)
7,75 - 8,00	fragments indéterminables.	
6,65 - 7,75	<p>faune en débris 1 fragment de <i>Venus</i> sp 1 fragment de <i>Luccina</i></p>	?
6,45 - 6,65 (tourbe)	<p><i>Scrobicularia plana</i> Da Costa <i>Planorbis</i> <i>Helix pulchella</i> Müller 1 fragment de <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D.</p>	Mélange de faune hygrophile avec une faune d'eau douce remaniant celle d'étang.
4,95 - 6,45	<p><i>Luccina lactea</i> L. <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa</p>	
1,30 - 4,95	Faune à Hélix non caractéristique	
0,20 - 1,30	Faune à Hélix avec rares <i>Hydrobia</i>	

Conclusions

Après l'installation d'un étang euryhalin (tantôt sursalé, tantôt avec arrivées d'eau douce) une influence marine d'assez longue durée se manifeste avant l'établissement des conditions lagunaires actuelles (le sondage est situé sur un cordon dunaire séparant le Vaccarès des étangs du Sud.)

Sondage S5

Niveau (en m)	Faune	Milieu (Biotope)
35,40 m cailloutis	Voir page 48	Grand étang de faible profondeur
33,00 - 35,40	<i>Helix barbara</i> L. <i>Helix crenulata</i> L. 1 <i>Turritella</i> sp	Dominance de faune continentale (sableuse). Niveau exondé ; type cordon de rivage d'étang.
29,50 - 32,20	<i>Corbula gibba</i> Olivi (très abondant) <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Calyptrea chi nensis</i> L. <i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Nucula nucleus</i> L. <i>Chlamys varius</i> L. <i>Cardium paucicostatum</i> Sow. 1 débris de <i>Cardium glaucum</i> Brug. fragment de <i>Venus</i> sp	Grand étang avec forte influence marine.
27,50 - 29,50	<i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Nassa pygmaea</i> Lamarck. <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Nucula nucleus</i> L. <i>Venus</i> sp <i>Chlamys</i> sp Dentalium <i>Calyptrea chinensis</i> L. fragment de <i>Cardium paucicostatum</i> Sow.	Influence marine accrue
26,20 - 27,00	<i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa (abondants) <i>Donax semistriatus</i> Poli <i>Anomia ehippium</i> L. (fragment) <i>Nassa</i> sp <i>Turritella triplicata</i> Brocc. 1 <i>Hydrobia</i> sp	Dans l'ensemble grand étang avec influence marine littorale (comme l'étang de Berre)
24,20 - 26,20	<i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Calyptrea chi nensis</i> L. <i>Venus</i> sp <i>Corbula gibba</i> Olivi	Marin
22,00 - 24,20	<i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Nucula nucleus</i> L. <i>Dentalium</i> sp <i>Venus</i> sp <i>Calyptrea chi nensis</i> L. plaque d'oursins fragments de <i>Chlamys varius</i> L.	Marin

19,00 - 22,00	<p><i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Turritella triplicata</i> Brocc. <i>Nassa</i> sp <i>Venus</i> (fragment) <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa <i>Retusa truncatula</i> Brug. <i>Cardium paucicostatum</i> Sow. (débris)</p>	Marin
14,50 - 19,00	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa (abondantes) <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Venus</i> sp <i>Retusa truncatula</i> Brug. <i>Donax semistriatus</i> Poli. <i>Nassa pygmaea</i> Lamarck. <i>Cardium papillosum</i> Poli</p>	Grand étang (faune à <i>Corbulomya</i>)
12,00 - 14,50	<p><i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Donax semistriatus</i> Poli <i>Pharus</i> sp <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa</p>	Faune qui pourrait être soit marine soit d'étang très grand avec influences marines.
11,50 - 12,00	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa 1 <i>Nassa pygmaea</i> Lamarck. 1 <i>Limnaea</i> fragment de <i>Barnea candida</i> L.</p>	Conditions semblables au niveau précédent
9,70 - 11,50	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa (abondantes) <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Pharus</i> sp 1 <i>Planorbis</i> 1 <i>Donax semistriatus</i></p>	Faune de grand étang
7,50 - 9,70	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa (abondantes) <i>Corbula gibba</i> Olivi <i>Syndesmia ovata</i> Phil. <i>Mactra subtruncata</i> Da Costa <i>Cardium glaucum</i> Brug., var. <i>paludosa</i> B.D.D. <i>Hydrobia</i> <i>Tellina</i> <i>Donax semistriatus</i> Poli 1 <i>Pharus</i> sp 1 fragment de <i>Venus</i> sp</p>	Faune de grand étang
6,50 - 7,50	<p><i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa fragment de <i>Cardium</i> <i>Syndesmia</i> sp 1 <i>Helix</i> sp 1 <i>Corbula</i> sp 1 <i>Tellina</i></p>	Faune d'étang moins ouvert vers la mer
4,65 - 6,50	<p><i>Cardium glaucum</i> Brug. (débris) <i>Syndesmia</i> <i>Corbulomya mediterranea</i> Da Costa</p>	Étang encore moins ouvert vers la mer.

1,85 - 4,65

Corbulomya mediterranea Da Costa1 *Syndesmia*1 fragment de *Venus*1 *Tellina*1 *Donax trunculus* L.quelques *Donax semistriatus* Polifragments de *Cardium*Conditions semblables à celles
ci-dessus

surface

dunes de cordon dunaire mar-
quant le rivage d'un ancien
étang (?)

Conclusions

A Fielouse, sur le cailloutis, se serait établi un étang dont le rivage ne devrait pas être loin. Rapidement l'étang se serait développé (type étang de Berre) avec des influences marines de plus en plus marquées. L'avancée maritime semble s'effectuer à deux reprises ayant de plus longues durées que pour la région de la Capellière située plus au Nord. La mer se retire et des conditions d'étang, semblables à celles de la première phase se rétablissent. Par la suite l'étang se colmate peu à peu et s'isole de la mer. Les dunes de Fielouse considérées par les auteurs comme marquant un rivage marin (pour certains le rivage le plus éloigné à l'intérieur de la Camargue) caractériseraient plutôt la bordure de cet ancien étang dont les berges se seraient avancées par le colmatage plus au Sud pendant l'époque toute récente.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTUDE FAUNISTIQUE DE L'HOLOCÈNE DE LA CAMARGUE

Il semble que la Haute Camargue ait été épargnée de toute influence marine : les étangs saumâtres qui s'étaient installés à l'arrière du rivage de cette époque (probablement plus au Nord que le littoral actuel) se colmaient peu à peu par l'action conjuguée des anciens bras du Rhône et de l'éloignement de la mer pour donner au pays l'aspect actuel des surélévations des bourrelets du Rhône et des dépressions des bassins d'inondations. (Marais)

Ces étangs de Haute Camargue ressemblaient aux étangs actuels de la Basse Camargue : étangs peu profonds saumâtres ou sursalés avec cependant des arrivées d'eau douce. En Moyenne Camargue les étangs qui existaient alors, tantôt se fermaient, se sursalaient, et diminuaient d'étendue, tantôt au contraire se développaient en de grands étangs ouverts vers la mer. Des avancées de cette dernière perturbaient ce milieu lagunaire.

Ces avancées semblent avoir été plus importantes à l'Ouest (Les Frignants) que vers l'Est (La Capellière, Fielouse). Ces étangs se colmatèrent par la suite et le pays prit peu à peu l'aspect que nous lui voyons aujourd'hui. On ne note donc pas une influence permanente de la mer dans cette région : le milieu marin permanent (s'il existait) se serait donc situé plus au Sud.

Notons enfin que le milieu une fois changé on n'assiste pas obligatoirement à un changement lithologique des dépôts.

TECTONIQUE

TECTONIQUE ANTE-PLIOCÈNE

Nous avons déjà au début de ce chapitre esquissé l'histoire ante-pliocène du delta du Rhône. Dans cette période ante-pliocène nous avons en plus les manifestations de tectonique souple (monoclinaux de la Montagnette, de Beaucaire qui forment la terminaison orientale du plis de Nîmes ; plis d'orientation Est-Ouest pyrénéo-provençale de la chaîne des Alpilles), une tectonique cassante déterminée en grande partie par les mesures géophysiques exécutées pour les recherches pétrolières et confirmée par les sondages.

Trois directions sont prédominantes : (fig. 33)

Nord Ouest - Sud Est :

Décrochement de Remoulins-Beaucaire emprunté par la vallée du Gardon. La flexure Bouillargues-Bellegarde avec effondrement du Mésozoïque dans le compartiment Sud ; la faille de Ventabren * ; la faille d'Istres qui limiterait à l'Ouest le fossé subsident de la Camargue (voir page 37)

Est-Ouest - (pyrénéo-provençale) :

Faille de Sainte Cécile - Albaron qui limite un haut fond crétacé au Nord.

Nord Est - Sud Ouest (Alpine) :

Ce sont des accidents surtout verticaux. On peut citer ici la faille de Nîmes qui abaisse la région méridionale et qui détermine une série de gradins jusqu'à la hauteur de Vauvert (dépression du Vistre) ; les accidents de Saint-Gilles Bellegarde et de la région des Saintes-Maries ; la faille d'Arles, limitant à l'Est le haut fond crétacé. (-90 m environ)

Dès la fin de l'Éocène et pendant l'Oligocène jouent surtout les failles de direction dite pyrénéo-provençale bien que les failles Nord-Est - Sud-Ouest existent probablement déjà. L'action de ces dernières devient prépondérante pendant le Miocène.

TECTONIQUE PLIO-QUATERNAIRE

L'âge et le style des dernières manifestations tecto-génétiques dans la région du Bas-Rhône Languedoc ont déjà depuis longtemps, fait l'objet de controverses.

Pour les eustaticiens la tendance à l'affaissement de la région du Bas-Rhône s'achève au Pontien. Ainsi H. BAULIG soutient qu'il n'y a plus de déformation après le Miocène. G. DENIZOT par contre pense que les données réelles** imposent la notion de gauchissements poursuivis jusqu'au Quaternaire ; c'est l'opinion qui prévaut aujourd'hui.

Cette période plio-quaternaire est caractérisé par le rejeu d'accidents pré-existants accompagnés par une déformation épigénétique qui abaissait la zone cotière tandis que l'aire alpine continuait à se soulever.

Nous avons ainsi le rejeu de la faille de Nîmes dans un sens inverse d'ailleurs et la poursuite de l'affaissement du graben de la Camargue s.l.

La zone centrale de la Costière (L. COLLOT, G. DENIZOT, J.P SCHWOBTHALER et H. VOGT, A. BONNET) s'est soulevée, délimitant au Nord le fossé d'effondrement de la Vistrenque.

A sa surface une tectonique cassante forme des dépressions fermées.

Le versant sud-est de la Costière de Beaucaire à Saint-Gilles se termine par un talus raide dû vraisemblablement à une faille ou une flexure qui décroche son cailloutis que l'on retrouve sous les dépôts d'alluvions modernes ***.

* Dans la région méridionale les sondages sont trop peu nombreux pour que l'on puisse localiser avec précision les accidents indiqués par la géophysique.

** Résultats des sondages et des mesures géophysiques de la S.N.P.L.M

*** L'existence de cette faille est contestée par J.P. POGGI qui sous la plaine de Beaucaire a trouvé un cailloutis différent de celui de la Costière.

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

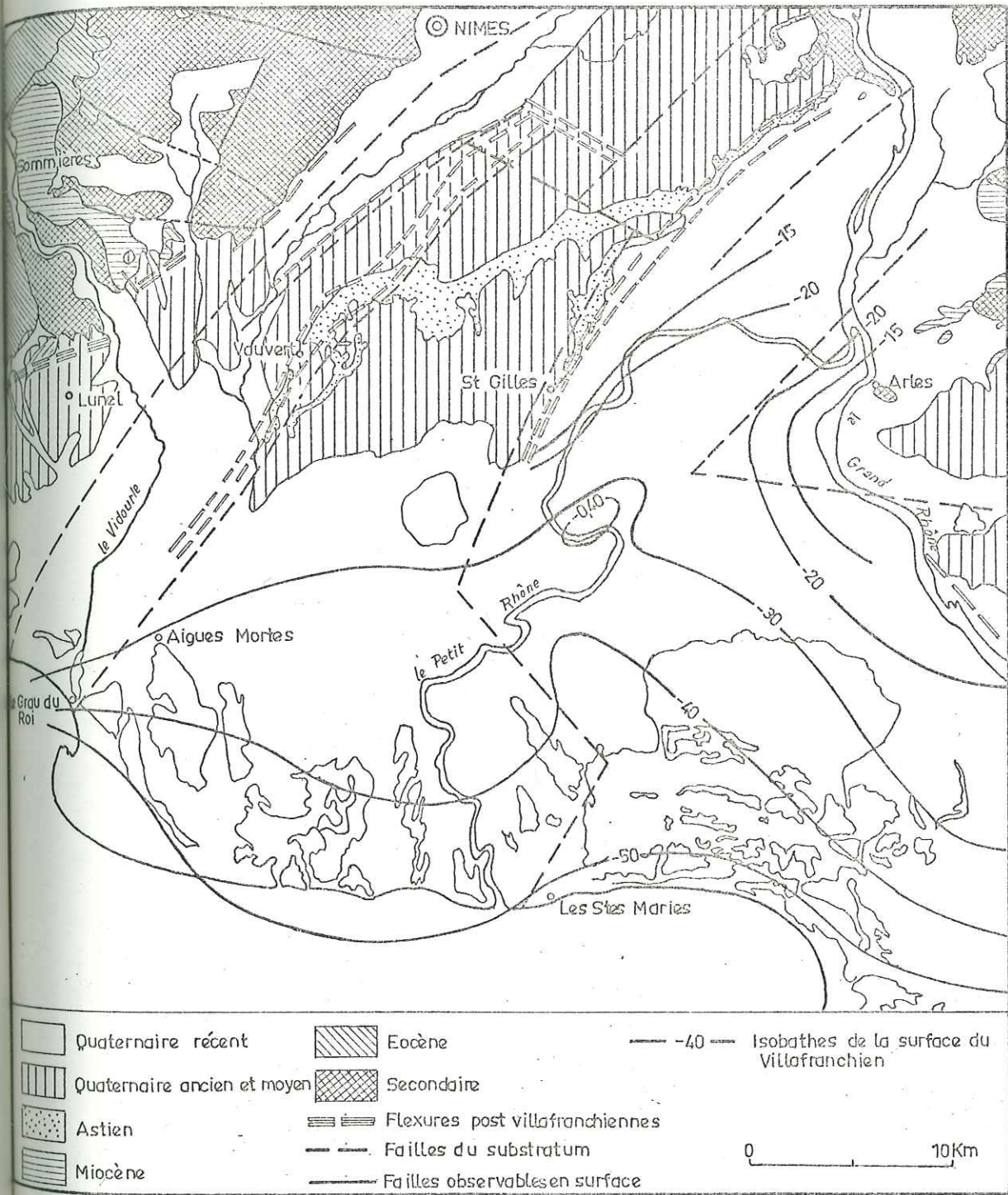


Fig 33 - SCHEMA TECTONIQUE DU BAS RHONE (d'après A. BONNET)

De même le bord sud de la Crau s'affaisse et la nappe caillouteuse s'incline, gauchie par les mouvements de rejeu de la chaîne des Alpilles.

Ainsi nous constatons qu'il n'est pas impossible qu'il y ait en Camargue des manifestations tectoniques récentes masquées par les dépôts modernes du delta.

Nous avons déjà signalé des formes anormales de la surface du cailloutis qui ne peuvent être expliquées par la seule action de l'érosion. Nous avons également noté que certaines de ces anomalies paraissent s'aligner à l'aplomb des accidents profonds dont le rejeu est très probable pendant le Quaternaire. De même la direction des compartiments abaissés de ces accidents présumés est compatible avec l'enfoncement du graben du Bas-Rhône ; ceci aurait facilité la subsidence récente du delta et conditionné les impulsions marines constatées pendant l'époque toute récente du delta (flandrien).

Il n'est dès lors plus besoin de faire appel aux variations eustatiques de la mer à une époque dépourvue de variations climatiques importantes.

CHAPITRE V

LES SOLS

Ainsi que nous l'avons vu dans les chapitres précédents les sols (sédiments de surface) de Camargue sont récents. Les plus âgés ayant été déposés depuis quelques siècles seulement. Ils n'ont donc subi que des transformations résultant des phénomènes les plus rapides de la pédogénèse en particulier ceux liés à la présence d'une nappe généralement salée.

Nous ne donnerons ici qu'un bref exposé* des différents types de sols, liés intimement à la morphologie; nous nous bornerons aux considérations qui influent surtout sur l'hydrologie et l'hydraulique souterraine.

1 - Sols minéraux bruts non climatiques

a) d'apport alluvial : ces sols sont les alluvions actuelles du Rhône situées dans les Segonaux, soumis aux inondations du fleuve. Texture : limon sableux et limon légèrement argileux.

b) d'apport colluvial : les colluvions salées en bordure des dunes (Frignants). C'est un ensemble hétérogène observé en contrebas des zones sableuses dunaires. Texture : limon sableux.

c) d'apport éolien : sables repris à faible distance (dunes mobiles des cordons littoraux sans cesse remaniées par le vent). Texture : sable.

2 - Sols peu évolués non climatiques (légèrement brunifiés)

a) d'apport alluvial : on peut distinguer ici des alluvions mises en culture depuis très longtemps (anciens bras du Rhône) avec ou sans caractères d'hydromorphie et de salure. Texture : limon sableux ou limon légèrement argileux.

b) d'apport éolien. Il s'agit de dunes reprises à faible distance (dunes fixées par la végétation) non salées ou plus ou moins salées. Texture : sable.

3 - Sols sodiques

En Camargue la grande majorité des sols sodiques sont des sols salins (solontchak).

3a - Sols peu salins en surface

a) du Rhône : généralement parties moyennes des bourrelets alluviaux, à végétation plus ou moins halophile. Texture : limon sableux ou limon légèrement argileux.

* Rédigé essentiellement d'après les données fournies par le Service Etude des Sols de la B.Rh.L. à la suite de l'étude pédologique de M. C. TONI.

b) palustres : en bordure des bassins d'inondation représentés par les 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 des facteurs anthropiques (travaux d'assainissement et d'irrigation) soit par des dunes. Texture : argile légèrement limoneuse et sableuse à limon argilo-sableux ou argile légèrement limoneuse à argile.

c) d'étang salé : il s'agit de sables coquilliers. Texture : sable ou limon sableux.

3b - Sols salins en surface

a) du Rhône : généralement parties moyennes et basses des bourrelets alluviaux et zones de transition avec les bassins d'inondation. Ils sont à végétation halophile. Texture : variée, limon sableux, limon argileux ou plus rarement argile limoneuse.

b) palustres* : pourtour des bassins d'inondation et des marais, zone d'évaporation. Ils se confondent souvent avec les sols précédents. Ils ont une végétation halophile et très hygrophile. Texture : limon argileux ou argile limoneuse à argile.

3c - Sols très salins

a) du Rhône : généralement parties basses des bourrelets alluviaux (et zones des crevasses) à végétation halophile. Texture : limon.

b) d'étang saumâtre et à taches salines : zones desséchées en été des étangs littoraux à efflorescences salines également. Texture : limon argileux.

On connaît des sols sodiques à structure dégradée : sols salins à alcalins (solontchak-solonetz). Les analyses ont montré que ces sols s'observent surtout dans la catégorie des sols peu salins en surface du Rhône (3a - a).

4 - Sols hydromorphes minéraux ou peu humifères

a) du Rhône : zones déprimées dans les axes des anciens cours du Rhône. Texture : limon argileux ou argile limoneuse à argile.

b) palustres : salés ou en cours de dessalage superficiel en vue de l'établissement de rizières. Texture : argile limoneuse à argile.

c) 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, entraîne un dessalage superficiel et crée des conditions réductrices. Les rizières peuvent se développer presque indifféremment sur la plupart des sols de Camargue sauf les plus sableux.

On peut remarquer que les différentes catégories des sols sont en rapport avec leur origine et leur répartition morphologique. Ainsi la carte géomorphologique (planche hors texte I) montre sommairement leur répartition en Camargue.

Nous donnons au tableau de la page suivante, à titre d'exemple, la granulométrie et les caractères généraux des différentes catégories des alluvions.

* pratiquement toujours sous une pellicule d'eau.

		Dépôt de marais	Dépôt fluviatile de bourrelet (moyen)	Dépôt fluviatile de bourrelet mis en rizière compacté)	Dépôt fluviatile de bourrelet (léger)	Sable éolien	Dépôt d'étang ancien (couvert)	Dépôt d'étang	Dépôt de lit d'ancien Rhône
tamisage des sables	Sable 1mm	traces	traces	traces	traces	traces	traces	1	traces
	grossier	0,5	traces	traces	traces	traces	traces	2	traces
		0,2	traces	1	traces	1	21	6	2
	fin	0,1	traces	7	2	11	63	14	5
		1	14	5	22	5	32	9	1
Granulométrie de la terre fine	Sable grossier 0,2	traces	1	traces	1	21	6	5	19
	Sable fin 0,05	1	21	7	33	68	46	14	52
	Limon gros. 0,02	8	37	25	31	4	22	18	28
	Limon fin 0,002	44	31	45	24	3	15	40	52
	Argile	45	19	22	9	0	7	23	28
Texture		Argile	Limon à limon argileux	Limon argileux	Limon sableux	sable	sable limoneux	Limon argileux	Argile limoneuse
Calcaire	Total	30	33	27	27	16	31	37	40
	Actif	18	8	10	16	1	8	13	26
Densité apparente		1,42	1,40	1,43	1,58				
Humidité équivalente		41	23	32	19	7	20	35	33
Vitesse de filtration "Vergières"	K1 cm/s dès écoulement	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0	$1,1 \cdot 10^{-3}$				
	K2 cm/s après 3 heures	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$				
pH (eau)		8,8	9,4	8,0	8,1	8,4	8,8	8,0	9,2
Salure réelle (g/l)								0,58	4,9

3

TROISIEME PARTIE

ÉTUDES HYDROGÉOLOGIQUES

CHAPITRE VI

METHODE D'ETUDE

Il est connu qu'en Camargue existe une nappe à faible profondeur dans les terrains récents limonosableux ou limonoargileux. Cette nappe, plus ou moins salée, a été étudiée en différents points et pour des buts divers en insistant notamment sur les variations saisonnières de son niveau et de sa salinité et en cherchant à établir ses relations avec les plans d'eaux de surface (4, 141, 144, 149, 151, 214). Cependant ces études étaient restées, soit trop généralisées, soit limitées à des régions singulières d'où il était souvent difficile de tirer des conclusions d'ordre global pour toute la Camargue.

Une deuxième nappe existe, cette fois en profondeur, en charge dans le substratum caillouteux du Quaternaire récent. Nos connaissances sur celle-ci, souvent révélée salée par les quelques sondages profonds qui l'on touchée, étaient jusqu'à maintenant insignifiants, et les Camarguais croient encore qu'il s'agit là du prolongement du "fleuve souterrain" de la Crau.

Notre étude a suivi pendant son déroulement (fin 1967 - 1969) les stades suivants :

- une prise de contact avec la région si particulière que représente la Camargue
- une étude bibliographique aussi exhaustive que possible, concernant non seulement la Camargue et ses régions limitrophes mais aussi d'autres régions deltaïques ou semi arides qui étaient susceptibles de lui ressembler
- une prospection sur le terrain permettant l'implantation du matériel d'observation et de points de prélèvement d'eau
- la surveillance des puits ou forages profonds préexistants
- l'implantation de façon progressive suivant l'évolution des idées, de piézomètres pour l'étude de la nappe phréatique (relevés et prélèvements pour analyses)
- le prélèvement des eaux de plans d'eaux superficiels (canaux, étangs)
- l'exécution de sondages profonds dans le double but d'étudier les deux nappes et la géologie

- l'exécution d'une nouvelle campagne de sondages profonds
- un dosage de l'activité "Tritium" des eaux de la nappe des cailloutis et des régions adjacentes permettant de mieux préciser son origine et son alimentation.
- la mise au net, l'interprétation et la rédaction des conclusions.

Nous voulons préciser dès maintenant que cette étude a pour but l'étude générale des eaux souterraines de la Camargue, définir leur origine, leur nature et leur lois de circulation et de salinité. Elle reste une étude générale. Des variantes de détail doivent certainement exister en des points particuliers; mais une fois ce régime général mieux connu, pourrait-on à l'avenir mieux les préciser.

D'autre part, par les moyens mis à notre disposition, cette étude est restée dans un cadre qualitatif; nous donnons cependant des indications quantitatives qu'il serait souhaitable de préciser.

Puits

Dès le début de cette étude 91 puits ou forages profonds ont été soigneusement inventoriés en Haute et Moyenne Camargue. Des mesures des niveaux du plan d'eau et des prélèvements d'eau pour analyse chimique ont été effectués, au départ tous les 15 jours pour se stabiliser ensuite une fois par mois.

Piézomètres

Les piézomètres permettant l'étude de la nappe phréatique ont été installés au fur et à mesure de l'avancement de l'étude. Actuellement il en existe 69 répartis également en Haute et Moyenne Camargue. Ces piézomètres sont doubles pour l'étude de l'évolution du gradient vertical des déplacements du sel. Le piézomètre court à une profondeur qui varie de 2 à 4 m et le piézomètre long de 5 à 7 m.

Ils sont crépinés uniquement à leur base et protégés des facteurs extérieurs. Pour éviter leur colmatage ils sont régulièrement vidangés.* Les relevés et les prélèvements ont été réalisés avec la même périodicité que pour les puits.

* tous les points d'eau utilisés pour l'étude sont nivelés et reportés au nivellement général de la France.

Les analyses chimiques

Elles ont concerné exclusivement la mesure de la salinité (exprimées en g/l c'est à dire sur mille). Par salinité nous entendons le taux des chlorures. On suppose en effet que tout le chlore est lié au Na. Or le Cl est combiné à d'autres cations, notamment le Mg *. Le Cl a été analysé par mesure de résistivité (salinité théorique) confirmé ensuite par analyse chimique (salinité réelle); c'est cette dernière que nous utiliserons ici.

Des dosages d'activité "Tritium" ont été effectués sur des prélèvements d'eau en Camargue et dans les régions limitrophes pour établir les origines de la nappe profonde de la Camargue.

Le principe en est la mesure du rayonnement dosé par scintillation en milieu aquatique après concentration de l'eau par électrolyse.**

Les sondages profonds

Les 10 sondages profonds ont été exécutés par percussion et de façon à avoir une coupe exacte et continue des terrains, elle était effectuée sans eau, l'eau nécessaire pour l'avancement provenant de la même nappe. L'évolution de la nappe, quasi continue jusqu'au cailloutis mais avec des caractères hydrodynamiques, hydrogéologiques et géochimiques différents, a été étudiée grâce à des relevés du niveau piézométrique à chaque début de poste et par le prélèvement d'un échantillon d'eau tous les trois mètres. Avant le prélèvement le sondage était tubé jusqu'au fond de son avancement; ainsi les eaux n'arrivaient pas en principe des horizons supérieurs et étaient représentatives de la tranche de 3 m. Ce prélèvement s'effectuait après vidange du trou ou à défaut après un "soupapage" d'une heure. Les sondages avaient pénétré de 5 à 12 m dans le cailloutis : cette partie était crépinée, et isolée, par un bouchon d'argile, de la nappe contenue dans les formations sousjacentes.

L'étude géophysique

Cette étude avait pour objet la reconnaissance de la position des cailloutis s.l. sous les dépôts limonosableux récents, et, chaque fois que cela était possible, la précision du toit des sables marneux astiens sous-jacents. Nous avons déjà exploité au chapitre IV ces résultats structuraux. De plus il s'agissait de reconnaître la salure des nappes dans les alluvions modernes et dans le cailloutis. La méthode géophysique utilisée pour cette prospection a été celle des résistivités.

* Ainsi 1 g Cl correspond à 1 g 65 Na Cl

** Analyses effectuées par le C.E.A. à Cádiz.

On sait que la résistivité d'un terrain est fonction de sa granulométrie (perméabilité) et de la conductivité de l'eau qu'il renferme: des alluvions d'eau douce sont beaucoup plus résistantes que ces mêmes alluvions renfermant de l'eau salée. Une précédente campagne géophysique effectuée au Nord du delta par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (214) a montré que l'on pouvait différencier les alluvions modernes fines et plus conductrices du cailloutis (plus résistant) malgré la présence d'eau salée ou saumâtre qui tend à abaisser les résistivités. La Compagnie de Prospection Géophysique Française, chargée de cette nouvelle étude a réalisé 3 profils avec des sondages électriques (58 au total) espacés de 500 m environ*.

Le procédé employé a été la méthode Wener à cause de la faible résistivité des terrains ; pour la même raison c'est le $\frac{AB}{3}$ qui a été utilisé.

Les diagrammes obtenus sont généralement du type "trois terrains" ou en dérivent : (fig.34)

- a) diagramme "trois couches" résistant - conducteur - résistant (sondage électrique 220) : En surface un terrain relativement résistant et généralement de faible épaisseur (1 à 5m) qui serait attribué à des alluvions modernes, soit relativement desséchées, soit contenant une nappe d'eau saumâtre.

Au dessous un horizon épais de 15 à 30 m de faible résistivité (0,2 à $2 \Omega/m$) qui correspondrait aux alluvions à eau salée. Le toit plus résistant du cailloutis ferait remonter le diagramme entre 2 et $18 \Omega/m$ selon que la nappe est plus ou moins salée.

- b) diagramme "quatre couches" (sondage électrique 310). Il est assez rare et laisserait apparaître après le cailloutis des sables marneux de l'Astien.
- c) diagramme "deux couches" conducteur - résistant. Il est interprété comme une variante du type "trois couches", les deux premiers terrains présentant les mêmes caractéristiques (eau salée) (sondage électrique d'étalonnage du forage Augery).
- d) diagramme "deux couches" conducteur résistant (sondage électrique 208). Quelques sondages seulement appartiennent à cette famille. Il peut s'interpréter de la manière suivante: En couverture une couche résistante (20 à $40 \Omega/m$) d'alluvions quaternaires envahies d'eau saumâtre, repose sur des terrains conducteurs (3 à $5 \Omega/m$) d'eau salée, sans qu'on puisse définir leur nature.

* Quelques sondages électriques isolés d'étalonnage ou de contrôle ont été réalisés à proximité de sondages mécaniques existants et dont nous possédons la coupe.

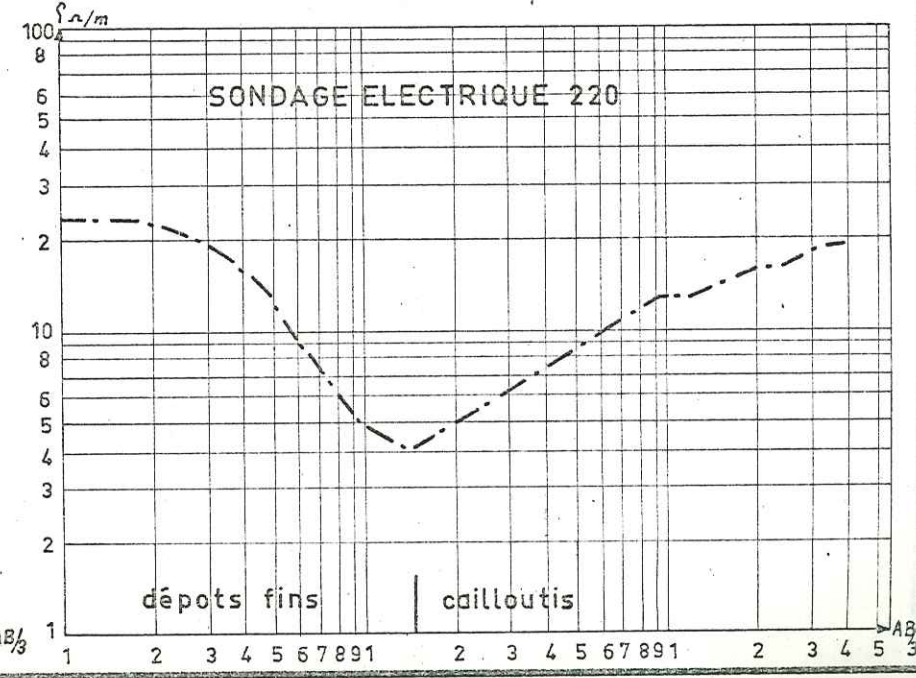
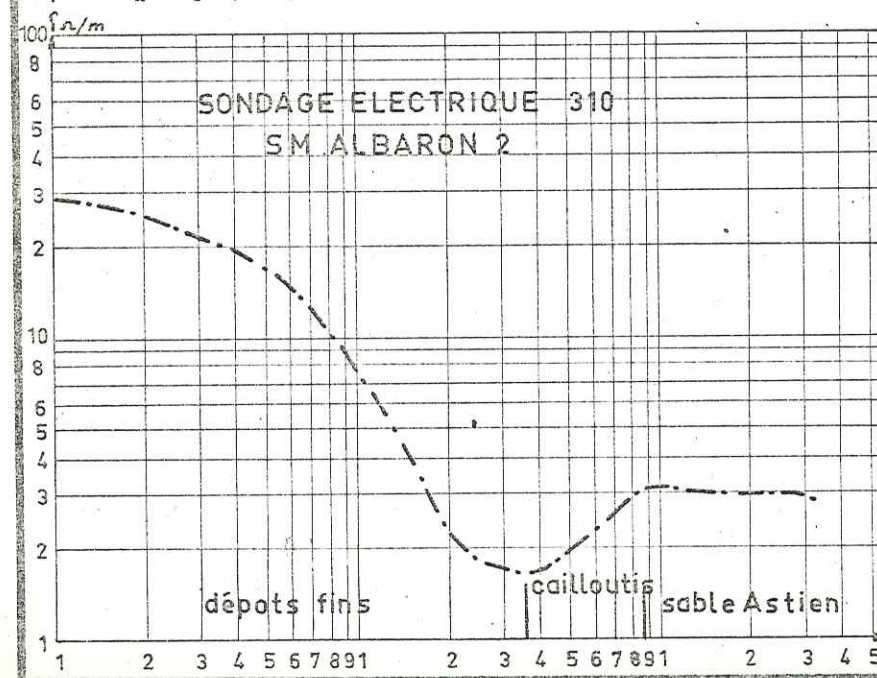
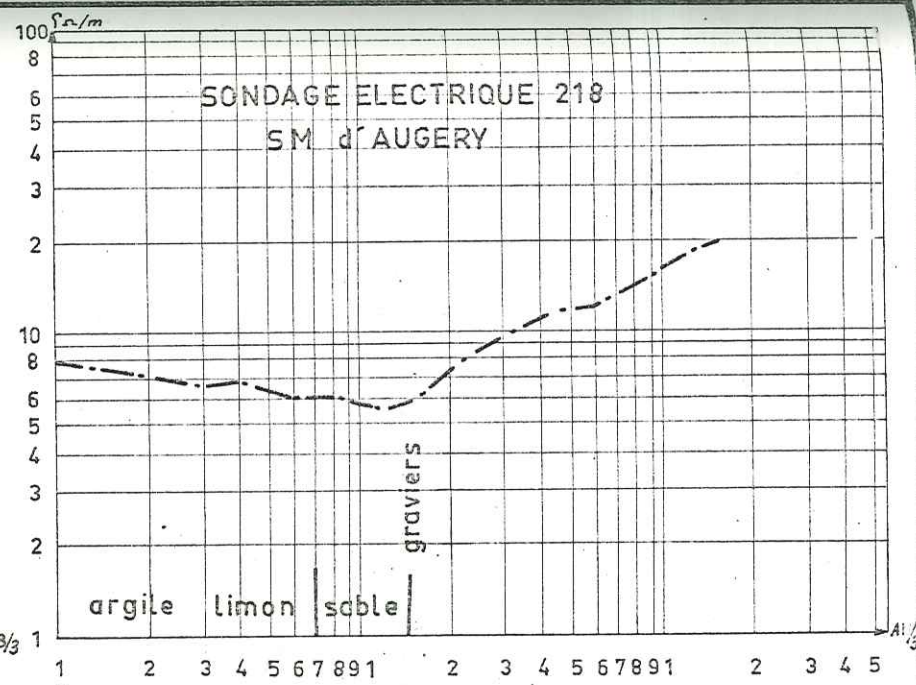
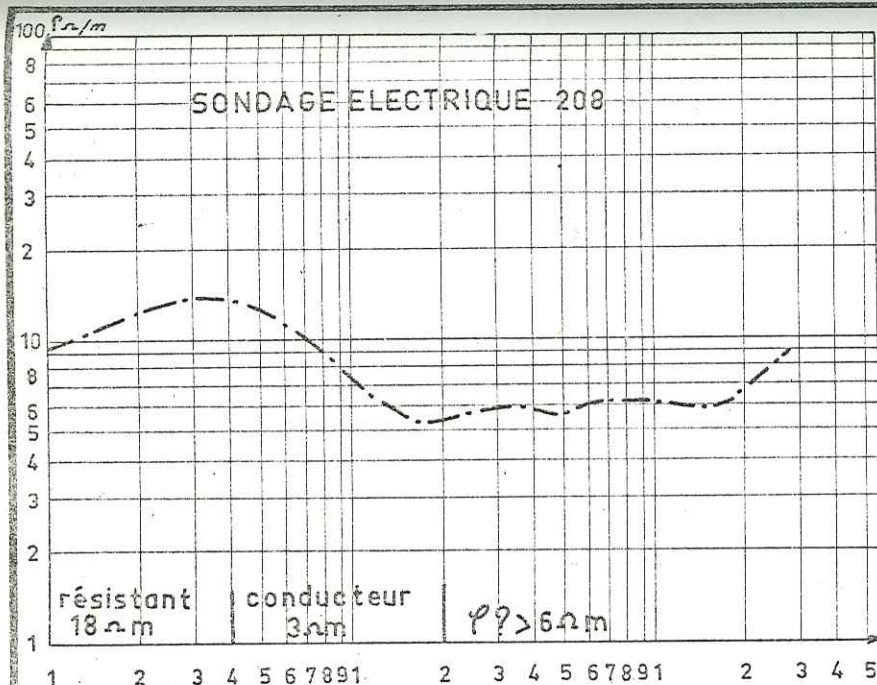


Fig 34 - EXEMPLE DES DIAGRAMMES DE RESISTIVITE

En conclusion l'étude géophysique entreprise admet les résistivités suivantes pour les différents terrains : (en Ω /m)

limons sables et argiles de surface en eau saumâtre	:	12 à 40
" " " " " " en eau salée	:	0,5 à 10
Cailloutis en eau saumâtre	:	14 à 30
" en eau salée	:	2 à 10
Sable argileux astien	:	2 à 13

Nous pouvons facilement constater que ces valeurs se recouvrent. Or les sondages électriques d'étalonnage sur des coupes de sondages mécaniques ont montré qu'en principe le cailloutis a une faible résistivité et que celle des alluvions modernes qui le recouvrent est encore plus faible. C'est à partir de cette constatation que le géophysicien a établi son interprétation. Nous avons déjà fait nos remarques et observations sur l'interprétation structurale; nous les présenterons à nouveau plus loin pour celle de l'hydrogéologie.

CHAPITRE VII

HYDROLOGIE DE SURFACE

L'étude des eaux de surface, dans ce pays à demi-submergé et présentant une sorte d'autonomie hydraulique due à ce qu'il est protégé des deux bras du Rhône et de la mer par les digues*, offre un intérêt particulier. Cette submersion à demi-naturelle (étang-marais) et à demi artificielle (rizières - canaux d'irrigation et d'assainissement) mérite d'être examinée ici, car elle peut influencer les eaux souterraines, leur alimentation et leur salinité**.

LE RHONE

Au Chapitre II nous avons sommairement décrit les caractéristiques et le régime de deux bras actifs du Rhône. Nous présentons aux fig. 35-36 les profils en long du Grand et du Petit Rhône avec les remontées d'eau salées, en considérant qu'aucun pompage important n'a été effectué plus en amont. (d'après un document des Ponts et Chaussées). A l'embouchure du Grand Rhône la surface du fleuve a une salinité de 4 g/l (156).

LES RIZIERES

Depuis la construction des digues, l'essor de la riziculture est le principal facteur des modifications du régime hydraulique de la Camargue.

La riziculture, installée d'abord sur les régions élevées (Tête de la Camargue, bourrelets d'ancien bras etc.), s'est par la suite étendue aux zones plus basses jusqu'en bordure même des marais ou des étangs. On comptait en 1960, 19.500 ha (67) de rizières, chiffre qui est approximativement celui d'aujourd'hui (fig. 37).

* Nous avons déjà signalé (chapitre II) qu'avant la construction des digues protectrices, les eaux douces du Rhône et salées de la mer venaient souvent troubler, le régime des eaux de surface en empêchant l'établissement de tout équilibre.

** Nous rappelons que nous avons déjà présenté des considérations générales sur la morphologie, la nature et l'évolution du réseau hydrographique aux chapitres II et III et V.

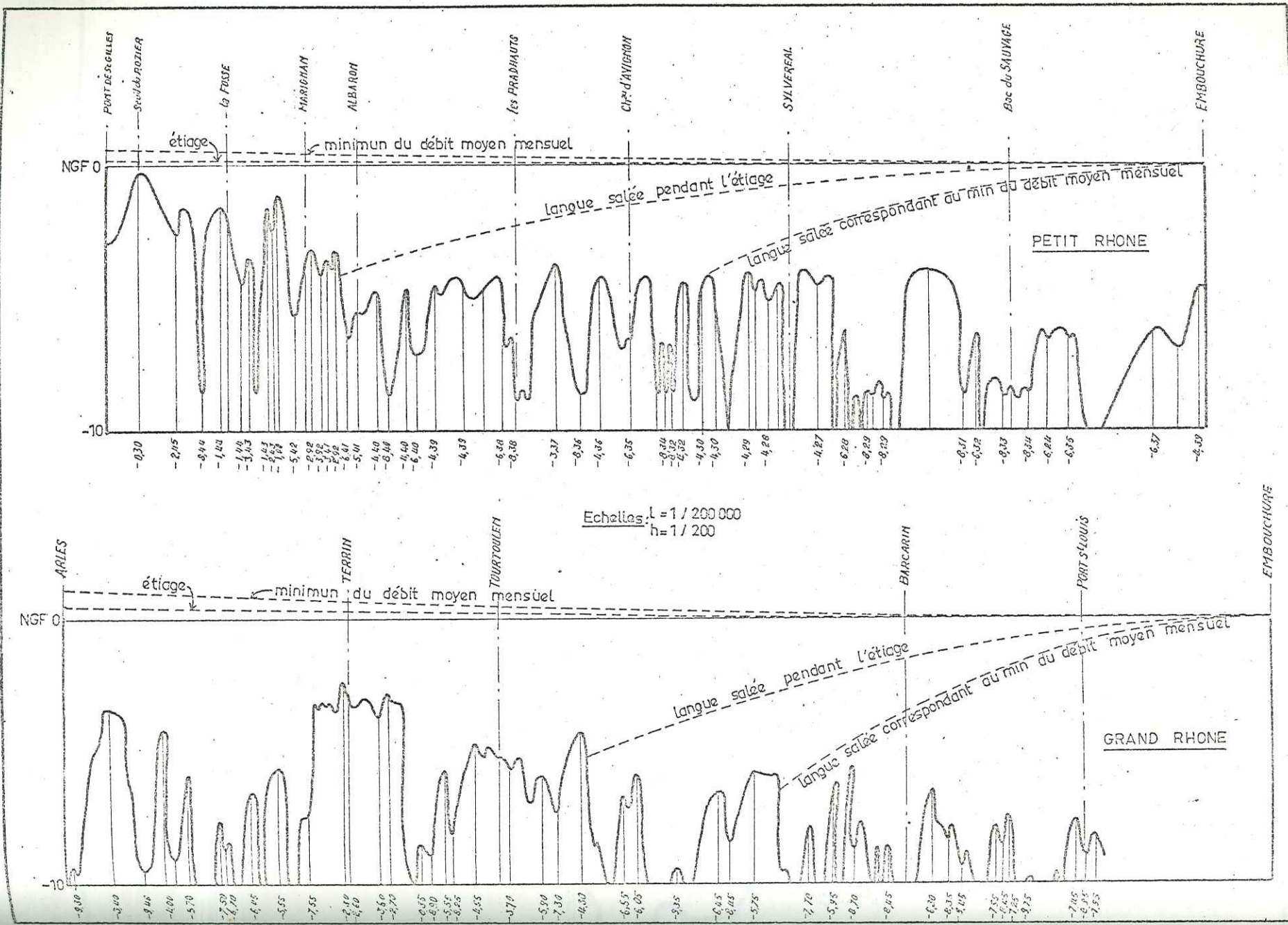


Fig 35.35 - PROFILS EN LONG ET REMONTEES DES LANGUES SALLEES DANS LE GRAND ET LE PETIT RHONE (d'après documents PONTS et CHAUSSEES)

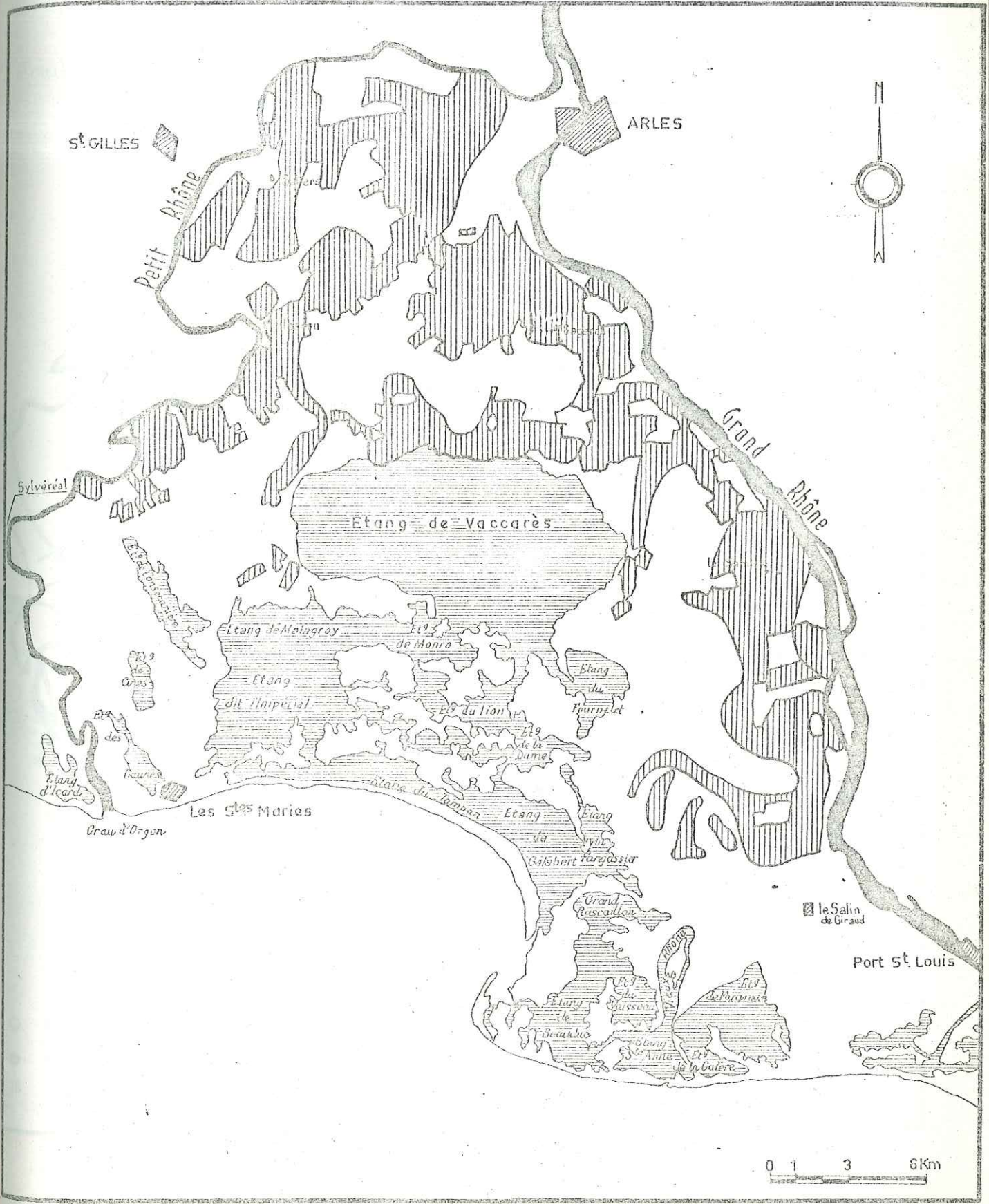


Fig 37 - SCHEMA DE REPARTITION DES RIZIERES EN HAUTE ET MOYENNE CAMARGUE

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

94

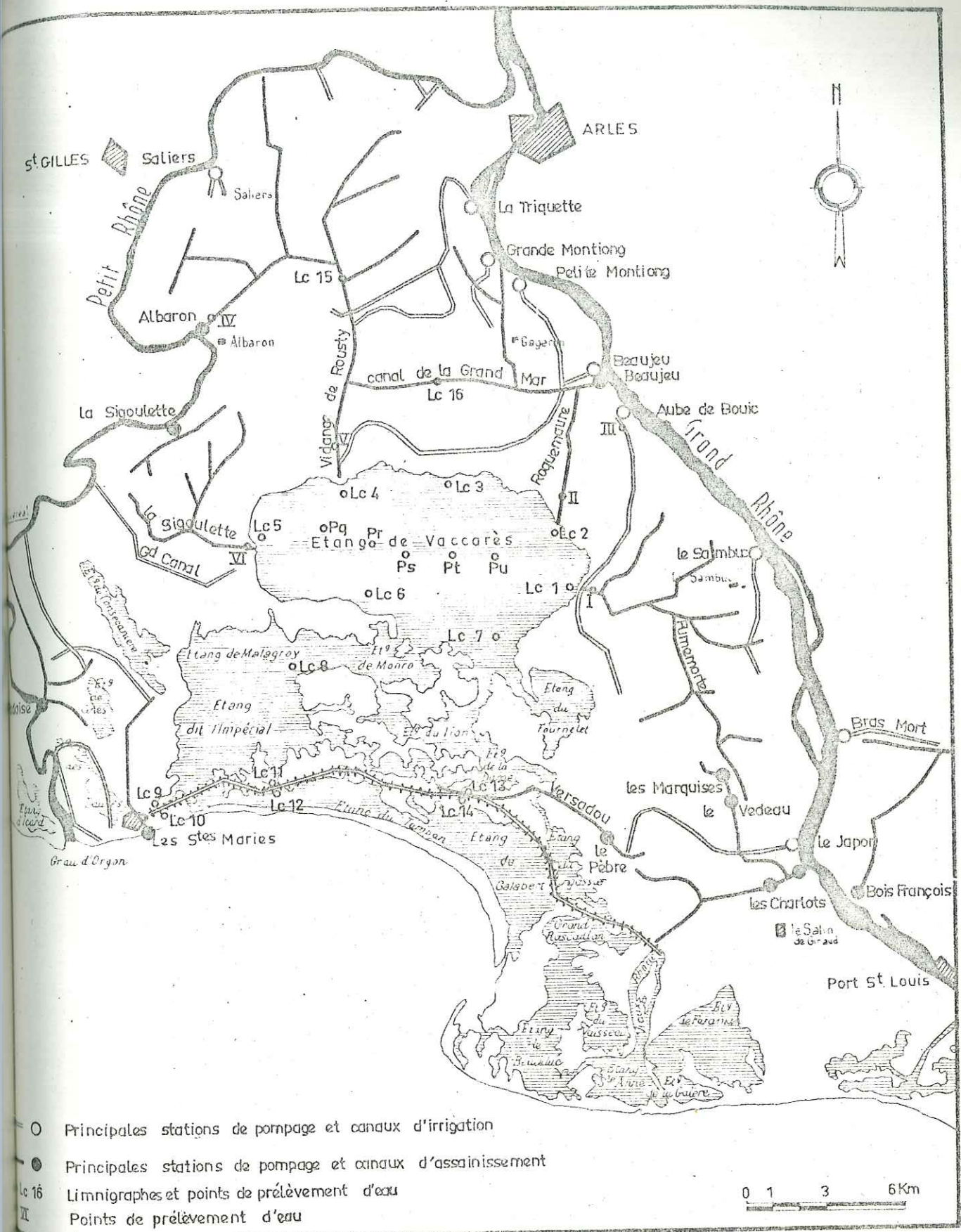


Fig 38 - IMPLANTATION DES POINTS DE PRELEVEMENT D'EAU DE SURFACE

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Le riz se cultive 5 mois (Mai à Septembre) dans l'eau renouvelée. Or les pluies insuffisantes sont supplées par l'irrigation. D'énormes quantités d'eau arrivent des deux bras du Rhône par des grands émissaires. En 1953 ARRIGHI DE CASANOVA (9) a évalué pour la région d'Arles l'efficacité à 60 % et les besoins en eau à 22.000 m³ par hectare de rizière et par an. Avec leur développement récent vers les terres basses et la nécessité d'un lessivage plus intense F. PELISSIER (in HEURTEAUX (149) a estimé en 1956 les besoins à 40.000 m³/ha*).

Les eaux usées ou excédentaires ** sont drainées par des égouts hors de rizières et évacuées vers des dépressions fermées.

Au départ l'exutoire naturel du Vaccarès a été utilisé de façon intensive, transformant son régime et abaissant sa salinité ; ceci comprenant la sauvegarde de sa faune et flore particulière et le fonctionnement des salines de la Basse Camargue, le Génie Rural a remédié partiellement à ce nouveau problème par la construction de stations de pompage de refoulement d'une partie des colatures vers les deux bras du Rhône.

P. HEURTEAUX en se basant sur des résultats des rizières expérimentales estime de 4.000 à 9.000 m³/h. L'eau qui s'infiltré de la mise en eau jusqu'aux moissons, quand l'apport extérieur est de 21 à 23.000 m³/ha. Ces chiffres doivent varier d'un point à un autre en Camargue, si on tient compte de l'hétérogénéité du sous-sol aussi bien au point de vue perméabilité qu'épaisseur de la couche à percoler. D'après le même auteur, les besoins de la riziculture peuvent être évalués à 380 millions de m³ par an, auxquels il faudrait ajouter un volume de 30 millions pour la submersion de la vigne pendant l'hiver et 6 millions pour l'irrigation des prairies. Les colatures présenteraient au moins 50% du volume total introduit.

LES CANAUX

Nous présentons aux tableaux suivants les variations des niveaux et de salinité de certains des principaux canaux d'irrigation ou d'assainissement** (période 1968)

* D'après P. GOUNY (139) le taux du sel dans le sol doit être en principe ramené au voisinage de 1 g/l pour que la culture du riz devienne possible.

** La rizière établie dans des enclos limités par des petites digues en terre, submergée jusqu'à un niveau favorable pour les plantes de riz, est alimentée périodiquement pour compenser les pertes. Un autre mode d'arrosage répandu est de maintenir un niveau constant en introduisant une quantité d'eau légèrement ^{supérieure} aux besoins, le trop plein s'écoulant vers les canaux de drainage et augmentant considérablement la quantité des colatures à évacuer.

*** Voir implantation fig. 38 .

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

VARIATIONS DES NIVEAUX DANS LES CANAUX

(cotes absolues)

Point de mesure	D.J.F. 1967-68	M.A.M. 1968	J.J.A. 1968	S.O.N. 1968	D.J.F. 1968-1969
I -- FUMEMORTE As.	- 0,28	-0,21	-0,30	-0,36	-0,16
II -- Egout de Roque- maure As.	- 0,35	-	-0,37	-0,33	
III -- Aube de Bouic	variations brutales en fonction du fonctionnement des pompes				
IV -- Pont du Rousty	- 0,42	-0,41	-0,44	-0,43	-

As : Assainissement

Ir : Irrigation

SALINITE DES EAUX DANS LES CANAUX

(en g/l)

Point de prélèvement	D.F.F. 1967-68		MAM. 1968	J-JA 1968	SOM. 1968	DJF 1968-69
	Surf.	Prof.				
I - Fumemorte As (aval)	4,60	5,40	5,0	1,3	1,9	4,2
II - Egout de Roquemaure (aval) As	3,9	6,5	2,0	0,30	0,50	1,9
III- Aube de Bouic (Ulmet) r. (amont) l	0,7	1,0	2,2	0,50	0,70	
		pompe arrêtées	pompes arrêtées	pompe en marche	pompe en marche	
IV - Canal d'Albaron As(aval)	0,6		1,4	0,40	0,70	1,80
		pompe + marche	pompe en marche	pompe en en marche	pompe en marche en	pompes arrêtées
V - Canal du Rousty As (aval)	3,6		7,7	4,5	2,7	7,0
Lc ₁₅ Canal du Rousty As (amont)	-		-	-	0,34	2,64
Lc ₁₆ Pont du Figuier	-		-	-	-	0,84
VI - La Sigoulette As (aval)	-		3,8	1,3	3,6	5,0

Les variations des niveaux des canaux d'irrigation ne sont pas régulières ni interprétables, dépendant du fonctionnement des pompes. Pour les canaux d'assainissement qui finissent au Vaccarès, bien que ces variations ne soient pas notables, elles sont cependant fonction du régime de rizières situées plus vers l'amont (niveaux plus élevés pendant les mois d'été et d'automne). Le fait de la faible différence entre les niveaux correspondant aux périodes des rizières submergées et à celles de rizières asséchées montrerait une faible infiltration vers l'intérieur des sols et un lit plus ou moins colmaté.

En ce qui concerne la salinité, les variations sont assez importantes. Pendant l'hiver et le printemps les eaux des canaux de drainage ont une salinité plus élevée que pendant l'été et l'automne quand elles contiennent les eaux excédentaires des rizières. De même pour chaque canal, la salinité s'accroît vers l'aval, les eaux se chargeant en sels à leur passage dans des zones plus basses. On constate aussi la plus faible salinité du canal de Roquemaure qui draine des parties plus ou moins hautes par rapport aux canaux de Rouesty (drainage des marais de la Haute Camargue), de Funemorte ou de la Sigoulette (drainage de la Moyenne Camargue).

ETANGS

La forte évaporation due aux conditions climatiques défavorables a comme résultat l'augmentation de la concentration du sel dans les étangs du Sud qui constituent plus ou moins des bassins fermés.

Cette évaporation d'ailleurs fait remonter le sel des sols très salés de cette région vers la surface et l'apparition pendant l'été des efflorescences salines en surface qui charge, ainsi en sel les eaux des premières pluies de l'automne. Les étangs peu profonds restent complètement secs pendant l'été, recouverts d'une mince pellicule de sel. Les étangs plus profonds restent en eau toute l'année, plus à cause de l'épaisseur initiale de l'eau et les éventuels amenées d'eau de drainage que par une alimentation par une nappe souterraine. D'une façon générale la salinité des étangs est moins élevée pendant les mois d'hiver après que les pluies d'automne aient diluées les fortes teneurs en sel d'été. Souvent cette salinité estivale dépasse, du fait de la concentration, ces valeurs du teneur en sel de la mer* (45 - 60 g/l pendant la période estivale de 1950 dans un grand nombre d'étangs, pour l'étang de la Roque on notait une salinité de 132 g/l un peu avant son assèchement (203)).

Les prélèvements d'eau effectués par la B.Rh.L. dans l'étang du Malagroy, ont montré pendant l'année 1968 les variations de salinité suivantes (g/l) :

Mai-Juin : 13,6	;	Juillet : 23,4	;	fin Aout : 30,1
Octobre : 20,4	;	Novembre: 14,3	;	Janvier69: 10,3

Les variations suivent donc de très près les variations climatiques. Le fait que la salinité d'été soit inférieure avec celle de la mer est due aux apports d'eaux moins salées qui arrivent par le Vaccarès avec lequel il communique, et qui sont à l'origine du drainage des rizières.

* La mer à 200 m à l'Est de l'embouchure du Grand Rhône, a une salinité de 26 g/l ; dans le golfe de Fos elle varie entre 39 et 45 g/l.

Près du littoral, les prélèvements (1968-69 fig. 3B) effectués en amont et en aval des pertuis de la digue à la mer ont montré les salinités suivantes :

	fin Aout 68	Octobre 1968	Fin Novembre 1968	Janvier 1969
Pertuis de Saintes Maries amont (LC9)	8,2	10,8	26,7	8,4
Pertuis de Saintes Maries aval (LC10)	14,0	11,2	27,8	8,8
Pertuis du Rousty amont (LC11)	4,6	28,1	25,1	24,5
Pertuis du Rousty aval (LC12)	4,7	27,1	24,0	25,0
Pertuis de la Comtesse amont (LC13)	1,5	9,8	11,5	24,5
Pertuis de la Comtesse aval (LC14)	2,0	5,4	8,0	23,6

Nous constatons la faible différence entre les parties aval ouvertes vers la mer et les parties amont, terminaisons des étangs intérieurs. Ceci impliquerait soit un certain équilibre dû à des infiltrations à travers la digue et sa fondation, soit la stagnation des eaux évacuées par les pertuis lors de leur ouverture.

La hausse de la salinité du mois d'Aout au mois de Janvier ne pourrait être expliqué que par le fait de l'évacuation pendant les mois d'été des excédents d'eau plus douces provenant de l'irrigation par les canaux qui arrivent vers ces pertuis. Il ne faut cependant pas sous-estimer le rôle du vent, aussi bien du mistral que celui du Sud-Est.

LE VACCARES

Avant la riziculture, le Vaccarès s'asséchait plus ou moins complètement en été. En effet la capacité du Vaccarès et des étangs qui lui sont liés est estimée (4) à 130 millions de m³. P. HEURTEAUX (149) évalue la quantité d'eau apportée par les pluies à 140 millions de m³ pour une année moyenne. Nous pouvons estimer l'évaporation potentielle à un minimum de 110 millions de m³. La fourchette des salinités est à cette époque de 15 à 20 g/l en hiver et de 45 g/l (exceptionnellement 85 g) en été. Or les quantités très importantes des eaux utilisées pour la riziculture qui lui sont apportés en grande partie ont totalement changé son régime. En 1952 on a évalué à 200 millions de m³ les eaux emmagasinées vers le Vaccarès*. Le résultat a été le maintien d'un niveau presque hivernal pour toute l'année et une baisse importante de la salure. Après l'établissement des stations de pompage de refoulement d'une certaine quantité des colatures, s'est établi un nouvel équilibre, avec la régularisation de son niveau qui oscillerait actuellement entre - 0,40 en été et + 0,10 en hiver.

* 30 à 50 % des eaux amenées du Rhône

Nous donnons ci-dessus les variations des salinités pendant : l'année 1968 (voir implantation fig. 38). Nous remarquons tout de suite la très faible salinité de tout le Vaccarès due aux arrivées des eaux de drainage.

	Mai-Juin 1968	Juillet 1968	Aout 1968	Oct. 1968	Nov. 1968	Jar 1969
Approximité des berges						
Méjeanne (rive Nord-LC4)	9,9	9,4	8,3	8,2	8,2	7,7
Cabassolle (rive Nord-LC3)	9,6	9,1	11,0	9,5	8,2	7,7
Romieu (rive Est-LC2)	3,3	5,6	7,3	8,2	8,2	7,7
Fielouse (rive Est-LC1)		1,7	1,9	2,0	3,0	3,9
Ghieu (rive Ouest-LC5)	8,9	11,5	0,49	1,6	6,8	2,1
La Passe (rive Sud-LC7)	9,1	9,1	8,4	7,0	7,3	7,7
Mornès (rive Sud-LC6)			13,8	9,4	7,7	8,2
<u>Centre</u> (de l'Est vers l'Ouest)						
Pu			11,2	8,9	8,4	7,7
Pt			11,5	8,9	7,7	7,7
Ps			11,9	8,2	8,0	7,6
Pr			11,9	9,6	8,0	8,0
Pq			11,8	9,4	8,0	7,7

Pour les bords on peut dire que les différences qui existent sont fonction de trois principaux facteurs : les arrivées des eaux saumâtres ou faiblement salées, des canaux de drainage, de l'évaporation et du vent. Par exemple Méjeanne, situé à la sortie du Canal de Rousty (voir plus haut : canaux), présente des salinités plus élevées par rapport à Romieu (arrivée de l'Egout de Roque-maure), Fielouse (arrivée de la Fumemorte) ou Ghieu (arrivée de la Sigoulette). Pour chacun de ces points, les salinités sont en général moins élevées pendant les périodes d'arrivée des eaux des rizières et pendant les périodes pluvieuses d'automne et d'hiver quand le niveau du Vaccarès est plus haut. Pour les points éloignés des apports des canaux, les maximum de salinité sont situés pendant les mois d'été (Cabassolle, la Passe, Mornès). Les vents dominants du secteur Nord-Ouest doivent influencer la salinité en abaissant le niveau de l'étang dans la région septentrionale et en provoquant un mélange des eaux de surface avec les eaux plus salées du fond.

Les plus fortes salinités de la région du Mornès pourraient être influencées par d'éventuels apports de la nappe salée qui s'est établie dans les formations sableuses de l'île de Mornès, formations qui se prolongent d'ailleurs sous le Vaccarès avec lequel elles sont séparées par 0,50 cm de limon* (migrations verticales, étant donné que cette région s'assèche partiellement en été, et migrations horizontales par la nappe de la presqu'île de Mornès.

Enfin nous pouvons constater pour chaque saison une remarquable stabilité de la salinité à l'intérieur de l'étang. Là il semble qu'étant éloignés des apports des roubines, les maximum sont situés pendant l'été.

MARAIS

La salinité des marais pendant l'été est plus intimement liée avec la salinité du sol du fait de la faible profondeur de leurs eaux. Ils se remplissent pendant les périodes des pluies par les eaux météoriques et de ce fait leur salinité présente de notables variations pendant l'année. A ceci faudrait-il ajouter l'influence des drainages comme pour les étangs. Ils présentent en général deux physionomies différentes dépendant de leur liaison ou non avec les étangs (Marais de la Haute et Moyenne Camargue et Marais de la Basse Camargue comme nous l'avons indiqué au Chapitre II).

En général les marais de la Haute Camargue ont des eaux plus ou moins saumâtres (0,6 g/l pour le Grand^e Mar).

CONCLUSIONS

De ce qui précède on imagine la difficulté d'établir un bilan hydraulique détaillé par la Camargue : l'estimation arbitraire de l'évapotranspiration, la difficulté de définir exactement les débits empruntés du Rhône, l'impossibilité de chiffrer les infiltrations des eaux des rizières, rendent toute tentative d'estimation illusoire.

* La nappe autour des Frignants a des salinités de 10 à plus de 35 g/l ; les sables à 3 m sous le Vaccarès près de Mornès ont une eau de salinité de 12,6 g/l et à 6 m de 27,8 g/l.

CHAPITRE VIII

LA NAPPE DES FORMATIONS FINES DU QUATERNAIRE RECENT

CONSIDERATIONS GENERALES

Comme nous l'avons vu aux chapitres IV et V les formations récentes qui couvrent le cailloutis de Camargue sont constituées de sables, limons ou argiles. Ces terrains ont une répartition non uniforme aussi bien en surface qu'en profondeur, conformément à l'évolution récente du delta et aux déplacements des chenaux fluviaux et des marais saumâtres ou des étangs salés.

Ces terrains ont donc une perméabilité très variable et la nappe qui s'y développe a des caractères hydrodynamiques qui peuvent présenter d'un point à un autre des différences, importantes dans le sens horizontal ou vertical*.

La faible dénivellée des terrains, la pratique d'une irrigation intensive, l'abondance des plans d'eau et la perméabilité en général faible du sous-sol font que la nappe demeure très près de la surface. De ce fait elle se trouve intimement dépendante des autres facteurs extérieurs : pluviométrie et évapotranspiration, il en est de même pour des échanges de sel de la nappe avec les plans d'eau de surface.

Il ne s'agit donc pas d'une nappe continue bien qu'il n'existe pratiquement pas de point où on ne peut trouver de l'eau. Ainsi dans le sous sol des marais, constitué par des argiles ou des argiles limoneuses, l'eau n'est retenue que sous la forme d'eau d'imbibition avec échanges permanents avec les surfaces, la nappe peut avoir une importance relativement plus grande en profondeur si des formations sableuses existent (par exemple sous le marais de la Grand' Mar - résultat du sondage S2). Par contre les eaux établies dans les zones hautes, que sont d'une manière générale les bourrelets des anciens bras du Rhône, établissent dans leurs dépôts limoneux ou limono-sableux une nappe proprement dite. Comme le passage de la nature des terrains (chapitre II et V) des bourrelets à ceux des marais est progressif, il faut attendre à trouver cette progression dans la nappe.

La nappe qui existe sur les formations sableuses des cordons littoraux de la Moyenne et Basse Camargue est toujours limitée et sa "lentille" d'eau douce est souvent insignifiante.

Comme la nappe est pratiquement continue près de la surface, elle l'est également en profondeur jusqu'au cailloutis. La nappe des cailloutis peut donc y pénétrer et être plus ou moins en charge suivant la nature des dépôts sous-jacents. Mais, même dans le cas d'une communication plus ou moins notable, les

* Nous avons donné au chapitre V quelques chiffres caractéristiques de la perméabilité des différentes formations.

niveaux piézométriques sont toujours différents. Le comportement hydrodynamique en profondeur dans les dépôts récents est, nous l'avons déjà dit, variable et des changements des niveaux piézométriques se constatent au cours de l'exécution d'un sondage (rencontre par exemple d'un niveau sableux isolé au toit ^{et} d'argile).

Les pertes de charge de cette nappe sont très élevées à cause de la perméabilité des terrains et l'eau est souvent pratiquement stagnante et sa qualité est donc influencée grandement par les échanges verticaux.

Cette nappe est considérée par certains auteurs comme s'écoulant vers ^{la mer} en relation plus ou moins directe avec elle ; nous verrons par la suite l'inexactitude de cette interprétation, tout au moins en ce qui concerne la zone éloignée du littoral.

Une physionomie particulière de la nappe est sa salinité souvent excessivement forte. Ceci se comprend si on tient compte de l'évolution géologique et morphologique récente ou actuelle, où la mer et la terre n'étaient jamais fixées à des limites précises et où une évolution lagunaire très développée existait et existe encore à l'intérieur du rivage.

Il s'agissait donc d'étudier ou de définir un certain nombre de problèmes pour la connaissance de cette nappe :

- lois des circulations
- développement en surface et relations avec la nappe profonde
- répartition de la salinité dans le sens vertical et horizontal
- relations et influence sur le niveau piézométrique et la salinité des facteurs extérieurs ; alimentation (plans d'eau, rizières, climat, Rhône)

LOIS DE CIRCULATION. INFLUENCES DES FACTEURS EXTERIEURS. DONNEES D'ENSEMBLE

A partir d'observations et mesures du niveau N.G.F. de l'eau dans les puits et piézomètres nous avons dressé des cartes de courbes isopiézométriques de la nappe du Quaternaire récent avec équidistance des courbes tous les 0,50 m avec courbes intercalaires de 0,25 m.

Choix des périodes

En ce qui concerne la détermination des périodes pour lesquelles on devait étudier la circulation de la nappe nous avons pensé que la période du "mois" n'était pas à envisager étant donné que nous n'avions qu'une ou au maximum deux mesures pour chaque mois. On risquait ainsi de présenter des résultats non représentatifs. En étudiant par contre les observations des niveaux pendant toute la période des mesures (fin 1967 - été 1969) nous avons constaté que les changements de régimes enregistrés s'effectuaient au début ou à la fin des quatre saisons de l'année. Ainsi nous pourrions étudier l'influence globale des facteurs extérieures :

- Printemps (MAM) : influence de pluies de printemps
- Eté (JJA) : influence des rizières submergées, de la sécheresse et de la forte évaporation
- Automnes (SON) : influence de la l'assèchement des rizières et des pluies de printemps.
- Hiver (DJF) : influence des conditions climatiques éventuelles.

Nous présentons ainsi aux planches hors texte VII, VIII, IX et X le cycle d'une année, du printemps 1968 à l'hiver 1969.

Nous donnons les variations de la pluviométrie au cours de ce cycle à la fig. 11 et les variations du niveau du Rhône à Arles à la fig. 4. Nous rappelons ici que l'hiver 1968-69 a été particulièrement pluvieux et l'été 1968 assez sec.

Pour les piézomètres doubles nous avons utilisé les mesures du tube le plus profond (piézomètre long) (5 à 7 mètres en général) qui correspondait à la profondeur moyenne des puits ; avec l'utilisation du piézomètre profond nous évitons d'ailleurs la tranche capillaire susceptible d'entâcher d'erreurs les résultats.

Pour faire apparaître l'influence de la nature du sol et de sa morphologie sur la nappe nous avons dessiné nos cartes sur le fond géomorphologique de la planche, I. Pour ne pas surcharger ce fond, les points d'eau et les données numériques n'ont pas été portées. Ces points figurent sur le même fond à la planche VI et les cotes sont rassemblées dans les tableaux joints.

Forme générale de la nappe - morphologie de la surface piézométrique*

L'examen de toutes les cartes de la surface piézométrique montre que dans sa forme générale la nappe se présente comme une nappe cylindrique (espacement de courbes variables) et d'écoulement radial dont les filets liquides convergent dans le sens de l'écoulement. L'écoulement n'a pas d'orientation privilégiée mais à chaque instant suit la morphologie. Son gradient diffère d'une région à l'autre.

D'une manière générale sa morphologie est assez complexe.

De l'étude de la morphologie de la nappe nous constatons que l'écoulement ne se fait pas comme nous l'avons noté en début de ce chapitre, à travers une couche aquifère uniforme, homogène ce qui se traduit par des formes et espacements variables des courbes. Ainsi sur les zones hautes des bourrelets du Rhône ou d'anciens bras du fleuve de constitution limono-sableuse les courbes assez espacées dénotent une certaine perméabilité ; au contraire, au fur et à mesure que l'on s'approche des zones basses des marais les courbes, tout en suivant la morphologie, se resserrent, indiquant ainsi une perméabilité très faible et des pertes de charge élevées. Parfois une certaine sinuosité des courbes souligne l'hétérogénéité de la perméabilité.

Mais la constitution essentielle qui sort de l'étude de ces cartes est la circulation des eaux vers des bassins souterrains fermés et l'existence de seuils souterrains (voir Planche X). On retrouve exactement la morphologie de surface avec les zones hautes d'anciens bras et les bassins fermés des marais. Les eaux circulent de plus en plus lentement en subissant des pertes de charge très grandes et arrivent finalement sous les marais. Elles se trouvent très près de la surface et n'ayant pas la possibilité d'aller plus loin, elles stagnent et gagnent l'atmosphère par évaporation. Il n'y a donc pas de circulation continue vers le Sud et la mer, mais un système fermé. Cet isolement de la nappe en cuvettes a son importance sur la salinité : nous comprenons ainsi, pourquoi il n'existe pas d'équilibre général entre eaux douces et eaux salées en Camargue puisque chaque bassin a son propre caractère et sa propre salinité donc son propre équilibre.

* Nous signalons qu'une carte des courbes isopiézométriques reflète la circulation de la tranche superficielle de la nappe.

Enfin il faudra noter que dans la nappe des bourrelets du Grand et du Petit Rhône doit encore exister un seuil qui isolerait les segonnaux du reste de la Camargue. Là, la circulation des eaux devrait s'effectuer vers ces deux émissaires (drainage). (données des piézomètres 43, 47 et du puits 90).

Evolution de la nappe dans le temps - Influence des facteurs extérieurs

Pendant la période du printemps 1968 la nappe est moyennement haute et sa capacité n'est pas "emplie", Si on tient compte des sinuosités existantes. En Haute Camargue sur les zones hautes, la nappe se trouve à des cotes NGF variant de + 1 à + 3) sur les zones hautes et autour de la cote 0 dans les zones marécageuses. En Moyenne Camargue les cotes varient de + 0,5 à 0 seulement. Nous noterons, en plus des formes générales que nous venons de décrire, la zone de Villeneuve qui distribue périphériquement ses eaux et qui correspond au point où l'ancien Rhône du Saint Ferréol et celui d'Ulmet se séparaient : nous noterons également une petite dépression dans une région où n'existe pas des marais ; c'est la zone d'Escampon près du Grand Rhône qui correspond exactement à une zone déprimée comprise entre le bourrelet du Grand Rhône au Nord-Est et celui d'un ancien bras au Sud-Ouest .

Pendant la période d'été 1968 (planche VIII) on pouvait s'attendre à un abaissement de la nappe à cause de la sécheresse et la forte évaporation. En fait il n'en est pas toujours ainsi. Sur les zones hautes mais aussi sur des zones basses mais cultivées en rizières, nous constatons une remontée notable de la nappe avec déplacement des courbes vers les parties aval. Par contre la nappe sous les marais baisse à cause du manque d'apport direct et de l'influence de l'évaporation. On assiste alors au phénomène de resserrement des courbes dans les zones intermédiaires de passage entre les marais et les bourrelets. Suivant le changement de faciès des terrains des marais on peut observer des bombements de la nappe. Il faut aussi préciser que les bourrelets en Moyenne et Basse Camargue, transformés (à l'exception du Bras de Fer) en marais ont le même comportement saisonnier que ces derniers bien que les caractères hydrodynamiques de leur nappe soient différents à cause de leur texture plus légère. En conclusion nous remarquons le rôle incontestable des rizières dans l'alimentation de la nappe. Pendant cette période la pluviosité était très médiocre et le niveau du Rhône très bas (fig. 4 et 11) ; nous ne pouvons pas d'ailleurs faire intervenir pour expliquer la remontée de la nappe une influence du printemps manifestée avec un long décalage : tout d'abord parce que sous les marais, nous enregistrons le phénomène inverse alors que la capillarité élevée du sol favorise l'évaporation et baisse de la nappe ; ensuite parce que en Camargue le décalage de l'effet des infiltrations météoriques doit être peu important à cause de l'horizontalité du pays ; enfin le Rhône était en étiage même pendant les mois de printemps.

En automne 1968 (Planche IX) le caractère général est l'abaissement de la nappe "hors marais" à cause de l'assèchement des rizières ; les pluies de début du printemps n'arrivent donc pas à maintenir le niveau de la nappe.

Les sinuosités des courbes et leurs bombements fréquents montrent une baisse non uniforme due à l'irrégularité de l'arrêt d'alimentation des rizières en fonction de la nature des terrains. Le niveau de la nappe est en tous les cas généralement supérieur à celui du printemps.

Dans les marais pendant cette même période d'automne la nappe remonte par rapport à l'été étant réalimentée par les pluies. Cependant en quelques points singuliers la baisse observée pendant l'été semble se poursuivre probablement à cause d'une infiltration très lente.

Pendant l'hiver 1968-1969 la nappe présente une montée importante due aux pluies de fin d'automne et de Décembre-Janvier. Cette montée est généralisée dans toutes les zones et la surface de la nappe devient plus douce avec des courbes isopiézométriques plus régulièrement espacées; les sinuosités, bombements et dépressions disparaissent. Ceci montre l'influence directe des apports météoriques dans l'alimentation de la nappe.

Profondeur de la nappe

Sur les tableaux qui suivent nous présentons la profondeur de la nappe pendant les mois d'été 1968 quand les rizières sont pleines d'eau et pendant l'hiver 1968-69 période des plus hautes eaux pendant la durée de l'étude nous pouvons constater facilement la très faible profondeur de la nappe.

Pendant l'été nous ne notons pas d'affleurement de la nappe à la surface du sol. Dans les régions des rizières on a certainement une communication des plans d'eau libre avec la nappe par la frange capillaire mais on ne peut pas affirmer qu'il se forme une nappe unique depuis la surface jusqu'au "fond". Pendant l'hiver 1968-69 la nappe affleurerait pratiquement à plusieurs endroits et entrerait en communication directe avec les marais (marais de Romieu, marais de Rmoule).

ALIMENTATION

D'après ce qui précède les principaux facteurs d'alimentation de la nappe phréatique sont les précipitations et les eaux d'irrigation*. Le Rhône ne semble pas jouer un grand rôle: il est en communication plus ou moins directe avec les segonaux (berges isolées entre le fleuve et les digues de protection) suivant l'état de colmatage de son lit. Il drainerait ces segonaux en périodes des basses eaux. Pour qu'il ait une influence sur la nappe de la Camargue il devrait avoir un niveau très élevé (atteint seulement lors des crues) pour que ses eaux dominent la nappe. Il ne faut enfin pas oublier le rôle du vent qui directement réduit les quantités d'eau infiltrées par l'accroissement de l'évaporation ou qu'indirectement facilite cette dernière dans la nappe.

RELATIONS DE LA NAPPE AVEC LE VACCARES

D'après la forme de la nappe nous constatons que les eaux souterraines qui convergent vers la dépression du Vaccarès ont un impluvium très réduit (planche X). Il n'y a donc pas d'échanges importants entre la nappe et le Vaccarès dont

*L'alimentation par les eaux des rizières est cependant instantanée. En effet les quantités d'eau infiltrées qui gonflent la nappe, résurgent en grande partie dans les fossés qui cloturent la rizière. La circulation d'eau qui en résulte facilite alors le dessalage des sols. Ces fossés protègent par ailleurs contre la remontée de la nappe souvent salée.

le fond, sous faible charge est généralement colmaté. Le sondage S9 exécuté dans le Vaccarès a montré, qu'il n'y avait pas de communication directe du Vaccarès avec la nappe des sables situés sous son fond. En effet (fig.47) le sondeur a réussi à vider le trou très faiblement et ceci avec un débit très faible (voir sous-chapitre suivant). Sur les bords des échanges pourraient s'effectuer dans un sens ou dans l'autre suivant les cotes respectives mais sans engager des volumes importants pour arriver à l'équilibre. Comme nous l'avons signalé au chapitre précédent pendant l'été, quand le Vaccarès a une faible épaisseur d'eau, des échanges verticaux peuvent s'effectuer avec la nappe sous-jacente surtout en ce qui concerne la salinité.

LA NAPPE PHREATIQUE EN PROFONDEUR

Ainsi que nous l'avons déjà dit (page 102), la nappe près de la surface peut se développer avec la même hétérogénéité en profondeur. La descente des eaux vers la nappe du cailloutis doit être très peu importante à cause de la faible perméabilité du sol, et souvent de la grande épaisseur à traverser. D'ailleurs les quantités d'eau susceptibles de s'infiltrer sont très peu importantes. En effet le mode de circulation est tel qu'une très grande partie est enlevée pour l'évaporation de surface. Nous verrons d'ailleurs que la nappe du cailloutis n'est, de par sa teneur en tritium, soumise à l'influence météorique comme les eaux de la nappe phréatique.

La nappe phréatique n'ayant pas non plus en profondeur d'exutoire latéral possible, doit demeurer pratiquement immobile.

En ce qui concerne l'importance de cette nappe en profondeur, nous indiquons à côté de la coupe des sondages, par tranches de trois mètres, si on a pu arriver ou non à vider le trou, déjà isolé dans les parties supérieures : la vidange du sondage s'effectuait par "soutage" au moyen du carrotier; la durée de ce très faible pompage (pour ne pas influencer la salinité) était d'une heure. Nous remarquerons à côté des coupes de sondages que l'évolution de la nappe est très irrégulière dépendant soit de la nature de la formation (S9, S6, S8) soit de son importance géométrique latérale. (fig. 39 à 48)

SALINITE DE LA NAPPE

Introduction

Les sols de la Camargue d'après leur formation sont caractérisés par la présence du sel. Ce sel est remanié par les eaux et se déplace verticalement ou latéralement : les eaux s'écoulant vers les points bas l'entraînent vers les marais ou les étangs; là par suite de la forte évaporation, facilitée par la capillarité élevée dans leur dépôts, le sel remonte près de la surface, ou mieux encore y arrive, pour former des efflorescences salines (salant). Les eaux des pluies qui arrivent après la période de sécheresse pénètrent dans le sol et font redescendre le sel vers le bas; ainsi peut s'expliquer le phénomène observé dans certains points d'eau où l'on enregistre un accroissement de la salinité de la nappe au début des périodes pluvieuses. Dans les régions irriguées et submergées pendant les mois secs, l'équilibre s'établit à un niveau plus bas.

En profondeur la nappe éloignée de la zone des échanges garde souvent des valeurs de salinité plus constantes.

La salinité est également en fonction de la texture et de la perméabilité du sol : les variations saisonnières sont peu importantes dans les zones hautes relativement perméables des bourrelets du Rhône, où d'ailleurs les piézomètres n'enregistrent souvent qu'une très faible différence entre la salinité près de la surface et la salinité à 6m sous le terrain naturel; dans la nappe sous les marais. Ces variations tant saisonnières que verticales sont beaucoup plus importantes (voir tableaux page 119) .

ZONEOGRAPHIE DE LA SALINITE DE LA NAPPE PHREATIQUE

D'après les résultats des analyses des prélèvements d'eau, nous avons dressé pour les mêmes périodes que pour l'étude du niveau piézométrique les cartes d'isosalures pour deux niveaux de la nappe : un niveau supérieur où les échanges avec la surface sont importants (piézomètres courts) et un niveau moyen de 6 à 10 m (piézomètres longs et puits). (Planches hors texte XI à XVIII) Nous avons par endroit schématisé pour rendre les cartes plus parlantes. D'après ce qui précède il ne faut pas chercher en Camargue une interface franche entre eaux douces et eaux salées; tout est conditionné ici par l'hétérogénéité des terrains, le climat particulier et les influences artificielles (irrigation).

Les cartes d'isosalures montrent que la salinité est liée à la morphologie qui dépend elle même de la nature des terrains. La nappe est moins salée dans les zones hautes où la perméabilité est plus élevée et la circulation des eaux plus rapide; ces régions sont d'ailleurs les plus irriguées, ce qui facilite le dessalage des terrains et le déplacement du sol vers les régions plus basses. En effet la nappe des marais est très salée et les conditions de stagnation des eaux dues au mode de circulation de la nappe, à la nature très fine des terrains et à la forte évaporation qui s'y manifeste, contribuent à son sursalage l'amenant à des teneurs plus fortes que celles de la mer (marais de Romieu, marais de Fiérouse et de Saint-Seren). Les teneurs sont beaucoup plus élevées sous les marais de la Moyenne et Basse Camargue que dans la Haute, circonscrite par des zones irriguées. L'influence des canaux est également souvent marquée par une auréole d'eau douce tout autour de leur tracé par exemple (Rigole de la Méjean, canal du Rousty), dans les zones hautes des bourrelets, où la nappe est moins salée, la salure est encore moindre sous les régions où existent des grands canaux. Enfin il faut noter que les zones vraiment douces (salinité inférieure à 0,2 g/l) forment de très étroites bandes même en Haute Camargue.

En ce qui concerne la zonéographie verticale, la nappe a en général une salinité moins élevée vers son niveau supérieur que vers son niveau moyen; ceci est normal au point de vue hydrostatique. Or souvent si la nappe est près de la surface dans un terrain très fin, elle est influencée par les migrations verticales et peut avoir des salinités plus élevées à cause de la concentration du ^{sel} sol par évaporation (marais de la Grand'Mar).

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA SALINITE - INFLUENCES DES FACTEURS EXTERIEURS

Pendant l'été 1968 où on pourrait s'attendre à une hausse générale de la salinité par rapport à la période de printemps, à cause de la sécheresse et la forte évaporation, nous constatons (Planche XI et XIII - niveau moyen) une baisse dans les régions hautes, la hausse se manifestant seulement sous les marais. Ceci correspond encore à l'influence des irrigations des rizières pratiquées pendant cette période de l'année. Pour le niveau supérieur, bien que n'ayons pas un très grand nombre des pointes dans les régions hautes, il semble cependant qu'un certain équilibre arrive à s'établir entre la période de printemps et celle d'été. En effet les déplacements de la zonéographie horizontale sont moins importants que pour le niveau moyen. Ceci peut s'expliquer par le fait que pendant l'été les actions antagonistes de l'alimentation des eaux des rizières et de l'évaporation font que les variations soient moins importantes que pour le niveau moyen où les effets de l'évaporation se font beaucoup moins sentir.

Le phénomène inverse se constate pendant la période de l'Automne 1968, les eaux des pluies, dans les zones hautes ne sont pas capables de maintenir une salinité basse égale ou inférieure à celle due aux apports de l'irrigation et les salinités montent; au contraire sous les marais l'influence de pluies peut se manifester.

Pendant l'hiver 1968 - 1969 la salinité baisse dans certaines régions hautes à la suite de fortes pluies de fin automne et d'hiver. Mais en général on constate une hausse, due vraisemblablement au fait que les eaux ont pu diffuser vers la nappe le sel lavé, dans les niveaux superficiels des terres pendant les pluies qui ont suivi l'étiage. Cependant le niveau supérieur dans certaines régions (Grand Mar et marais de Romieu) est moins salé pendant l'hiver que pendant l'automne 1968; on peut expliquer cette particularité par le fait que les sols de ces marais très peu perméables ne facilitent pas la diffusion du sel qui reste fortement fixé sur les molécules du sol.

LA SALINITE EN PROFONDEUR

Nous présentons sur les figures 39 à 40 les salinités par horizons de 3 mètres de la nappe des dépôts fins de la Camargue. Des eaux douces ou saumâtres n'existent sur toute l'épaisseur qu'en Haute Camargue (au moins sur la partie orientale) où comme nous l'avons vu au Chapitre IV, les sols depuis le dépôt du cailloutis sont restés sous l'influence du fleuve (sondages S3, S7, et S 10). Ailleurs les eaux sont salées ou très salées; il n'existe apparemment aucun lien de répartition de la salinité avec la profondeur ou avec la nature des formations; quelques sondages seulement indiquent une salinité plus faible à la base des dépôts.

L'eau loin de toute influence extérieure et du fait qu'il n'y a pas circulation, reste liée, parfois même sous forme d'imbibition, avec les sols salés déjà dans leurs dépôts et sursalés ensuite lors de leur exposition en surface; elle se charge donc en sel qui ne peut pas se diffuser très loin à cause de la stagnation et de la faible perméabilité des terrains. Ainsi un équilibre général est difficile à s'établir.

L'étude géophysique a donné des résultats assez conformes aux résultats des sondages (fig. 31).

Sous la partie orientale de la Haute Camargue elle a révélé la présence d'eaux douces ou saumâtres sur toute l'épaisseur des dépôts fins, tandis qu'ailleurs les résistivités impliquent l'existence d'eaux salées sauf pour quelques parties superficielles, correspondant aux passages d'anciens bras du Rhône, où des " lentilles flottantes d'eau saumâtre pourraient exister. "

COTES DE LA NAPPE PHREATIQUE (en N.G.F.)

1) Puits

Puits N°	N. D. J. F.	M. A. M.	J. J. A.	S. O. N.	D. J. F.	M. A. M.	J. J. A.
	1967-1968	1968	1968	1968	1968-1969	1969	1969
1	0,94	0,78	0,63	-	comblés	-	-
2	0,67	0,49	0,10	0,16	0,68	0,35	+ 0,02
3	0,19	0,21	-0,12	0,01	0,45	-0,03	-0,32
4	-1,51	-1,24	-0,42	-1,25	-	-0,01	-0,42
5	0,66	0,45	-	-	-	-	-
6	0,90	0,51	0,99	1,08	1,03	0,48	-
7	-0,21	0,00	0,10	0,48	0,93	0,38	-0,05
8	1,50	1,25	0,63	0,77	1,83	1,16	0,46
9	1,05	0,99	1,07	0,81	1,72	0,85	1,01
10	0,24	0,81	1,31	1,41	1,31	1,24	1,66
11	0,23	0,66	0,45	0,40	1,71	0,56	0,46
12	1,24	0,99	0,69	0,15	1,61	0,11	0,89
13	1,41	1,28	0,78	0,10	1,70	-	0,55
14	1,17	1,49	0,64	0,97	1,44	1,34	0,83
15	1,04	0,77	1,58	1,69	-	1,39	1,32
16	1,24	-	-	-	-	-	-
17	0,28	0,18	-0,10	-0,59	0,55	0,19	0,17
18	0,39	0,30	0,25	0,30	0,92	0,39	0,06
19	0,32	0,37	0,07	0,17	0,88	0,36	0,14
20	-0,13	-0,18	-0,07	-0,13	0,27	0,24	0,16
21	0,29	0,16	0,60	0,38	0,62	0,32	0,51
22	0,53	0,07	0,44	0,34	0,60	0,07	0,29
23	0,28	0,30	0,66	0,56	0,39	0,59	0,55
24	-0,01	-0,11	0,08	0,00	0,42	0,03	0,03
25	0,82	1,08	0,75	0,41	1,15	1,11	0,75
26	0,19	0,42	0,10	-0,06	0,32	0,20	0,14
27	0,42	0,42	0,51	0,20	1,24	0,42	0,27
28	0,56	0,15	0,13	0,15	0,94	0,65	0,53
29	0,34	0,35	0,33	0,35	0,91	0,30	0,27
30	0,68	0,66	0,59	0,64	1,23	0,79	0,55
31	0,28	0,50	0,85	0,73	1,07	0,85	0,80
32	0,22	0,15	-0,25	0,37	0,67	-0,47	-0,18
33	0,52	0,55	0,09	0,40	1,21	0,45	0,25
34	0,52	0,46	0,36	0,29	1,30	0,47	0,13
35	-0,10	-0,11	-0,05	-0,23	0,14	-0,33	-0,24
36	0,89	0,83	0,68	0,78	1,45	1,30	1,01
37	-0,43	-0,08	-0,40	0,09	0,54	-0,05	-0,49
38	0,30	0,11	0,04	0,13	0,72	0,26	0,08
39	0,14	0,18	-0,28	0,03	0,35	0,00	-0,11
40	-0,19	-0,07	-0,35	-0,30	-0,04	-0,33	-0,48
41	-0,17	-0,05	-0,38	-0,35	0,11	-0,07	-0,27
42	-0,11	-0,04	-0,02	-0,20	0,44	-0,08	-0,31
43	0,90	0,90	0,99	1,17	1,20	1,14	1,03

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

ints eau	N. D. J. F. 1967-1968	M. A. M. 1968	J. J. A. 1968	S. O. N. 1968	D. J. F. 1968-1969	M. A. M. 1969	J. J. A. 1969
55	0,09	0,08	-0,03	0,12	1,08	0,57	0,10
56	0,09	0,39	0,29	0,05	1,10	0,69	0,58
59	0,79	0,82	1,39	1,12	1,38	0,70	0,97
64	1,01	1,04	1,00	1,05	1,31	1,26	0,84
65	0,89	0,96	1,07	0,99	1,26	1,11	0,62
66	1,27	1,17	1,84	1,83	2,34	1,51	-
67	1,57	1,46	2,12	2,03	1,96	1,43	1,65
68	1,35	1,46	1,62	1,64	2,46	1,98	1,96
69	1,39	1,20	0,94	1,13	2,14	2,17	2,06
70	1,69	1,42	2,03	1,98	2,86	1,79	1,77
71	1,97	1,90	2,30	2,34	2,61	2,37	2,21
72	1,01	1,18	0,49	0,48	2,10	1,19	0,43
74	1,15	1,04	0,93	1,38	1,83	1,57	1,28
75	-	-	2,21	1,80	-	-	2,28
77	1,04	1,40	1,38	0,95	2,68	1,99	1,90
79	2,87	2,89	2,60	2,75	3,43	3,19	2,81
80	3,12	3,12	3,18	2,79	3,60	3,03	2,91
81	2,10	1,94	2,03	1,94	2,79	-	-
82	2,25	1,94	2,05	2,05	2,79	2,20	1,86
84	1,90	1,88	3,00	2,56	2,98	3,02	2,94
86	1,74	1,17	1,39	1,76	1,36	1,29	0,46
89	1,07	-	1,04	0,40	2,18	0,82	0,64
90	0,86	-	0,38	0,30	-	-	-
91	0,79	0,74	0,64	0,47	1,15	0,70	0,10

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

COTES DE LA NAPPE PHREATIQUE (en N.G.F.)

2) Piézomètres

Point Niveau	N. D. J. F. 1967-1968	M. A. M. 1968	J. J. A. 1968	S. O. N. 1968	D. J. F. 1968-1969	M. A. M. 1969	J. J. A. 1969
1	-0,47	-0,44	-0,34	-0,82	-0,07	-0,03	0,17
2	-0,55	-0,18	0,14	0,24	-0,33	-0,09	0,17
3	0,36	0,37	0,20	0,40	0,78	0,66	0,43
4	1,11	1,14	1,62	1,66	1,27	1,51	1,46
5	-0,47	-0,10	-0,39	-0,54	0,08	0,54	-0,10
6	-0,13	-0,10	-0,25	-0,23	0,17	0,23	0,05
7	0,11	0,14	0,04	0,10	0,29	0,34	0,19
8	1,45	1,57	1,86	1,83	1,78	1,92	2,87
9	0,21	0,18	-0,13	-0,06	0,41	0,38	0,18
10	-0,09	-0,11	-0,48	-0,24	0,14	0,13	-0,09
11	0,07	-0,03	-0,49	-0,26	0,22	0,17	-0,25
12	0,10	0,16	-0,18	-0,18	0,48	0,43	0,39
13	0,04	0,12	0,19	0,23	0,44	0,51	0,38
14	-0,05	-0,03	-0,12	-0,03	0,17	0,43	0,39
15	0,64	0,57	0,57	0,75	0,91	1,11	0,75
16	0,53	0,50	0,79	0,77	0,56	0,83	0,77
17	-0,22	-0,15	-0,27	-0,17	0,08	0,05	-0,27
18	0,37	0,14	0,68	0,67	1,16	0,98	0,50
19	-0,17	0,21	0,09	0,13	0,43	0,54	0,15
20	0,74	0,68	1,38	1,30	1,40	1,51	1,28
21	0,65	0,67	0,81	0,93	1,25	1,29	0,93
22	0,28	0,21	0,29	0,36	0,40	0,41	0,11
23	1,59	1,62	1,60	1,63	1,95	2,04	1,65
24	1,70	1,61	1,76	1,83	2,11	2,12	2,09
25	1,58	1,55	1,51	1,73	2,14	2,03	1,73
26	-0,42	-0,16	-0,58	-1,04	0,20	0,33	-0,38
27	0,22	0,21	-0,015	0,12	0,32	0,39	0,19
28	-0,28	-0,22	-0,85	-0,75	-0,03	0,16	-0,09
29	0,29	0,40	-0,20	0,08	0,84	0,81	0,53
30	-	2,14	2,55	2,44	2,28	2,43	1,92
31	-	2,05	2,14	2,24	2,28	2,49	2,23
32	-	1,61	1,79	1,81	1,66	1,66	1,58
33	-	-0,26	-0,34	-0,30	-0,01	-0,02	-0,34
34	-	0,04	-0,16	-0,17	0,28	0,19	0,06
35	-	-0,54	-0,57	-0,38	-0,16	-0,27	-0,46
38	-	1,48	1,51	1,45	1,47	1,59	0,96
39	-	1,43	1,48	1,48	1,65	1,66	1,50
40	-	0,18	-0,01	0,08	0,30	0,35	0,17
41	-	1,13	1,36	1,48	1,53	1,93	2,15
42	-	0,36	0,78	0,86	0,88	0,81	0,58
43	-	1,69	0,69	0,18	-	2,42	-
44	-	-0,30	-0,62	-0,31	-0,10	0,22	0,41
45	-	0,80	0,74	0,90	1,38	1,40	0,58
46	-	0,27	0,44	0,53	0,49	0,55	0,58

Points Niveau	N. D. J. F. 1967 -1968	M. A. M. 1968	J. J. A. 1968	S. O. N. 1968	D. J. F. 1968-1969	M. A. M. 1969	J. J. A. 1969
47	-	0,70	0,33	0,82	0,70	1,36	0,30
48	-	1,83	1,82	1,57	1,39	1,61	1,81
49	-	-	-	-	0,61	0,81	0,72
51	-	-	-	-	0,30	0,41	0,28
53	-	-	-	-	0,23	0,34	0,04
54	-	-	-	-	0,54	0,91	0,71
56	-	-	-	-	1,71	2,18	1,40
57	-	-	-	-	0,37	0,29	-0,02
58	-	-	-	-	0,05	0,29	-0,07
60	-	-	-	-	0,31	0,51	0,67
61	-	-	-	-	0,66	0,83	0,97
63	-	-	-	-	0,15	-0,07	-0,30
64	-	-	-	-	0,65	0,83	0,48
65	-	-	-	-	0,26	0,19	0,00
66	-	-	-	-	0,17	0,06	-0,11
67	-	-	-	-	0,17	0,17	-0,42
68	-	-	-	-	0,32	0,41	-0,09
69	-	-	-	-	-0,21	-0,58	-0,83

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE (en m)

1°/ Puits

Point d'eau	J. J. A. 1968	D. J. F. 1968 - 69
1	1,02	-
2	1,02	0,43
4	1,08	0,51
7	1,45	-
9	1,79	1,95
10	1,94	1,10
11	2,98	1,98
12	2,12	1,47
13	1,40	1,40
14	2,15	0,89
15	1,23	0,30
16	2,29	1,37
16bis	5,05	4,25
17	0,93	-
22	1,15	0,50
23	1,74	0,56
24	1,47	0,66
26	0,98	0,63
27	0,12	0,10
28	0,57	0,41
29	0,91	1,18
30	1,44	1,10
31	2,15	1,75
32	1,50	1,28
33	1,78	0,28
34	0,93	0,49
35	1,02	0,43
36	1,43	0,78
38	0,71	0,48
39	1,68	0,76
40	1,71	0,69
41	1,45	0,51
42	1,04	0,85
43	1,50	0,73
46	1,65	0,71
47	1,99	1,31
48	1,48	0,95
49	1,13	0,82
50	1,08	-
52	2,49	2,00
53	1,24	0,78
54	1,02	0,81
55	2,93	1,82
56	1,32	0,51
59	1,16	0,60
64	0,92	0,70
65	1,05	0,86
66	1,17	0,67

Point d'eau	J. J. A. 1968	D. J. F. 1968 - 69
67	1,72	1,88
68	1,54	0,70
69	2,62	1,42
70	1,71	0,88
71	0,50	0,19
72	2,37	0,76
74	1,60	0,70
77	1,90	0,60
79	1,79	0,96
80	0,85	0,43
81	1,31	0,55
82	1,25	0,51
84	0,80	0,82
86	1,67	1,70
89	1,80	0,66
90	2,44	-
91	1,41	0,90

2°/ Piézomètres

Point d'eau	J. J. A. 1968	D. J. F. 1968 - 69
1	0,66	0,39
2	0,27	0,74
3	1,29	0,71
4	0,48	0,83
5	1,17	0,70
6	0,62	0,20
7	0,28	- 0,01
8	0,64	0,72
9	0,69	0,15
10	0,85	0,23
11	0,78	0,07
12	1,33	0,67
13	0,62	0,37
14	0,97	0,68
15	0,89	0,55
16	0,96	1,19
17	0,87	0,52
18	1,38	0,90
19	0,81	0,47
20	0,63	0,61
21	0,94	0,50
22	1,20	1,18
23	0,93	0,58
24	0,82	0,47
25	1,37	0,74
26	1,58	0,80
27	0,66	0,33
28	1,51	0,69
29	1,33	0,20
30	0,22	0,49
31	1,39	1,25
32	0,23	0,36
33	0,38	0,07
34	0,41	- 0,03
35	0,94	0,53
38	0,60	0,64
39	1,10	0,93
40	0,74	0,43
41	1,10	0,93
42	0,45	0,45
43	2,15	-
44	1,34	0,82
45	1,93	1,29
46	0,56	0,51
47	3,93	3,56
48	- 0,09	0,34
49		1,25
51		0,85
53		1,00
54		1,20
56		1,85

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Point d'eau	J. J. A. 1968	D. J. F. 1968 - 69
57		0,90
58		0,95
60		1,80
61		1,45
63		0,95
64		1,15
65		0,80
66		1,10
67		1,35
68		1,05
69		0,86

SALINITE DE LA NAPPE PHREATIQUE (en g/l)

1) Puits

Puits eau	ND.D..J.F. 1967-1968	M.A.M. 1968	J. J. A. 1968	S.O. N. 1968	D.J.F. 1968-1969	M. A. M. 1969	J.J.A. 1969
	0,26	0,35	0,42	-	-	-	-
	3,48	2,83	2,40	1,62	2,00	2,90	1,48
	0,65	0,68	0,80	0,75	0,89	0,94	0,87
	0,16	0,15	0,07	0,09	0,37	0,14	0,12
	0,23	0,13	0,14	0,16	0,17	0,16	0,19
	0,08	0,05	0,04	0,06	-	-	0,08
	0,19	0,20	0,16	0,15	0,14	0,12	0,12
	0,17	0,18	0,15	0,28	0,14	0,16	0,19
	0,27	0,21	0,08	0,12	0,84	0,90	0,47
	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14
	0,08	0,07	0,05	0,03	0,14	0,11	0,07
	0,08	0,07	0,05	0,08	0,08	0,12	0,09
	0,56	0,32	0,48	0,75	0,08	0,09	0,33
	0,25	0,24	0,12	0,08	0,20	0,12	0,20
	0,20	0,18	0,32	0,45	0,28	0,54	0,44
	2,60	1,95	1,95	1,73	1,75	1,99	2,70
	0,07	0,10	0,04	0,09	0,18	0,12	0,07
	0,06	-	-	-	-	-	-
	0,09	-	-	-	-	-	-
	0,20	0,24	0,27	0,26	0,29	0,33	0,15
	0,41	0,46	0,37	0,38	0,65	0,49	0,26
	1,40	2,37	0,88	0,42	2,24	1,97	0,90
	8,20	7,32	4,80	4,11	12,49	12,6	14,0
	0,83	0,68	-	-	-	-	-
	0,38	0,23	0,25	0,10	0,30	0,14	0,12
	0,86	0,61	0,47	0,60	1,26	0,66	0,65
	0,66	0,76	0,45	0,41	0,92	0,70	0,50
	1,42	2,00	1,26	0,65	1,19	2,55	2,17
	0,14	0,13	0,11	0,12	0,12	0,19	0,47
	2,31	2,60	-	2,09	2,02	2,85	2,79
	0,49	0,48	0,53	0,47	0,46	0,47	0,44
	1,68	1,46	1,75	1,80	2,36	0,92	1,72
	0,11	0,21	0,19	0,19	0,37	0,18	0,32
	1,28	0,72	0,60	0,62	0,56	0,35	0,45
	0,11	0,12	0,09	0,07	0,11	0,12	0,12
	0,16	0,15	0,13	0,12	0,22	0,11	0,10
	0,14	0,23	0,16	0,11	0,49	0,37	0,26
	0,22	0,10	0,09	0,10	0,16	0,16	0,58
	0,14	0,19	0,08	0,06	0,25	0,12	0,10
	0,32	-	-	-	-	-	-
	2,69	2,49	2,60	2,41	2,62	3,42	3,70
	0,16	0,20	0,23	0,16	0,25	0,40	0,21
	0,95	0,87	-	0,70	0,48	0,29	0,26
	1,48	1,60	1,60	1,05	1,11	1,19	0,96

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Points l'eau	N. D. J. F. 1967-1968	M. A. M. 1968	J. J. A. 1968	S. O. N. 1968	D. J. F. 1968-1969	M. A. M. 1969	J. J. A. 1969
50	1,08	1,15	-	1,85	-	-	-
51	2,90	-	-	-	-	-	-
52	4,01	3,39	4,00	3,22	1,69	1,17	1,40
53	0,75	0,60	1,04	0,68	0,72	0,87	1,15
54	0,54	0,60	0,52	0,46	0,62	0,50	0,43
55	0,66	0,64	0,47	0,49	1,14	2,62	1,97
56	5,32	3,75	4,10	3,31	3,00	3,65	4,45
59	0,13	0,12	0,08	0,13	0,16	0,15	0,09
62	0,21	0,21	0,20	0,17	0,21	0,22	0,18
63	0,23	0,15	0,18	0,17	0,17	0,21	0,20
64	1,03	1,08	1,10	0,98	1,16	0,96	1,05
65	0,10	0,18	0,06	0,06	0,21	0,09	0,10
66	0,85	0,89	0,51	-	-	-	-
67	0,42	0,38	0,50	0,45	0,41	0,35	0,32
68	0,17	0,22	0,12	0,09	0,53	0,34	0,16
69	0,11	0,18	0,04	0,06	0,12	0,08	0,06
70	0,19	0,20	0,15	0,16	0,22	0,30	0,28
71	2,72	2,33	2,70	2,04	1,22	2,26	2,05
72	0,70	0,70	0,63	0,48	0,85	0,90	0,60
74	0,27	0,19	0,15	0,25	0,33	0,25	0,21
75	0,92	0,89	0,85	0,88	0,96	0,95	0,81
76	0,18	0,21	0,12	0,12	0,43	0,44	0,26
77	0,08	0,07	0,04	0,06	0,15	0,13	0,08
78	0,09	0,15	-	0,06	0,13	0,11	0,12
79	0,40	0,51	0,45	0,36	0,47	0,51	0,47
80	0,10	0,09	0,05	0,07	0,09	0,08	0,07
81	0,61	0,38	0,21	0,19	0,38	-	-
82	0,48	0,37	0,43	0,45	0,38	0,32	0,36
83bis	-	-	0,25	0,27	0,34	0,21	0,24
84	0,08	0,06	0,05	0,20	0,10	0,11	0,08
86	0,21	0,25	0,21	0,47	0,21	0,23	0,18
87	0,29	-	-	-	-	-	-
88	1,98	-	-	-	-	-	-
89	0,11	0,08	0,07	0,07	0,15	0,09	0,05
90	0,14	0,26	0,17	0,20	0,21	0,33	0,15
91	0,14	0,18	0,05	0,08	0,26	0,11	0,08

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

SALINITE DE LA NAPPE PHREATIQUE (en g/l)

2) Piézomètres

(L : piézomètres long -- C : piézomètres court)

Points Niveau	N.D.J.F. 1967-1968		M.A.M. 1968		J.J.A. 1968		S. O.N. 1968		D.J.F. 1968-1969		M. A.M. 1968-1969		J. J. A. 1969	
	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C
1	37,50	13,90	39,80	12,60	31,50	14,30	36,50	15,20	39,30	-	40,90	-	40,60	-
2		0,85		0,60	0,08	0,09	0,06	0,10	0,32	0,37	0,74	0,57	0,40	0,15
3	0,28	0,14	0,20	0,13	0,16	0,19	0,15	0,24	0,37	0,10	0,25	0,11	0,25	0,22
4	0,22	0,10	0,13	0,11	0,11	0,11	0,13	0,05	0,16	0,12	0,14	0,14	0,21	0,24
5	7,00	21,70	6,00	14,30	5,25	17,50	4,70		4,60	6,40	5,75	2,46	5,57	4,10
6	35,40	56,70	33,80	57,30	33,70	56,80	34,50	57,60	33,80	58,60	35,47	56,90	38,40	60,60
7	24,00	26,30	23,40	27,00	23,20	27,60	23,80	28,20	22,00	26,60	21,13	28,73	23,60	26,80
8	0,07	0,11	0,08	0,10	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09	0,18	0,68	0,17	0,80	0,32
9	14,70	8,80	14,20	4,25	14,00	2,40	14,70	4,00	15,00	12,20	13,23		16,40	12,00
10	72,60	85,40	72,22	86,06	72,80	86,50	74,30	89,50	52,80	87,80	73,70	89,30	74,00	90,00
11	76,30	12,70	74,30	10,20	76,90	8,90	80,50	7,90	77,00		67,10	6,30	58,00	8,00
12	46,50	29,10	44,70	26,50	47,80	30,60	48,40	27,70	46,80	26,60	43,00	27,60	29,00	34,50
13	0,20	0,19	0,11	0,12	0,10	0,16	0,15	0,11	0,16	0,30	0,17	-	0,12	-
14	0,10	0,14	0,12	0,21	0,06	0,14	0,11	0,10	0,14	0,12	0,22	0,12	0,14	0,13
15	0,08	0,09	0,07	0,03	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09	0,08
16	0,07	0,09	0,08	0,08	0,11	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,11	0,07
17	26,50	91,90	22,60	93,70	23,70	94,40	26,10	94,00	20,50	91,30	84,70	91,40	60,00	90,50
18	0,12	0,29	0,14	0,36	0,09	0,22	0,08	0,18	0,16	0,13	0,13	0,25	-	-
19	0,10	0,10	0,12	0,09	0,06	0,15	0,07	0,09	-	0,09	0,23	-	0,25	-
20	0,08	0,12	0,13	0,18	0,10	0,11	0,08	0,10	0,12	0,14	0,12	0,14	0,20	0,12
21	0,25	0,20	0,22	0,19	0,16	0,14	0,14	0,21	0,14	0,23	0,15	0,17	0,21	0,16
22	0,60	0,45	0,64	0,43	0,64	0,52	0,61	0,50	0,57	0,66	0,68	0,86	0,75	0,85
23	0,09	0,10	0,10	0,11	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	-	0,08	-	0,10	-
24	0,07	0,13	0,08	0,09	0,05	0,12	0,08	0,11	0,07	0,23	0,12	0,15	0,20	0,16
25	0,06	0,08	0,04	0,08	0,05	0,07	0,05	0,06	0,09	0,14	0,10	0,16	0,10	0,16
26	74,40	53,30	75,70	54,80	72,10	49,00	53,40	51,70	30,20	51,00	62,40	46,60	76,00	47,00
27	8,70	1,80	7,810	1,70	7,66	1,65	7,87	1,23	7,60	1,50	7,70	2,52	8,00	-
28	87,30	47,40	89,40	39,80	88,50	37,70	88,20	36,20	81,30	32,50	87,70	35,50	90,00	38,00
29	0,11	0,10	0,09	0,35	0,08	0,11	0,06	0,11	0,07	0,24	0,21	0,24	0,20	-
30	-	-	0,15	0,05	0,23	0,06	0,37	0,07	0,40	0,09	0,33	0,14	0,47	0,13
31	-	-	0,60	1,62	0,48	1,76	0,54	1,02	0,49	1,60	0,82	2,68	0,95	1,67
32	-	-	12,92	7,64	16,90	7,83	17,60	7,20	14,90	6,60	17,80	6,50	18,00	6,90
33	-	-	6,50	3,71	9,30	5,33	11,05	4,20	11,1	6,60	11,30	6,50	11,50	6,65
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,00	34,30	37,50	35,50

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Points Circuit	N.D.J.F. 1967-1968		M.A.M. 1968		J.J.A. 1968		S. O.N. 1968		D.J.F. 1968-1969		M.A.M. 1969		J.J.A. 1969	
35	-	-	3,24	5,78	3,30	6,60	3,42	6,42	3,90	6,60	3,70	6,00	3,75	4,70
38	-	-	0,62	0,12	0,78	0,16	0,96	0,11	0,82	0,15	0,79	0,26	0,81	0,60
39	-	-	1,51	0,22	2,20	0,08	2,55	0,09	2,40	0,28	2,00	0,51	2,35	1,30
40	-	-	16,50	2,58	24,10	3,44	24,50	5,42	25,60	6,00	24,80	5,80	26,00	6,00
41	-	-	2,40	0,20	4,40	0,28	6,00	1,76	4,20	2,70	4,00	1,80	4,03	1,65
42	-	-	9,18	2,00	10,15	2,04	11,60	0,88	10,80	0,85	13,10	1,38	13,00	-
43	-	-	0,07	0,08	0,10	0,08	0,25	-	0,19	0,12	0,15	0,12	0,19	0,20
44	-	-	1,62	0,36	3,91	0,40	4,29	0,39	4,80	0,40	4,60	0,36	5,00	0,60
45	-	-	0,08	0,07	0,08	0,11	0,23	0,36	0,16	-	0,15	0,07	0,19	0,25
46	-	-	15,00	3,00	20,96	1,94	24,90	1,03	23,70	1,80	24,70	1,63	25,00	1,65
47	-	-	0,42	sec	0,34	sec	0,62	sec	0,20	sec	0,31	sec	0,42	sec
48	-	-	1,11	0,35	14,10	0,18	16,60	0,14	16,40	0,18	16,36	0,21	18,50	0,08
49	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20	15,20	6,98	16,00	9,00	14,00
50	-	-	-	-	-	-	-	-	10,20	6,50	12,50	11,00	11,50	12,50
51	-	-	-	-	-	-	-	-	28,10	6,70	28,20	10,90	28,50	11,50
52	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,23	0,11	0,25	0,11	0,11
53	-	-	-	-	-	-	-	-	22,60	7,20	30,30	8,30	31,50	-
54	-	-	-	-	-	-	-	-	21,50	38,60	24,40	36,10	84,50	38,50
55	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,51	0,16	-	0,44	0,34
56	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	0,08	-	-	-
57	-	-	-	-	-	-	-	-	9,30	1,50	8,90	1,90	9,45	-
58	-	-	-	-	-	-	-	-	9,70	45,60	21,40	48,50	23,50	51,00
59	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,34	0,41	0,32	0,40	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	> 10	2,80	20,90	1,60	21,00	-
61	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,69	> 1	1,26	> 1	-
62	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,26	0,12	0,71	0,26	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	> 10	18,60	32,70	11,00	34,50	18,00
64	-	-	-	-	-	-	-	-	> 10	0,75	33,20	0,80	34,00	> 1
65	-	-	-	-	-	-	-	-	26,40	21,30	48,30	23,80	57,00	25,50
66	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,15	0,26	0,30	0,24	0,31
67	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,30	0,47	0,48	1,15	0,21
68	-	-	-	-	-	-	-	-	33,90	32,40	36,00	36,90	38,50	37,00
69	-	-	-	-	-	-	-	-	20,40	1,50	40,50	3,90	40,50	6,50

Fig 39 - SONDAGE S1: Les Frignants

Nature de l'emplacement: cordon dunaire

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
0,50	0,00	Limon sableux gris, colluvion Limon sableux beige clair		
-0,40	0,90			
-0,80	1,30			
		Sable gris beige éolien ?	3,00	
-4,45	4,95	Sable gris		
-5,95	6,45	Tourbe	6,00	31,60
-6,05	6,55			
-7,25	7,75	Limon gris clair	9,00	45,40
-7,50	8,00	Limon sableux gris clair et brun		
		Limon argileux gris clair, petits passages limono sableux à la base	12,00	40,70
-14,70	15,20		15,00	15,00
		Argile limoneuse gris clair		
-16,90	17,40		18,00	25,50
		Limon argileux à argile limoneuse gris	21,00	
			24,00	18,50
-24,70	25,20	Limon sableux gris sombre		
-26,60	27,10		27,00	15,90
-29,30	29,80	Niveau très organique	30,00	29,00
-29,50	30,00	Argile limoneuse grise avec débris végétaux		
-30,20	30,70	Sable limoneux gris		
-32,30	32,60	Sable gris, quelques nodules d'argile durcie, paillettes de mica	33,00	24,30
-34,35	34,85	Argile limoneuse grise		
-35,60	35,10	Niveau tourbeux	35,00	4,20
-36,00	36,50	Argile limoneuse grise, débris végétaux		
-36,70	37,20	Niveau gris très organique		
-36,90	37,40	Argile limoneuse grise	39,00	13,20
-37,60	38,10	Sable limoneux gris		
-38,50	39,00			
		Sable gris à grandes lamelles de micas noir		
-41,70	42,20	Cailloutis gris frais à sable gris	42,00	11,90
-44,50	45,00	Cailloutis gris frais	45,00	22,90
-45,50	46,00	Cailloutis d'aspect plus altéré et sable roux gris	47,00	1,40
-46,50	47,00			

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 40 - SONDAGE S2 : Pont du Mas de l'Ange

Nature de l'emplacement : marais

N G F	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE g/l
0,00	0,00			
0,40	0,40	Limon argileux à argile limoneuse	Sondage vidé	
1,20	1,20	Argile limoneuse gris jaunâtre tachée d'oxyde de fer, débris végétaux.		
1,50	1,50	Argile grise très organique		
2,10	2,10	Limon sableux gris verdâtre sombre à taches d'oxyde de fer.	3,00	13,60
2,60	2,60	Limon sableux gris foncé		
		Limon argileux noir très organique	pas d'eau	
5,50	5,50	Limon argileux gris clair, passage limoneux de 4,60 à 4,70		
6,50	6,50	Limon gris sombre		6,00
7,30	7,30	Limon gris		
8,70	8,70	Limon argileux à limon sableux gris clair	9,00	15,90
		Sable, concrétions limoneuses		
12,90	12,90	Limon argileux gris	pas d'eau	19,20
14,10	14,10			
		Limon argileux à argile limoneuse gris sombre		
17,60	17,60	Tourbe	18,00	8,35
17,80	17,80	Limon et limon sableux gris		
18,10	18,10	Sable limoneux gris		
20,70	20,70	Limon argileux	21,00	7,90
		Limon argileux caillouteux, débris de mollusques.		
23,35	23,35	Cailloutis gris très frais, non altéré avec sable gris	24,00	2,36
23,70	23,70	Cailloutis sans sable		
24,85	24,85			
25,90	25,90	Cailloutis frais mais avec des quartzites plus altérés et sable jaune	27,00	2,32
30,00	30,00		30,00	1,87

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 41 - SONDAGE S3 : Mas de l'Ange

Nature de l'emplacement : bourrelet moyen d'ancien bras.

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)		
2,86 2,26	0,00 0,60	Limon à limon sableux gris jaune	Sondage vidé			
0,78 0,48	2,10 2,40	Limon argileux gris jaune clair à taches bleutées. Limon argileux gris clair et brun Limon argileux à argile limoneuse gris bleuté à taches d'oxyde de fer		3,00	0,63	
-1,44	4,30	Limon argileux à argile limoneuse gris sombre.		6,00	0,33	
-3,24	6,10	Limon argileux gris bleuté à taches d'oxyde de fer		9,00	0,19	
-5,14	8,00	Limon et limon argileux gris		12,00	0,12	
-11,14 -11,44	14,00 14,30	Limon argileux gris caillouteux Limon argileux et sable avec de nombreux galets jaunes altérés		15,00	3,88	
-12,64	15,50	Cailloutis jaune altéré avec sable gris, présence de galets peu altérés, débris de coquilles		Sondage non vidé		
-14,89 -15,29	17,75 18,15	Cailloutis sans matrice Marne à galets			18,00	1,64
15,94 16,14	18,80 19,00	Cailloutis jaune à sable gris, galets de calcaire et peu de quartzites			21,00	0,42
-18,54	21,40	Cailloutis jaune sans matrice				
-20,04 20,14	22,00 23,00	Cailloutis jaune à matrice sablo-marneuse Marne jaune légèrement sableuse avec quelques graviers.				

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 42 - SONDAGE S4: La Capellière

Nature de l'emplacement : marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
0,27	0,00			
0,02	0,25			
-0,78	1,05	Limon à limon sableux brun, organique; structure laminaire.		
		Limon argileux gris jaune clair, débris végétaux, passages limoneux de 0,80 à 0,90.		
-2,78	3,05	Limon argileux avec quelques passages limoneux.	3,00	7,50
-2,98	3,25	Limon argileux organique		
-3,53	3,80	Limon argileux gris		
-3,78	4,05	Limon argilo-sableux gris		
		Sable gris sombre	6,00	7,70
-7,83	8,10	Limon sableux à sable limoneux gris sombre avec quelques petits passages limoneux.	9,00	1,90
-11,83	12,10	Limon avec petits passages plus argileux.	12,00	5,60
		Tourbe et limon sableux	15,00	5,60
-15,93	16,10			
-15,98	16,25			
		Limon argileux gris	18,00	3,20
			21,00	3,40
-23,23	23,50	Limon sableux gris	24,00	0,35
-24,43	24,70	Cailloutis gris frais non altéré et sable gris; mollusques.		
-25,83	26,10	Cailloutis jaune à matrice marnreuse jaune compacte, galets arrondis, peu nombreux.	27,00	2,80
-27,43	27,70	Cailloutis jaune d'aspect altéré avec matrice sableuse et marnreuse.		
-27,83	28,10	Cailloutis jaune à matrice sableuse jaune.		
-28,83	29,10	Cailloutis jaune à sable jaune abondant.	30,00	23,90
-31,73	32,00			

Sondage vide

Sondage non vide

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 43 - SONDAGE S5 : Fiélouse

Nature de l'emplacement : marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
0,12	0,00	Limon à limon sableux brun clair, racines.	↑	
-1,73	1,65			
		Sable limoneux gris sombre	3,00	3,81
-4,53	4,65	Sable limoneux à sable gris à gris sombre	6,00	3,84
-6,38	6,50	Sable limoneux gris	9,00	3,81
-7,38	7,50	Sable limoneux à sable gris		
-9,58	9,70	Sable limoneux gris sombre	12,00	24,10
-11,38	11,50	Limon sableux gris à gris sombre		
-11,88	12,00	Sable limoneux gris	15,00	32,10
-14,38	14,50	Limon argileux gris sombre		
		Limon argileux gris sombre	18,00	18,50
-18,88	19,00	Limon argileux à argile limoneuse gris.	21,00	5,00
-21,88	22,00	Limon argileux gris	24,00	1,86
-24,08	24,20	Limon à limon argileux gris		
-26,08	26,20	Limon argileux gris	27,00	1,84
-26,88	27,00	Limon à limon argileux gris, débris végétaux décomposés, quelques petits graviers noirs(5mm)		
-29,38	29,50	Limon à limon argileux gris	30,00	1,93
-32,08	32,20	Sable gris	33,00	1,04
-32,88	33,00	Sable à sable limoneux gris		
-35,28	35,40	Limon argileux gris avec des galets polarisés et aplatis	36,00	1,47
-36,28	36,40	Cailloutis gris frais non altéré à sable gris ; mollusques		
-38,08	38,20	Cailloutis légèrement altéré avec sable gris jaune	39,00	0,81
-39,98	40,10	idem que ci-dessus avec plus de sable	42,00	0,14
-41,98	42,10			

Sondage vidé

Sondage non vidé au cours de faible pompage

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 44 - SONDAGE S6: Pont de Méjanne Nature de l'emplacement: bourrelet haut d'ancien bras

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/L)
2,00	0,00	Limon à limon sableux brun Limon jaune, taches d'oxyde de fer	↑ Sondage vidé	12,40
1,35	0,85			
-0,50	2,50	Limon gris clair, passages de sables fin, débris végétaux.	3,00	5,50
-6,20	6,20	Sable fin gris, légèrement limoneux au sommet	6,00	15,70
-10,20	12,20	Sable plus grossier gris clair	12,00	5,60
-11,20	13,20			
-16,20	18,20	Sable gris	15,00	4,70
-18,70	20,70	Limon gris	18,00	8,70
-19,00	21,00			
		Tourbe	21,00	8,70
		Limon gris	24,00	9,90
			27,00	13,70
-26,50	28,10	Limon à limon argileux gris	30,00	9,70
-28,40	30,40	Limon sableux gris	33,00	8,30
-31,10	33,10	Cailloutis gris frais limoneux	36,00	10,80
-33,00	35,00	Cailloutis gris frais non altéré et sable gris	39,00	14,00
-38,00	40,00	Cailloutis gris frais, très légèrement altéré, pas de sable	42,00	16,70
-43,00	45,00		45,00	10,80

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 45-- SONDAGE S7: Augery

Nature de l'emplacement : bourrelet actuel du Grand Rhône

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
2 60	0,00	Limon argileux à argile limoneuse jaune.	↑	
1 30	1,30			
		Limon jaune brun		
-0 40	3,00	Limon argileux à argile limoneuse gris bleuté, taches d'oxyde de fer.	3,00	1,30
-2 70	5,30			
-3 60	6,20	Limon argileux à argile limoneuse gris sombre.	6,00	1,50
-4 40	7,00	Argile limoneuse à argile gris noir très organique, débris végétaux.		
-5 40	8,00	Argile limoneuse grise, passages organiques, et tourbeux vers 7,80m	9,00	1,90
-6 20	8,80	Argile limoneuse à argile gris noir, niveaux tourbeux.		
		Limon gris à gris sombre		
-8 30	10,90	Limon à limon argileux	12,00	1,33
-9 40	12,00	Limon gris		
-10 00	12,60	Limon à limon sableux, quelques graviers	15,00	1,40
-10 95	13,15	Cailloutis altéré et limon sableux, débris de corail		
-11 40	14,00	Cailloutis jaune altéré		
-13 50	16,10	Cailloutis jaune avec matrice marne-sableuse jaune	18,00	1,50
-14 40	17,00	Cailloutis jaune à matrice sableuse jaune		
-15 10	17,70	Cailloutis jaune à ciment grès-calcaire jaune, absence de quartzites.		
-17 40	20,00		↓ non vidé	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 46-SONDAGE S8 : Fangouze

Nature de l'emplacement : passage bourrelet bas-marais

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
0,50	0,00	Limon argileux gris clair, taches d'oxyde de fer	↑	
-0,60	1,10			
-2,10	2,60	Limon gris clair	↑	
-3,50	4,00			
		Limon gris	3,00	12,50
		Sable limoneux, nodules d'argile	↑	
-7,50	8,00			
		Limon sableux gris, passages plus limoneux	6,00	33,90
			9,00	5,25
-11,50	12,00		12,00	44,50
		Limon gris	15,00	46,60
			18,00	7,30
-18,70	19,20	Cailloutis gris frais avec matrice limono-sableuse ; mollusques	↑	
-19,50	20,00			
-20,40	20,90	Cailloutis gris frais et sable gris ; mollusques	21,00	21,80
		Sable gris avec des graviers, mollusques	↑	
-22,90	23,30			
-23,50	24,00	Limon sableux gris avec de petits graviers	24,00	7,50
-23,90	24,40	Cailloutis gris frais, mollusques	↑	
		Cailloutis jaune altéré avec sable jaune	27,00	19,30
-27,50	28,00		↑	
		idem que ci-dessus plus des galets calcaires	30,00	26,20
-30,50	31,00		↓	

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

Fig 47 - SONDAGE 59 : Vaccarès

Nature de l'emplacement : étang (Vaccarès)

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
-0,05	0,00			
-0,55	0,50	Limon gris clair, taches d'oxyde de fer	↑	
-0,70	0,65	Sable limoneux à limon sableux gris, très légèrement organique		
-1,05	1,00	Sable limoneux gris		3,00
		Sable gris		
			6,00	27,80
-7,55	7,50	Limon gris	↑	
-8,05	8,00	Sable très peu limoneux et très fin avec des passages limoneux		
-9,05	9,00	Sable très fin gris		9,00
			12,00	20,10
			15,00	27,70
			18,00	21,80
		Limon gris		
			21,00	17,30
			24,00	9,90
			27,00	9,90
			30,00	13,10
-28,75	28,70	Limon gris avec passages organiques	↑	
-28,15	29,10	Limon gris		
-30,45	30,40	Cailloutis gris limoneux, mollusques		
-31,05	31,00	Cailloutis gris frais non altéré avec un peu de sable		
			33,00	13,10
			36,00	17,80
-34,05	34,00	Cailloutis moins frais avec sable jaune		
			38,00	17,60

Sondage vidé au cours de faible pompage

Sondage non vidé

Fig 48 - SONDAGE S10 : La Chassagnette

Nature de l'emplacement : bourrelet haut d'ancien bras du Rhône

NGF	PROF	LITHOLOGIE	IMPORTANCE DE LA NAPPE	SALINITE (g/l)
2 60	0,00	Limon argileux à argile limoneuse brun		
1 80	0,80			
1 20	1,40	Limon argileux gris beige tachés d'oxyde de fer		
0 60	2,00			
-0 40	3,00	Limon gris verdâtre, tachés d'oxyde de fer	3,00	
-0 90	3,50			
-2 00	4,60	Limon argileux à argile limoneuse beige tachés d'oxyde de fer		
-2 20	4,80			
-2 70	5,30	Limon sableux gris, tachés d'oxyde de fer	6,00	
		Limon gris bleuté		
-4 20	6,80	Limon gris à poches tourbeuses	9,00	0,88
-4 70	7,30	Tourbe noire		
-5 60	8,20	Limon sableux gris, graviers quartzeux à la base	12,00	0,75
-6 40	9,00	Limon à limon sableux à nodules d'argile		
		Limon avec graviers	15,00	0,59
-7 90	10,50	Cailloutis gris à matrice limoneuse; galets non altérés, inclusives		
		Cailloutis gris frais non altérés avec quartzites blanches	12,00	0,86
-8 90	11,50	idem que ci-dessus avec sable jaunâtre		
		Cailloutis jaune altéré à matrice sablo-marneuse	15,00	0,59
-11 70	14,30	Marne jaunée à petits galets		
-12 40	15,00			

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

CHAPITRE IX

LA NAPPE EN CHARGE DU CAILLOUTIS s.l.

Introduction

Une nappe plus importante que la nappe phréatique que nous venons d'examiner se développe dans le cailloutis s.l. de la Camargue. Cette nappe avait déjà été rencontrée par quelques forages qui souvent sont restés inexploitable à cause de la forte salinité des eaux. Au cours de notre étude nous avons exécuté 5 sondages (S1 à S5) qui ont pénétré de 5 m dans les formations caillouteuses et ont démontré l'existence d'eaux douces ou saumâtres. A l'exception du sondage S4 la nappe a été jaillissante et se maintenait à des cotes souvent élevées par rapport à la surface (S2). Une deuxième campagne (sondages S6 à S 10) a été effectuée pour préciser la zonéographie de la salinité de la nappe.

LA NAPPE -- SON IMPORTANCE -- ALIMENTATION

Le cailloutis perméable, qui constitue la roche magasin, est cependant, comme nous l'avons vu, hétérogène et la nappe doit donc avoir des comportements divers. Le cailloutis "gris" est beaucoup plus perméable que le cailloutis "jaune" qui est transformé souvent en poudingue surtout en Haute Camargue près du Grand Rhône. En Vieille Crau au niveau de Augery ce cailloutis a une perméabilité de l'ordre de 10^{-5} m/sec, tandis que dans la jeune Crau la perméabilité monte jusqu'à 10^{-3} à 10^{-2} m/sec.

Les mouvements tectoniques récents dont l'existence parait probable (Chapitre IV), pourraient en outre abaisser ou surélever localement le cailloutis. La nappe serait conditionnée par ces mouvements avec même par endroits, suivant l'importance du rejeu, interruption partielle due au contact latéral avec des formations moins perméables.

Il est difficile de se prononcer de manière précise sur l'importance de cette nappe : nos points ne sont pas nombreux et au stade actuel de l'étude nous n'avons pas effectué des essais sérieux de pompage. Cependant au cours d'un faible pompage effectué pour un prélèvement d'eau (5 l/min pendant 30 min.) nous avons constaté un rabattement dans les sondages S1, S4 et S5 avec augmentation de la salinité. Nous rappelons également quelques renseignements sur des essais qui ont été effectués dans le passé et qui souligneraient la faible importance de la nappe:

COTES PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE EN CHARGE

Sondage Profond équipé en piézomètre	Cote N.G.F.* du sondage	Octobre 1968	Janvier 1969	Février 1969	Mai 1969	Juillet 1969	Août 1969
S ₁	0,50	0,80	0,96	1,10	0,71	0,64	0,59
S ₂	0,00	1,20	1,39	1,28	1,15	0,98	0,88
S ₃	2,86	1,69	2,48	2,41	2,04	1,96	1,88
S ₄	0,27	0,29	0,67	0,62	0,31	0,17	0,08
S ₅	0,12	0,43	0,97	0,90	0,05	- 0,01	- 0,04
S ₆	2,0				0,69	0,68	0,52
S ₇	2,6				0,87	0,60	0,51
S ₈	0,5				0,08	- 0,02	- 0,12

* Les cotes N.G.F. des sondages S₆, S₇, S₈ sont approximatives

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

- Sondage "aux Saintes Maries" débit 10 m³/h, rabattement 2,42m, salinité supérieure à 10 g/l
- Sondage de Chartreuse (en Basse Camargue à proximité du Grand-Rhône) : cailloutis peu aquifère et très salé: débit 7 m³/h, rabattement stabilisé à 3,6 m du sol (niveau initial).

Sur le tableau sp.134^t nous présentons les cotes piézométriques de la nappe. On peut noter une faible baisse pendant les mois d'été qui à priori pouvait s'expliquer, par une diminution de son alimentation.

Or, quelle est l'alimentation de cette nappe? Nous avons vu au chapitre précédent qu'il ne fallait pas s'attendre à une alimentation à travers les couches supérieures à partir de la nappe phréatique. Par ailleurs étant donné que ce cailloutis communique avec celui de la Crau à l'Est et de la plaine de Beaucaire au Nord, il y avait toute raison de penser à une alimentation par ces régions. De plus le cailloutis affleure du fond du Rhône au seuil de Terrin, bien qu'il soit cimenté à cet endroit. Vers l'Ouest, le cailloutis de la Costière ne pourrait participer à cette alimentation, à cause de l'existence de l'accident de Beaucaire-Saint Gilles qui met en contact le cailloutis de la Camargue avec le Pliocène imperméable du soubassement de la Costière.

La nappe de la Crau est alimentée par les eaux de pluies et surtout par celles d'irrigation*; la nappe de la plaine de Beaucaire (sous les alluvions récentes) est en grande partie nourrie par le Rhône(185). Or, quand on examine la carte des courbes isopiézométriques de ces deux régions nous constatons : que pour la Crau l'écoulement est préférentiel vers le Sud-Sud Ouest, donc vers le Golfe de Fos et en surface il existe une émergence au passage du cailloutis sous le Grand et le Petit Plan du Bourg (à l'Est du Grand Rhône) constitué par des alluvions récentes, cette nappe a d'ailleurs un bilan très équilibré ; pour la nappe captive de la plaine de Beaucaire, l'écoulement à une orientation Nord-Est - Sud-Ouest avec écoulement préférentiel en bordure de la Costière.

La plus grande partie de la Camargue semble donc ne pas se trouver à l'aval des circulations des eaux de ces deux régions. Pour vérifier ces hypothèses nous avons prélevé des échantillons d'eau dans sondages S1 S2 S3 S4, ainsi que dans la Vieille et Jeune Crau dans des régions limitrophes de la Camargue (Castelflaure, Chamoines, La Crosse du Couchant) et au Nord du Petit Rhône (L'Auberine) pour faire doser l'activité de " tritium ". Les résultats sont les suivants (en TU: teneur en tritium; 1 TU = 3,24 10⁻⁹ Ci/m³) .

*on a depuis longtemps démontré l'irréalité de la "dérivation souterraine" de la Durance par le col de Lamonon (8,54) .

* Voir chapitre VI

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

CAMARGUE

S1 (Les Frignants)	S2 (Pont du Mas de l'Ange)	S3 (Mas de l'Ange)
286	< 50	< 50
S4 (La Capellière)		
< 50 TU		

CRAU

Castelflaure	Chanoines	La Crosse du Couchant
325	185	300

NORD DU PETIT RHONE

L'Auberine

< 50

Les eaux du Rhône ont une activité de plus de 300 U.T.

Les valeurs des plus de 50 TU caractérisent les eaux "contaminées" par les "manifestations" et expériences atomiques; elles correspondent aux eaux de surface (pluies etc..). Par contre les eaux d'activité très inférieures de 50 TU, comme c'est le cas pour la plupart des eaux des Sondages de la Camargue, seraient isolées avant toute activité atomique et ne garderaient aucun contact avec des facteurs extérieurs. D'après ces résultats la nappe captive de la Camargue serait une nappe fossile sans alimentation par le Rhône, par la Crau ou par la nappe de Beaucaire (L'Auberine). Des relations aquifères doivent cependant exister avec la Crau si l'on veut expliquer la charge de la nappe du cailloutis Camarguais ^{mais} sans manifestation de circulations. Ces constatations impliquent plutôt de faibles réserves d'eau dans le cailloutis Camarguais.

Il faut noter enfin la teneur en tritium élevée des Frignants qui indique une eau polluée par des facteurs extérieurs? Nous constaterons plus bas dans cette même région une autre anomalie, de salinité cette fois. Il est difficile de trouver une explication exacte, nous citons cependant qu'à l'Ouest de cette région le Petit Rhône forme un sillon profond au niveau de Sylvéréal et que, sur les cailloutis des Frignants, existent des formations sableuses; est-ce là la cause de cette contamination ?

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

SALINITE DE LA NAPPE DE CAILLOUTIS

Au tableau de la page 138 nous présentons les salinités et leur variations saisonnières. En plus des sondages S1 à S 10 équipés en piézomètres figurent également des forages déjà existants. Les salinités lors de l'exécution des sondages sont données aux figures 39 à 48. Nous constatons la stabilité saisonnière de la salinité de la nappe conforme aux idées exposées plus haut sur son alimentation.

La hausse de la salinité au sondage S3 est due au pompage que le propriétaire du terrain effectue.

La salinité augmente donc du Nord Est vers le Sud Ouest. La zone vraiment douce se limite en Haute Camargue dans la partie orientale. Sur la carte de la fig.49 nous traçons les limites de la salinité basées en plus sur les résultats de la géophysique effectuée par le B.R.G.M. (214) et par le C.P.G.F. La limite de la courbe de 0,5 g/l semble être confirmée par la présence des points d'eau à proximité; par contre la courbe de 2 g/l doit être plus ou moins approximative.

Dans la région au Sud du Vaccarès nous observons la présence en pleine zone salée de deux points, un point d'eau douce à Fielouse et un point saumâtre aux Frignants tandis que le sondage du Vaccarès, situé un peu au Nord de la ligne qui les relie, montre une forte salinité.

Nous avons déjà constaté une influence extérieure aux Frignants* Cette influence ne serait-elle pas la cause de la faible salinité de la nappe ?

L'évolution de la salinité de la nappe du cailloutis avec la profondeur, n'a pas toujours été la même pendant l'exécution des sondages. Ainsi aux sondages S4, S6, S7, S8, S9, la salinité est moins élevée au sommet du cailloutis qu'aux niveaux plus inférieurs; au contraire on assiste au phénomène inverse dans les autres sondages; on pourrait peut être expliquer cette particularité par la diffusion des sels des dépôts fins du toit, qui ont en général une salinité très élevée.

Enfin il faut noter que, même en Haute Camargue, la salinité augmente avec un très faible pompage.

SALINITE DE LA NAPPE DU CAILLOUTIS (g/l)

Points d'eau	N. D. J.F. 1967-1968	M. A. M. 1968	J. J. A. 1968	S. O. N. 1968	J. F. 1969	MARS 1969	J. J. 1969
6	2,50	2,45	2,45	2,42	2,41	2,41	2,40
21	0,35	-	-	-	-	-	-
57	5,54	4,58	4,80	4,68	4,53	4,59	5,55
58	2,08	2,11	-	2,05	2,16	-	-
60	1,09	1,03	1,09	1,28	1,12	1,21	1,30
61	0,76	-	-	1,00	1,57	-	1,45
83	0,40	0,39	0,44	0,44	0,36	0,44	0,43
85	0,09	0,17	0,05	0,06	0,10	0,22	0,09
S 1	-	-	-	1,24	1,18	1,29	1,28
S 2	-	-	-	1,24	1,22	1,36	1,39
S 3	-	-	-	0,19	2,65	3,32	3,06
S 4	-	-	-	5,01	5,73	3,42	6,90
S 5	-	-	-	0,14	0,19	0,97	0,41
S 6	-	-	-	-	-	11,30	12,40
S 7	-	-	-	-	-	1,31	1,40
S 8	-	-	-	-	-	25,70	28,80
S 9	-	-	-	-	-	-	13,10
S 10	-	-	-	-	-	0,88	13,10

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

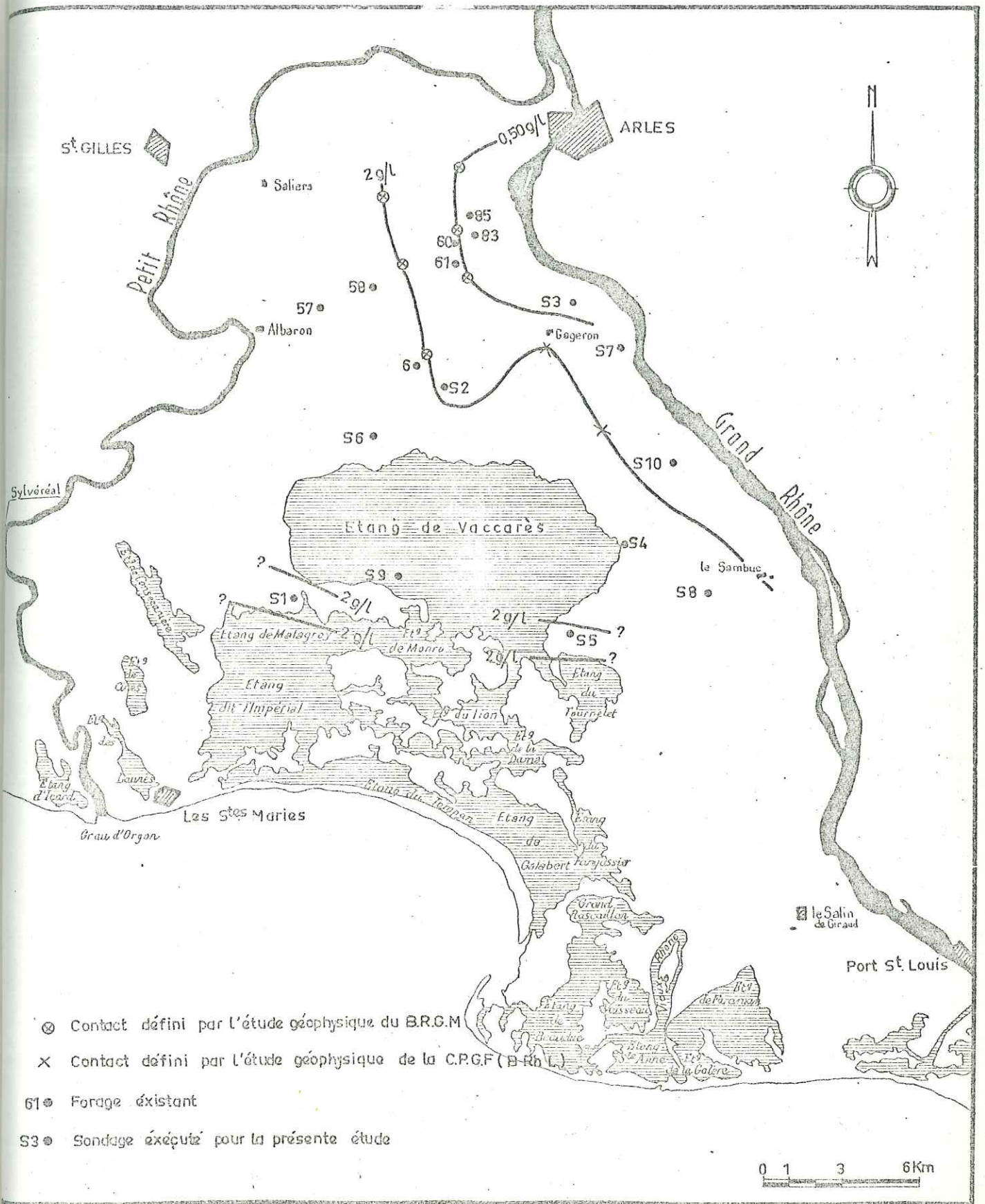


Fig 49 - SALINITE DE LA NAPPE EN CHARGE DU CAILLOUTIS (s.l)

tel-00761820, version 1 - 6 Dec 2012

B I B L I O G R A P H I E

Abréviations

- A.I.H. - Association Internationale des Hydrogéologues.
A.I.H.S. - Association Internationale d'Hydrologie Scientifique.
B.R.G.M. - Bureau des Recherches Géologiques et Minières.
B.S.C.G.F. - Bulletin du Service de la Carte Géologique de la France.
B.S.G.F. - Bulletin de la Société Géologique de France.
C.G.I. - Congrès Géologique International.
C.R.A.S. - Compte Rendus de l'Académie des Sciences.
C.R.S.S.G.F. - Compte Rendus sommaires de la Société Géologique de France.
M.S.G.F. - Mémoires de la Société Géologique de France.
- UNESCO Water Ressources séries n° 24 : The development of ground water ressources with special reference to deltaic areas.
- UNESCO Water Ressources series n° 25 : Flood control, Reclamation, Utilisation and development in deltaic areas.

1. ABBAS (B.M.), 1963. - Utilisation and development of the deltaic area of East Pakistan, UNESCO - Proc. of the regional symp. on flood control. Reclamation utilisation and Développement in deltaic areas. N° 25.
2. AGUESSE (P.), 1957. - La classification des eaux poikolohalines, sa difficulté en Camargue. Nouvelle tentative de classification - Vie et Milieu., p. 341-363.
3. ————— 1958. - La diversité des milieux aquatiques de Camargue et son influence sur le peuplement. Colloque sur la Camargue. Gauthier-Villiar. edit. Paris.
4. ————— 1958. - Aperçu du régime hydraulique de la Camargue et de son influence sur les déplacements du sel. C.R. (oygr. Soc. sav. Aix et Marseille., p. 487-493. (Colloque sur la Camargue).
5. AGUESSE (P.), - BIGOT (L.), 1958. - Observations floristiques et faunistiques sur un étang de moyenne Camargue. La Baisse salée de la Tour du Vallat - Recueil des travaux de la Station Biologique de la Tour du Vallat., p.284-307.
6. ANDEL (Vañ.), T. H., 1950. - Provenance, transport and deposition of Rhône sediments - Thèse, Wageningen.
7. ANDRE (A.) 1968. - Glaciaire dans la moyenne et basse vallée de la Durance, la Crau, D.E.S. Grenoble (2ème sujet).
8. ARCHAMBAULT, 1951. - La nappe de la Crau. Min. de Reconstruction et de l'Urbanisme.
9. ARRIGHI DE CASANOVA, 1953. - L'assainissement agricole de la Camargue. Publication du Service du Génie Rural.
10. AUBOUJIN, --- 1968. - Précis de Géologie.
11. AVIAS (J.), - GUNORD (H.), - LEMERIERE (P.), - THALER (L.), - et Service des Sols de la C.N.A.B.R.L. 1966. - Itinéraire géologique dans le Languedoc - Université de Montpellier.
12. BABUSHKIN (V.D.), - GOLDBERG (V.M.), - 1967. - Hydrogeological investigations and estimation of fresh groundwater resources in coastal areas. CR., AIHS, Symposium d'Haifa.
13. BARRIERE (J.), 1965. - *Utilisation de faunes Malacologiques dans l'étude des sols et sédiments récents et quaternaires. D.E.S. Montpellier*
14. BAUDOIN (P.), - DUROZOY (G.), - UTARD (M.), - Etude par prospection électromagnétique aérienne (méthode INPUT) d'un contact eau douce - eau salée dans le delta du Rhône., B.R.G.M.
15. BAULIG (H.), 1927. - La Crau et la Glaciation wurmienne. Ann. de Géogr. t. XXXVI.
16. BAULIG (H.), 1934. - A propos de surfaces d'aplanissement de la région du Bas-Rhône. Ann. de Géogr. 43 n° 246, p.636-640.

17. BAULIG (H.), 1935. - Sur les derniers mouvements du sol dans la basse vallée du Rhône. Les études rhodaniennes. Vol. XI., n° 1, p. 87-89.
18. BAULIG (H.), 1953. - Les hauts niveaux de base du Pliocène. Rev. de géogr. de Lyon. Vol. XXVIII., p. 205-222.
19. BAULIG (H.), 1949. - La vallée et le delta du Mississipi. Ann. de Géographie.
20. BEAR (J.), - DAGAN (G.), 1963. - Interception of fresh water above the interface in a coastal aquifer. A.I.H.S. Assemblée de Berkeley.
21. BEAR (J.), - TODD (D.K.), 1960. - The transition zone between fresh and salt water in coastal aquifers. Water resources center. Contrib. 29. Hydraulic engr. University of California.
22. BEAUFORT (L.), - BRUNEAU (J.), - GREPDM (A.), - JULLIAN (Y.), 1954. - Ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène en Camargue. B.C.G.F., p. 175-184.
23. BECCAT, 1930. - La Crau : observations hydrologiques. C.R. Congrès de l'eau en Crau, Sce Agric.P.L.M. p. 173-190.
24. BECCAT, 1930. - La Crau : essai d'utilisation du fleuve souterrain. C.R. Congrès de l'eau en Crau. Sce Agric. P.L.M. p. 251-260.
25. BENEVENT (E.), 1930. - La mise en valeur de la Crau. Ann. de Géogr. Alpine p. 807-812.
26. BENEVENT (E.), 1931. - Les eaux souterraines de la Crau. Ann. de Géographie. p. 80.84.
27. BERTHOIS (L.), 1958. - La formation des estuaires et des deltas. RAS.
28. BETHEMONT (J.), - Données morphologiques et climatiques de la mise en valeur de la Camargue. La riziculture française. Supplément au n° 45.
29. BETHEMONT (J.), 1962. - Le riz et la mise en valeur de la Camargue - Revue Géogr. Lyon.
30. BIEMOND (C.), 1957. - Dune water flow and remplishment in the catchment area of the Amsterdam water supply. Journ. Inst. Water Engrs. Vol. 11., p. 195-213.
31. BIROT (P.), 1959. - Précis de géographie physique générale. Armand Colin edit.
32. BLANEY (H.F.), - GRIDDLE (W.D.), 1950. - Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S. Dept Agric. Sc.
33. BOGOMOLOV (G.V.), - SILIN BEKTCOURINE (A.J.), 1959. - Hydrogéologie spécialisée. Ann. du service d'inf. géol. du B.R.G.M.
34. BONIFAY (E.), 1962. - Recherche sur les terrains quaternaires dans le Sud-Est de la France. Thèse.

35. BONIFAY (E.), 1965. - Vue d'ensemble sur le Quaternaire du littoral provençal. Congrès preh. Fr. Monaco 1959, Paris sol préhist. Fr. p. 202-301.
36. BONIFAY (E.), 1967. - La tectonique récente du Bassin de Marseille dans le cadre de l'évolution post-miocène du littoral méditerranéen français. B.S.G.F. p. 548-560.
37. BONNET (A.), - JULLIAN (Y.) - LYS (M.) - VAIAN (A.), 1952. - Etudes dans le Néogène du Bas-Rhône. Conv. haz. Metano e Petroleo. Palermo.
38. BONNET (A.), 1953. - La tectonique post-villafranchienne du Languedoc méditerranéen. 4ème Congrès I.N.Q.U.A., p. 209.
39. - - - - - 1962. - Note sur la liaison entre les tectoniques superficielles et profondes de la Camargue. B.C.G.F. - t. IIX., n° 269.
40. - - - - - 1963. - Nouvel essai de corrélation des terrasses rhodaniennes. B.S.G.F. p. 543-554.
41. - - - - - 1965. - Le Quaternaire des environs de Saint Gilles (Gard) B.S.G.F. (7) t. VII., p. 571-579.
42. - - - - - 1966. - Structure de la Camargue entre Arles-Beaucaire et Saint-Gilles. C.R.S.S.G.F., p. 258.
43. - - - - - 1966. - Note complémentaire sur le Quaternaire des environs de Saint-Gilles et de Bellegarde. C.R.S.S.G.F., p. 348.
44. BONNET (A.), - DUBOUL, - RAZAVET (Chr.), 1953. - Contribution à la reconnaissance du Pliocène du Bas-Rhône - B.S.G.F., p. 123-130.
45. BONNET (A.), - DUBOUL, - RAZAVET (Chr.), 1953. - Note préliminaire sur le Quaternaire de Camargue. B.S.G.F.
46. BORDAS (J.), 1945. - Les Vignobles de Sable en Camargue. Ann. Agro. 215.
47. BORDAS (J.), - HUGUET, 1951. - Sols de Camargue et riziculture. Ac. Agr. de France.
48. BOSSY (G.), 1965. - Documents sur le nappe alluviale de la Basse Durance et de la Crau (1953-1962). Mem. du Centre d'Etud. et de Recherches Hydrol. t. II Montpellier.
49. BOURCART (J.), 1947. - Considérations théoriques sur l'origine des terrasses fluviatiles. B.S.G.F., p. 395-402.
50. BOURCART (J.), 1956. - Transgressions et régressions marines. Bull. soc. Bel. Géologie LXV.
51. - - - - - 1959. - Le plateau continental de la Méditerranée occidentale - CRAS 249. p. 1380-1382.
52. BOURDIER (F.), 1961. - Le bassin du Rhône du Quaternaire. Thèse C.N.R.S.

53. BRESSOU (C.), 1955. - La réserve géologique et botanique de la Camargue. Rev. Forst. n° 5, p. 339-346.
54. BREUSSE (J.J.), - DUPRAT (A.), 1964. - Contribution de la géophysique à l'étude des invasions marines. Terres et Eaux, 17, n° 42, p. 2-8.
55. C.N.A.B.R.L. Chronologie des paléosols du Bas-Rhône. Excursion pédologique du 29 au 2. Oct. 1967.
56. C.P.G.F., 1965. - Etude hydrogéologique de la Crau d'Arles.
57. - - - - - 1968. - Etude géophysique au Nord de l'Etang du Vaccarès.
58. CARRIER (G.F.), 1958. - The mixing of ground water and sea water in perméable subsoils. Journ Fluid Mech., Vo 4. p. 479-488.
59. CASTANY (G.), 1963. - Traité pratique des eaux souterraines. Dunod edit. Paris.
60. - - - - - 1966. - Interprétation des cartes piézométriques et caractéristiques des couches aquifères libres. Bull. B.R.G.M., N.3, p. 89-140.
61. - - - - - 1967. - Principe de l'établissement des bilans d'eau. Bull. B.R.G.M. N.3.
62. CERICHELLI (R.), - GAND (E.), 1952. - Les sols de Camargue. Ann. Agr. 861.
63. CHARMONNAN SRISAKDI - CARSTENS (M.R.), - MAY (G.D.), 1967. - A fresh water canal as a barrier to sea water intrusion. A.I.H.S. L.R. Assemblée de Haifa.
64. CHAVAN (A.), 1950. - Tableau de corrélation des formations pliocènes et quaternaires ouest-méditerranéennes, européennes, atlantiques et nordiques. B.S.G.F. (5) XX, p. 421-431.
65. CHEYLAN (G.), 1965. - Etudes géologiques des aménagements hydrauliques de la C.N.A.B.R.L. Thèse Grenoble.
66. CHOLLEY (A.), 1925. - Le régime et les crues du Rhône (d'après Pardé) Ann. géog. t.34, p.454-461.
67. CLAVE (P.), - BOMPARD (A.), 1961. - Evolution récente de l'agriculture en Camargue. Journées du Riz, Arles 1960. Bull. Inf. riziculture de Fr.
68. CLEMBERT (J.P.), 1969. - Camargue - Parc naturel régional de la Camargue.
69. CLUSEAU (R.), 1962. - Etude géophysique de la nappe de la Crau dans la région de Fos-sur-Mer. B.R.G.M. non diffusé.
70. CLUSEAU (R.), 1964. - Campagne de "Cone-Drill" en Camargue effectuée par la COPESEP. Exploitation des diagrammes de sondages de carottage électrique B.R.G.M. non diffusé.
71. COLLOT (L.), 1880. - Sur le delta du Rhône à Saint Gilles. CRAS f.90 p.548-549.

72. COLLOT (L.), 1904. - Pliocène et Quaternaire dans la région du Bas-Rhône. B.S.G.F. (4) IV., p. 205-219.
73. COMBALUZIER (Ch.), 1932. - Le Miocène de la Basse Provence. B.S.C.G.F. t. 35, 182.
74. CONAT (M.), 1952. - Riz et riziculture en milieu nouveau en Camargue. Vie et Milieu, t. III, p. 370-385.
75. COOPER (H.A.), 1959. - An Hypothesis concerning thermodynamic balance of fresh water and salt water in a coastal aquifer. Jour. Geograp. Res. Vol. 64., p. 461-467.
76. COQUAND, 1869. - La Crau - sa composition géologique et son origine. B.S.G.F. (2) t. XXVI, p.541.
77. CORNET (C.), 1965. - Evolution tectonique et morphologique de la Provence depuis l'Oligocène. M.S.G.F. nouvelle série t. XIV, Mémoire 103.
78. CORNET (C.), 1969. - La Provence de l'Oligocène à nos jours. Revue de Géogr. phys. et Géologie dyn. (2) Vol. XV, fasc. 1, p. 101.
79. CORROY (G.), 1960-63 - L'évolution paléogéographique post-hercynienne de la Provence. Livre Mém. Paul Faillot t. II. Mém. hors série de la Soc. Géolog. Fr.
80. COVA (R.), 1965. - Etude hydrogéologique de la partie septentrionale de la Crau et des reliefs de bordure. Thèse 3ème cycle Montpellier.
81. DAMIANI (L.), - FEUGUEUR (L.), 1960. - Etude de la Basse Crau et de la plaine alluviale à l'Est du Rhône. B.R.G.M. non diffusé.
82. DANIEL (P.), 1953. - Pénétration des eaux salées dans les fleuves à marée. XVIII Congrès int. de navigation. Rome
83. DEBUISSON (J.), - MOUSSU (H.), 1965. - Etude expérimentale d'un équilibre eaux douces-eaux salées sur le rivage maritime de Malika près de Dakar (Sénégal). I.A.H. réunion a HANNOVER. vol. VII.
84. DECELLE (A.), - GUELTON, - MULLER FEUGA (R.), 1954. - La nappe phréatique de la Crau et la dérivation de la Basse Durance. Commission int. de l'irrigation et du drainage. 2ème congrès. Alger.
85. DEGALLIER (R.), 1963. - Contact eau-douce - eau salée. Chronique d'hydrolog. B.R.G.M. n° 1.
86. _____ 1965. - Influence de la profondeur d'une nappe sur les conditions de son alimentation. I.A.H. réunion d'Hannover, Vol. VII.
87. DELAMBRE-DEBOUTTEVILLE (C.), 1955. - Sur le mélange des eaux d'infiltration marine et des eaux phréatiques continentales sous une plage d'une mer sans marée. CRAS, 240, N° 4, p. 460-462.

88. DELAMARE-DEBOUTEVILLE (L.), 1955. - Sur la circulation des eaux marines et des eaux phréatiques continentales dans les plages des mers à marées. CRAS. p. 555.
89. DELLERY (B.), - DUROZOY (G.), - FORKASIEWICZ (J.), - GOUVERNET (C.), - MARGAT (J.), 1964. - Etude hydrogéologique de la Crau. B.R.G.M. (non diffusé).
90. DEMANGEON (P.), 1959. - Contributions à l'étude de la sédimentation détritique dans le Bas-Languedoc pendant l'ère tertiaire. Naturalia Monspelensia, Mém. 5.
91. DENIZET (F.), 1933. - La Camargue et ses problèmes hydrauliques. Union gén. des Rhodaniens, VII congrès et fêtes du Rhône, Marseille p. 425-442.
92. DENIZOT (G.), 1922. - Les dernières variations du niveau marin sur les côtes de la Basse Provence. C.R.A.S. t. 175.
93. - - - - - 1923. - Contribution à l'étude du Quaternaire en France. B.S.G.F. XXIII, p. 384-403.
94. - - - - - 1933. - Sur l'âge des vieux poudingues de la Durance et de la Crau. t. 196, p. 1906-1908.
95. - - - - - 1934. - Note sur l'extension des cailloutis pliocènes. B.S.G.F. (5). t. IV, p. 613.
96. - - - - - 1937. - Cycle pliocène et surface topographique du quaternaire sur le sol français. Assoc. Géogr. Fr. N° 106.
97. - - - - - 1938. - La Crau, la Camargue et l'étang de Berre. Ann. Fasc. Sc. Marseille.
98. - - - - - 1938. - Nouvelles observations sur la Crau. C.R.S.S.G.F. p. 312.
99. - - - - - 1940. - Pliocène et Quaternaire du Bas-Rhône. B.S.C.G.F. n° 203. t. 42.
100. - - - - - 1936-1946. - La Costière nimoise. Bul. soc. ét. Sce Nat. Nîmes. XLVIII. p. 137-151.
101. - - - - - 1949. - Coordination du Quaternaire de France. B.S.G.F. (5) XIX p. 223-244.
102. DERRUAU (M.), 1956. - Précis de Géomorphologie - Masson et Cie, édit. Paris.
103. DIXEY (F.), - SHAW (S.H.), 1961. - Hydrologie et salinité - Introduction au symposium : of salinity problems in the arid. zones Téhéran. Unesco.
104. DOEGLAS (D.J.) 1948. - Old beaches in the Mediteranean. C.G.I. p. 8, p.16-21.
105. DULAC (P.), 1950. - Irrigation et sel en Camargue. La riziculteur de France n° 8. p. 8.
106. - - - - - 1951. - Problème de l'eau en Camargue. La riziculteur de France n° 16 p. 18-20.
107. - - - - - 1957. - Problème de l'eau dans les basses terres. L'irrigation le sel, l'assainissement. La riziculteur de France. n° 22, p. 12-18.

108. DULAC (P.), 1954. - Contribution à l'étude de l'amélioration des terres salées dans les basses plaines. Le riziculteur de France. N° 34 p. 12-18.
109. DUBOUL-RAZAVET (L.), 1949. - Evolution générale de la pointe de Beauduc. L.R.A.S. t. 229. p. 1082-1084.
110. - - - - - 1949. - L'évolution actuelle du Vaccarès. C.R.A.S. t. 229. n° 23 p. 1244-1245.
111. - - - - - 1949. - L'évolution actuelle du Delta du Rhône. L.R.A.S. t. 228 p. 1238-1239.
112. - - - - - 1951. - L'évolution lagunaire en Camargue. L.R.A.S. t. 233 p. 264.
113. - - - - - 1951. - Le promontoire deltaïque du Grand Rhône. 3ème Congrès Inter-Sedim - Groninger-Wageningen p. 99-109.
114. DUBOUL-RAZAVET (L.) 1956. - Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du Delta du Rhône. M.S.G.F. - Mém. N° 76.
115. - - - - - 1958. - Les dépôts récents du Delta du Rhône (Flandrien et actuel). Colloque sur la Camargue. Gauthier-Villars edit.
116. DUMAS (E.), 1876. - Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du Gard - Nîmes
117. ELLENBERGER (F.), - GOTTIS (M.) 1967. - Sur les jeux de failles pliocènes et quaternaires dans l'arrière pays narbonnais. Rev. Géogr. physique et géologie dynamique. Vol. IX fasc. 2.
118. ESCOFFIER (H.), - MILLON (P.), 1969. - Quelques aspects de l'aménagement du Rhône en aval de Donzère. Le déroctage duseuil de Terrin.
119. FONTANNES, 1884. - Note sur la constitution du sous-sol de la Crau. B.S.G.F. t. XII. p. 463.
120. FRANCOIS (L.), 1933. - Evolution actuelle des embouchures du Rhône et des côtes de la Camargue. Bull. Ass. Géogr. Franç. N° 74. p. 134-137 et VII Congrès et Fêtes du Rhône Marseille.
121. - - - - - 1937. - Etude sur l'évolution actuelle des côtes de Camargue. Et. Rhodanienne. t. 12 n° 2-3. p. 92.
122. C.O.T.H.A. Basses plaines entre le ^Petit Rhône et l'étang de Mangin. Rapport inédit.
123. GABERT-DELAY (J.), 1967. - L'importance des déformations quaternaires et du modelé cryonival wurmien dans les paysages du Bas-Rhône et de la Basse Durance. Méditerranée n° 2.
124. GARMONOV (I.V.), 1959. - Groundwater in the coastal Deltas of the Volga, and Vlals divers. Their formation conditions and practical value. UNESCO. Nations Unies water resources n° 24.

125. GEORGE (P.), 1931. - Aperçu sur l'évolution du réseau hydrographique de la région du Bas-Rhône. Bull. Ass. Geogr. Fr. n° 53. p. 105-114.
126. - - - - - 1933. - Les surfaces d'aplanissement dans la région du Bas-Rhône - Ann. de Géog. p. 477-488.
127. - - - - - 1934. - Présentations d'une carte des surfaces d'aplanissement tertiaires de la région du Bas-Rhône. C.R. Conj. Int. de Géogr. Varsovie.
128. - - - - - 1934. - A propos de quelques mouvements récents à proximité du sillon rhodanien. Les études rhodaniennes vol. X n° 1-2 p. 87-88.

129. GEORGE (P) 1935. - La région du Bas-Rhône - Etude de géographie régionale - Thèse.
130. _____ 1937. - Les paysages et l'évolution géographique de la Camargue - Le Chêne in 4° N° 16 p. 3-15.
131. _____ 1942. - A propos d'indices des déformations quaternaires dans la région du Bas-Rhône - Bull.Ass.Géogr - t2 - n° 144-45, p. 41-43.
132. _____ 1942. - Interprétation des disloquations récentes pliocènes et quaternaires dans la région du Bas-Rhône et du Bas Languedoc - C.R.S.G.F. p. 38-39.
133. _____ 1943. - A propos des surfaces d'aplanissement du Bas Languedoc Soc. Lang. Géogr. 2ème série XIV. 1er fasc.
134. _____ 1943. - Essai de synthèse de l'histoire morphologique des pays du Bas-Rhône et du Bas-Languedoc du Pliocène et au Quaternaire - Les études Rhodaniennes - Vol. XIX N°3.
135. _____ 1944. - Sur la date des surfaces d'aplanissement du Bas-Languedoc. Sec. Lang. Géogr. (2) XV fasc. 2, p. 160-165.
136. GEORGE (P) - HUGUES (G), 1933. - Comment transformera-t-on la Camargue - Etudes Rhodaniennes - Vol.9, N°1, p. 23-68.
137. GIGNOUX (M) 1952. - Pliocène et Quaternaire Marin de la Méditerranée occidentale - XIX C.G.I. Alg. Sect. XIII fasc. VI, p. 249-258.
138. GLANDEAUD (L) 1951. - Interprétation Tertonophysique des caractères structuraux et paléogéographiques de la Méditerranée occidentale - B.S.G.F. p.735-762.
139. GOUNU (P) 1964. - Problèmes agronomiques en Camargue. Ann. Agronomique In. 15 p.193-204 .
140. GOUVERNET (C) - La Crau, la Provence et les Alpilles. Ann. de la Fac. de Sciences de Marseille. Série II.tome XXI. fasc.1
141. _____ 1950. - Les sols de Camargue et les phénomènes du Salant. Journées du riz. Arles sur Rhône, p. 19-30.
142. _____ 1957. - Etude géologique de la Crau - Sablonneuse 1er cahier. Salon de Provence.
143. _____ 1960. - Evolution géologique des relations Bas-Rhône, Basse Durance pendant les temps pliocènes et quaternaires Ann. Facé.Sc. Marseille - L. XXIX p.273-279

144. GOUVERNET (C) 1965. - Recherche d'un gîte aquifère en vue de l'alimentation en eau potable des Saintes Maries de la Mer - Minist. de la Construction.
145. GUILCHER (A) 1965. - Précis d'Hydrologie Marine et continentale Masson et Cie edit., Paris.
146. HAN (Kup-Hec) 1959. - Hydrological investigation in deltaic area of Nactong river Korea - UNESCO - Unit. nat. water resources Séries N.29
147. HARLEMAN(D.RF) - DUMER (R) 1965. - Interface mobile dans les aquifères côtiers. Prel.Proc. amer. Soc. Civ. Engr.
148. HENRY (H.R) 1960. - Salt Intrusion coastal aquifers AIHS - HELSINSKI, p.478-487.
149. HEURTEUX (P) 1962. - L'eau et le sel en Camargue - Position du problème et résultats des premières recherches - La terre et la vie, p. 11-33.
150. ----- 1964. - Première étape sur l'établissement du bilan hydrologique. Etude expérimentale du bilan de l'eau des rizières. Terre et la vie N° 3, p. 269-293.
151. ----- 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.
152. HUGUES (C) 1937. - La mise en valeur de la Camargue. Le chêne N° 16, p. 85-93 .
153. HUGUET (F) Les sols de rizières
154. JACOBS (M) - SCHMORAKS 1960.- Salt water encroachment in the coastal plain of Israel A.I.H.S. HELSINSKI, p. 408-423.
155. KRUIT (C) 1951. - Aperçu de l'histoire récente du delta du Rhône. 3ème Congrès Sédiment.Croningen Wageningen
156. ----- 1955. - Sédiments of the Rhône Delta grain ize and microfaune Mouton and Co . Graven en Hage
157. ^u KWENEN (Ph-H) 1950. - Marine géology New York
158. LAMOTHE (DE) 1921. - Les anciennes nappes alluviales du Rhône en aval de Lyon. B.S.G.F. XXI, p.97-115
159. LARRAS (J) 1965. - Embouchures, estuaires, lagunes et deltas. Eyrolles, Paris.

160. LE GOURIERES (D) 1966. - Contribution à l'étude des nappes d'eau douce en suspension sur l'eau de mer. Bul. A.I.H.S., N°1, p.52-58.
161. LEFEVRE 1928. - Rapport sur la Camargue au II Congrès du Rhône - Avignon - Union Nationale des Rhodaniens, p.14-22.
162. MARCELIN (P) 1949-1952. - Terres des Costières. La contribution à la mise en valeur de la Costière du Gard - NIMES, p. 227-327.
163. MARGAT (S) 1961. - Les eaux salées au Maroc - Salinity problems in the arid zones. Proc. of the Teheran. Sumposium - UNESCO.
164. ----- 1967. - Remarques sur les bilans d'eau des nappes captives. chronique Hyd. de B.R.G.M. N°11.
165. MARGAT (S) 1967. - Remarques sur la signification de surfaces piézométriques des nappes captives. Chronique Hydr. B.R.G.M. N°12 .
166. MARINOS (P) 1968. - Note préliminaire sur la géologie et l'hydrologie de l'étang du Vaccarès en Camargue.C.N.A.B.R.L. non diffusé.
167. MARRES (MP) 1958. - La Camargue le milieu et l'homme. Colloque sur la Camargue. Gauthier- Villars édit.
168. MARTEL (E.A) 1921. - A propos de l'hydrologie souterraine de la Crau. C.R.S.S.G.F.
169. MARTIN (D) 1907. - La Crau et la Durance B.S.C.G.F. N° 115. XVII p. 145.
170. MASSON (Q) 1914. - Les Bouches du Rhône. Tome XII. Le sol(d'après J. Repelin). Archives départementales des Bouches-du-Rhône).
171. MOUSSU (H) 1965. - Etudes des relations eau douce - eau salée en nappe libre et en nappe captive. Chronique Hydr. du B.R.G.M. N°6 .
172. OLOHAM (RO) 1925. - Problèmes of the Rhone delta - Nature 4, 11 .
173. ----- 1925. - The Portolam maps of the Rhone delta.Géogr. Vol. 65 p. 403 - 428 .
174. ----- 1930. - Historie changes of level in the Rhone delta quaterly journ. géolog. Society London. Vol.80, p.64-93.
175. ----- 1930. - Earth movements in the delta of the Rhone, nature 19 th , p. 601-604.

176. OLDHAM (RD) 1934. - The age and origin of the lower Rhone - Quater. Journ. of the geolog. soc. vol. 90, p.445-461.
177. OTTMAN (F) 1965. - Introduction à la géologie marine et littorale Masson édit.
178. PARDE (M) 1925. - Le régime du Rhône. Etude hydrologique. Thèse Grenoble.
179. PAULUS (M) 1949. - Malacologie marine et saumâtre de la Camargue. Thèse - Marseille.
180. PELISSIER (F) 1956. - Riziculture et mouvement de l'eau dans le sol. Journées du riz . ARLES
181. ——— 1956. - L'assainissement agricole de la Camargue. Bull. ing. Riziculteur de France. 4.3.4.
182. PETIT (G) SCHACHTER 1954. - La Camargue - Etude écologique et touristique - L'année biologique 3ème série. T. 30 Fasc.56.
183. PICARD (Th) 1901. - La Camargue - Etude stratigraphique de la région du Bas-Rhône. Imprimerie générale. Nîmes.
184. POGGI (J.P.) 1955. - Introduction à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale du Rhône entre Beaucaire - St Gilles - Fourques. Université de Montpellier. Inst. de géologie.
185. ——— 1968. - Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale du Rhône entre Beaucaire et Arles. Thèse de 3ème cycle, Montpellier.
186. PONTS ET CHAUSSEES 1956. - Incidence du prélèvement d'eau dans le Rhône par la C.N.A.B.R.L.
187. PORCHET (M) 1930. - Etude des eaux souterraines de la Crau. C.R. Congrès de l'eau en Crau, p.81-172, Sce Agric. PLM. Paris.
188. PREVOT (J.M) 1963. - Etude de la nappe phréatique d'Anglet (Basses Pyrénées). Relation avec les eaux salées de l'océan et de l'Adour - Etude par prospection électrique en surface - Thèse du 3e cycle, Bordeaux.
189. PRUDHOMME (P) 1964. - Nappe de la Crau - Proposition d'étude sur les risques d'intrusion d'eau salée dans la nappe sous l'effet des pompes envisagés Géopétrôle.

190. REPELIN (J) 1930. - Etude géologique et hydrologique de la Crau. Congrès de l'eau en Crau. Marseille, p. 25. Service agricole de la comp. P.L.M.
191. _____ 1930. - Constitution géologique de la Crau. B.S.G.F. (4) XXX p. 971 - 976 .
192. _____ 1931. - Sur la constitution géologique et l'origine de la Crau. C.R.A.S. CXVII, p.236-238 et B.S.G.F. (4) XXX p. 971.
193. _____ 1934. - La Crau - CR VII - Congrès Rhône - Marseille 1933 - Marseille 1934, p. 463 - 471.
194. REVELLE (R) 1941. - Criteria for recognition of sea water in groundwaters - Trans Ammer - géoph. Union No 22 pt. III (Hydrology) p. 593-597 .
195. RICHTER (W) - FLATHE (H) - Scientific co-opération in Studies of groundwater in coastal plains of Deltaic character - UNESCO Nat.Un. water resources Séries N°24.
196. RIVIERE (A) - DUBOUL - RAZAVET (C) 1951. - Sur certains phénomènes d'évolution deltaïque. CRAS - I - 233, p. 186-188.
197. RIVIERE (A) VERNHET (S) 1956. - Sur la pénétration des eaux marines sous les eaux douces dans les embouchures fluviales des mers sans marées C.R.S.C.G.F., p.66-67
198. RUSSEL (R.J) 1942. - Géomorphology of the Rhone delta. Ann. Ass. Amer-géogr. Vol. 32 N°2, p.149-254.
199. RUTTEN (P)-BOUTEYRE(G)-VIGNERON (J) 1963.- Pédogénèse et géomorphologie dans le Bas-Rhône Languedoc. Leurs conséquences agrolologiques. Sc. du sol N°1.
200. S.O.G.R.E.A.H. Basses plaines entre l'Orb et l'Hérault. Rapport.
201. S.O.G.R.E.A.H. 1958. - Salinité du petit Rhône.
202. SANTIING (G) 1962. - Seepage and problem in low aréas. UNESCO water resources séries N° 24.
203. 1962. - Salt water - fresh water relation ships (chap.20) UNESCO water resources séries N° 24.
204. SAVORNIN (Z) 1921. - La Crau - C.R.S.S.G.F. 21.
205. SCHACHTER (D) 1950. - Contribution à l'étude géologique de la Camargue. Ann. Inst. Océanogr. Monaco. t 25 p.1 - 108.
206. _____ 1958. - Nouvelles données sur l'évolution de quelques étangs du delta du Rhône. Colloque sur la Camargue.

207. SCHOLLER (H) 1959. - Hydrogéologie des régions arides. Progrès récents. Paris UNESCO - Recherches sur la zone aride. Vol. XII.
208. SCHOLLER (H) 1960. - Salinité des eaux souterraines, évapotranspiration et alimentation des nappes. A.I.H.S. - HELSINKI.
209. ----- 1962. - Les eaux souterraines - Masson édit.
210. SCHWOBTHALER (J.P.) VOGT (H) 1904.- Aspects de la morphogénèse plio-quadernaire dans le Bas-Rhône occidentale - B.S.G.F. 4ème série IV, p. 205-219.
211. SHANIN (M)-ARNOUT 1966. - Réclamation of the Northern, part of the Nile delta area. Commission int des irrig. et du drainage 6ème Congrès Q. 19. R 15 .
212. SEGEREN (N.A) 1966. - Drainage requirements of newly reclaimed marine clay sediments 6ème - Congrès- inter. irrig. Drainage. R 6-a 21 New - Delhi.
213. SIRIEZ (H) 1967. - Une étude exemplaire sur la Camargue. L'évolution de l'agriculture et l'évolution de l'avifaune.
214. STANDIN (B) 1965. - Etude par prospection électrique dans la région d'Arles. Camargue B.R.G.M. (non diffusé)
215. STRAATEN (M.J.) Dépôts sableux récents du littoral des Pays-Bas et du delta du Rhône.
216. TALLON (G) 1938. - Evolution générale du territoire de la Cappelrière. Actes Res. Zool. Bot. de Camargue. N° 22, p.17-78.
217. ----- 1954. - Influence des digues sur les conditions biologiques et l'évolution de la Camargue. Terre et vie, N°1, p. 49 - 53.
218. ----- 1954. - Transformation de la Camargue par la riziculture. Evolution du Vaccarès. La terre et la vie, p.85-79.
219. ----- 1959. - Les sols alcalins de Camargue et leur végétation. La terre et la vie n° 1.

220. TERMIER (H.) et (G.), 1961. - L'évolution de la lithosphère : vol. III
Glyptogénèse. Masson et Cie. édit. Paris.
221. TISON (L.J.), 1961. - Hydrologie et salinité des eaux souterraines.
In Salinity problems in the arid zones.
UNESCO colloque de Téhéran.
222. TODD (D.K.), 1953. - Envahissement par l'eau de mer dans les nappes
aquifères côtières. Trans. amer. géogr.
34, n° 5 p. 749-754.
223. TODD (D.K.), 1959. - Ground water hydrology. John Wiley. edit.
New-York.
224. TODD, Ground water in deltas of southeast. Asia,
Mississippi and Sacramento. San: Joaquin.
UNESCO. Nations Unies. Water ressources series
n° 24.
225. TODD (D.K.), 1960. - Salt water intrusion of coastal aquifere in
United States. A.I.H.S. Assembléed'Helsinki.
p. 452-461.
226. TRILLARD (J.), 1968. - Précis de géomorphologie - Paris.
227. UNESCO, 1962. - The deltas of the rivers Rhine, Meuse et Scheldt
and their groundwater. Unit. Mat. water ressources
n° 24.
228. UNESCO, 1963. - Possibilities and problems of further develop-
ment of deltaic areas Unit. nat. flood con-
trole ser n° 25.
229. UNESCO, 1963. - The present stage of development of deltaic
areas unt. nat. water ressources ser. n° 25.
230. UNESCO, 1963. - The nature framework, data and information
needed on detaic areas. Unit. nat. flood
controle ser n° 25.
- 231 ZONNEVELD (L.S.), 1923. - Soil formation in deltaic. Unesco. Unit nat.
water ressources. ser. n° 25.
- 232 ZORZI (L.), - REINA (C.), 1964. - Cycle d'évolution de la composition chimique
des eaux souterraines dans certaines situations
hydrogéologiques typiques du bassin de la Médi-
terranée. Bull. AIHS, 9, n° 1, p. 42-52.
- 233 ZURCHER (Ph.), 1920. - Hydrologie de la Crau d'Arles. C.R.S.S.G.F.

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.43