

Les terres de Camargue dans leur environnement

B. Aubert⁽¹⁾, G. Boudet⁽¹⁾, J.-C. Lacassin⁽²⁾, et J.-P. Legros^(1*)

1) Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 10 rue de la Valfère, 34 000 Montpellier, France

2) Société du Canal de Provence, Le Tholonet, CS 70 064, 13 182 Aix-en-Provence Cedex 5, France

* Auteur correspondant : paul-jean.legros@orange.fr

RÉSUMÉ

Au-delà des phénomènes deltaïques qui expliquent leur mise en place, les sols de Camargue ont été fortement remaniés par l'homme : nivellement sur de grandes surfaces, creusement de grands canaux de drainage et d'irrigation, large contrôle du niveau des nappes d'eau. Pour comprendre cette organisation, il faut se tourner vers le passé (crise du phylloxéra au XIX^e siècle, mise en place de l'industrie du sel). Pour imaginer le futur, il faut prendre en compte la très forte pression touristique locale qui représente une compétition pour l'eau douce. La salinisation, largement présente, évolue en fonction des saisons ; elle risque de s'accroître avec l'assèchement du climat. Bref, les sols ne peuvent s'étudier en Camargue sans prise en compte des contextes historique, agronomique, économique et climatique.

Mots-clés

Rhône, La Grande-Motte, Salins-de-Giraud, phylloxéra, Réductisol, Salisol, vigne, riz, sol salé, sol hydromorphe, industrie du sel.

SUMMARY

THE LANDS OF CAMARGUE IN THEIR REGIONAL ENVIRONMENT

Beyond the deltaic phenomena that explain their establishment, the soils of the Camargue have been strongly reworked by man: leveling of large areas, digging of large drainage and irrigation canals, extensive control of the water table. To understand this organization, we must look to the past (phylloxera crisis in the 19th century, establishment of the salt

Comment citer cet article :

Aubert B., Boudet G., Lacassin J.-C. et Legros J.-P., 2023 - Les terres de Camargue dans leur environnement, *Étude et Gestion des Sols*, 30, 263-285

Comment télécharger cet article :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-30/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

industry). To imagine the future, we must take into account the very strong local tourist pressure which represents a competition for fresh water. Salinization, which is widely present, evolves according to the seasons; it is likely to increase with the drying of the climate. In short, soils cannot be studied in the Camargue without taking into account the historical, agronomic, economic and climatic context. (Translated with www.DeepL.com/Translator, free version).

Key-words

Rhône, La Grande-Motte, Salins-de-Giraud, phylloxera, Reductisol, Salisol, vine, rice, salty soil, hydromorphic soil, salt industry.

RESUMEN**LAS TIERRAS DE LA CAMARGUE EN SU ENTORNO REGIONAL**

Además de los fenómenos deltaicos que explican su desarrollo, los suelos de la Camarga han sido fuertemente reelaborados por el hombre: nivelación de amplias zonas, excavación de grandes canales de drenaje y riego, control exhaustivo de la capa freática. Para entender esta organización, hay que mirar al pasado (crisis de la filoxera en el siglo XIX, establecimiento de la industria salinera). Para imaginar el futuro, hay que tener en cuenta la fortísima presión turística local que representa la competencia por el agua dulce. La salinización, ampliamente presente, evoluciona según las estaciones y es probable que aumente a medida que el clima se vaya secando. En resumen, no se pueden estudiar los suelos de la Camarga sin tener en cuenta el contexto histórico, agronómico, económico y climático. (Traducción realizada con la versión gratuita del traductor www.DeepL.com/Translator).

Palabras clave

Rhône, La Grande-Motte, Salins-de-Giraud, phylloxera, Reductisol, Salisol, vid, arroz, suelo salino, suelo hidromorfo, industria de la sal.

INTRODUCTION

En 1953, le film « Crin Blanc » d'Albert Lamorisse faisait découvrir la Camargue à toute la France et même au-delà. Chevaux et taureaux en liberté, lagunes à perte de vue, flamants roses, roseaux couchés par le vent, le pays était justement célébré. En même temps, était véhiculé le mythe d'une nature vierge, complètement sauvegardée. Sans nier l'étrange beauté du lieu, force est de constater que l'homme est derrière tout cela. Par exemple, dans certains étangs, il règle le niveau de l'eau pour que les flamants roses le trouvent à leur convenance. Quant aux sols, ils ont été modifiés sur de grandes surfaces pour être transformés en terres cultivables. Donc, moitié sauvage, moitié domestiquée, la Camargue est en équilibre fragile ; nous allons le montrer. Mais, il ne s'agit pas ici de résumer le magnifique travail fait par le Parc de Camargue, concernant la protection de la faune et de la flore, concernant aussi leur valorisation pour le public et concernant encore la mise en place d'une sorte de surveillance de l'environnement. Nous voulons apporter quelque chose de complémentaire. Nous allons nous intéresser au milieu physique : dans une première partie, nous présenterons les sols sans entrer dans les détails. Dans une seconde partie, nous examinerons les milieux très artificialisés (stations balnéaires, salins). Cela est inhabituel dans une revue de Science du Sol. Mais nous voulons montrer que, même dans une région peu urbanisée, la sauvegarde du milieu naturel et le développement de l'agriculture ne peuvent plus être pensés sans prise en compte du milieu urbain voisin. Dans la troisième partie, nous verrons les problèmes afférents et des pistes pour les résoudre.

Rappelons en introduction quelques éléments de géographie (Figure 1). La Grande Camargue ou Camargue *stricto sensu* est l'espace compris entre les deux bras du Rhône. La Camargue gardoise, encore appelée Petite Camargue, est la zone contiguë vers l'ouest. Elle présente les mêmes sols et les mêmes types de paysages.

La Camargue *sensu stricto* correspond à la feuille pédologique à 1/100000 d'Arles qui a été publiée en 1994 par Guy Bouteyre (Compagnie du Bas-Rhône-Languedoc ou BRL) et Georges Duclos (Société du Canal de Provence) ; (Bouteyre et Duclos, 1994). Elle représente 78 000 ha dont 10 000 ha d'emblavements et rizières, 48 500 ha de pâturages extensifs et 16 500 ha d'étangs. Le reste correspond aux salins, plages, habitations, routes et cours d'eau.

La Petite Camargue est presque entièrement située sur la feuille pédologique à 1/100000 de Montpellier. Cette dernière a été publiée en 1985 par Henri Arnal (BRL).

Ces deux régions naturelles sont bordées à l'ouest par les dépôts du Rhône ancien qui s'étendent jusqu'à l'aéroport de Montpellier (Costières du Gard) et à l'est par les dépôts anciens de la Durance (Crau). Le fleuve Vidourle vient compléter cet ensemble du côté nord en déposant ses limons sur les cailloutis du Rhône et sur les sables marins lors de crues soudaines et violentes : les vidourlades. Sur la figure 1, les étangs côtiers du Languedoc sont représentés mais les innombrables lagunes de Camargue ont été omises, sauf l'immense étang du Vaccarès. En outre, ont été positionnées les agglomérations que nous serons amenés à mentionner. *Remarque : tous les extraits de cartes fournis dans cet article sont normalement présentés le nord en haut ; il ne nous a pas semblé indispensable de le signaler à chaque fois.*

LES MILIEUX NATURELS ET LEURS SOLS

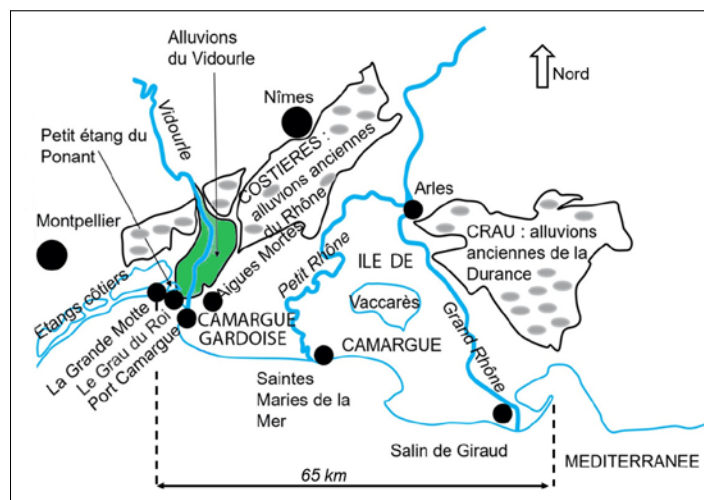
En Camargue, il est commode de distinguer trois milieux naturels principaux (Arnaud-Fassetta et Provansal, 2014) : les alluvions du Rhône, les dunes côtières et les dépressions. Pour chacun, on présentera les sols typiques. Mais il est impossible ici d'entrer dans les détails. En effet, les auteurs des cartes spécialisées distinguent 76 types de sols en Camargue (Bouteyre et Duclos, 1994) et 72 en Petite Camargue (Arnal, 1984) !

Alluvions du Rhône

Quand un fleuve transporte des sédiments, il les dépose partiellement sur le fond de son lit, ce qui le fait monter. Il finit par couler en hauteur sur ce qui est appelé « bourrelet ». Un bon croquis figure à ce sujet dans la notice de la carte géologique du Grau-du-Roi (L'homer *et al.*, 1993 – n°1017). Évidemment, cela se termine par des débordements. Il y a différents cas possibles : (1) après la crue, le fleuve regagne son lit ; (2) il le fait aussi mais après avoir recoupé un

Figure 1 : Configuration fluvio-marine de la Camargue.

Figure 1: Fluvio-marine configuration of the Camargue.



ou plusieurs méandres; (3) il perce une de ses berges mais la fuite d'eau n'est pas considérable et elle se perd dans les terres sans trouver un débouché vers l'aval, ensuite intervient un colmatage progressif; (4) une nouvelle branche du fleuve est créée qui va jusqu'à la mer. En supplément (cas 5), pour assurer la navigabilité locale, l'homme intervient. Il bouche telle passe, ouvre telle autre... En Camargue, les cinq possibilités sont représentées! Les lits abandonnés abondent. Ils sont bien connus localement. On peut les dater (Touzani et Giresse, 2002). Ils s'observent très facilement sur les photographies aériennes. En bref: les paysages du delta ne sont pas figés pour l'éternité.

Pour éviter les divagations catastrophiques capables de tuer le bétail et de noyer les hommes, des digues ont été construites (Langumier et Verdier, 2015). Mais c'est coûteux, et sans avenir prévisible (le Rhône endigué, et donc accéléré, va-t-il recreuser

son lit, ou finalement reprendre son ascension vers le haut et se déplacer à nouveau?).

Dans les cas des crues peu violentes, quand le fleuve se contente de déborder pour un temps, les particules qu'il transporte se déposent en fonction de leur taille et en relation avec la force du courant. Les sables restent sur les berges du fleuve, les limons s'éloignent un peu, les argiles sédimentent encore plus loin (Figure 2). Dans le cas de la Camargue, on a même pu établir une courbe liant la teneur en sable des sédiments avec la distance au fleuve (Touzani et Giresse, 2002).

Les sols de ces bourrelets du Rhône sont tous profonds, gris, calcaires, riches en particules de tailles intermédiaires (limons). Un exemple est donné (Tableau 1). Notons que dans tous les tableaux qui suivent « P. » signifie « Profil » et « U.C. » signifie « Unité Cartographique ». La numérotation correspond à celle des notices des cartes de sols citées.

Figure 2 : Extrait de la carte à 1/100 000 de Bouteyre et Duclos (1994 ; Arles).

Figure 2: Extract from the 1/100,000 map by Bouteyre and Duclos (1994; Arles).

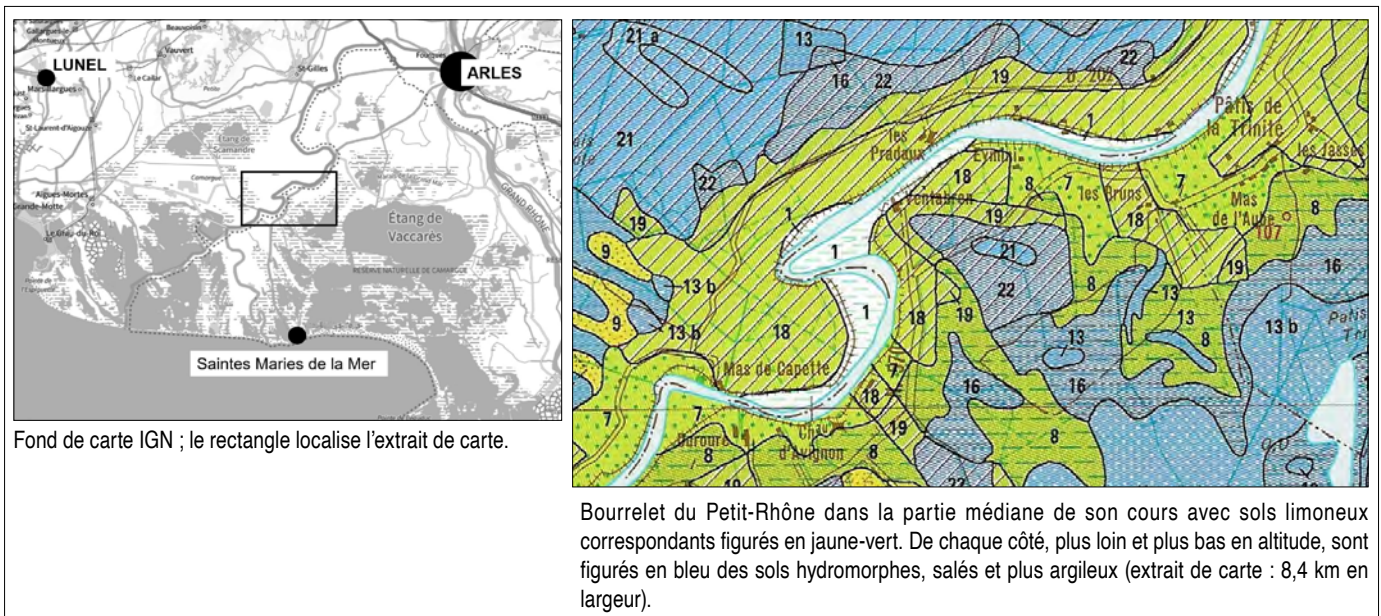


Tableau 1 : Sol des Bourrelets du Rhône (P. n°96, U.C. n°7 de 6800 ha, feuille d'Arles), (Bouteyre et Duclos, 1994).

Table 1: Soil of the Rhône alluvial ridge (P. n°96, U.C. n°7 of 6800 ha, feuille d'Arles), (Bouteyre and Duclos, 1994).

Pr./U.C	Profondeur		Granulométrie %					Tex	MO %	C %	N %	C/N	pH eau	CaCO ₃ % tot /act.		Cat. Ech. mé/100g				CEC mé/100g	Na/CEC %	
	cm		Sg	Sf	Lg	Lf	A							Ca	Mg	K	Na					
96 / 7	0	15	1	31	32	25	10	Las	1,4	0,8	0,1	10,1	8,1	29	6	5,1	1,4	0,3	0,2	7,0	2,9	
	15	45	1	21	31	34	15	Las	1,3	0,8	0,1	10,0	8,2	28	8	5,8	1,6	0,3	0,3	8,0	3,8	
	45	90	1	10	34	40	15	L					8,4	32	10	4,5	3,7	0,2	0,3	8,7	3,4	
	90	130	1	2	14	51	31	Al					8,9	22	10	6,4	7,9	0,6	2,5	17,4	14,4	
Nappe	95																					

Mais suivant les cas ces sols sont sains, ou bien soumis à un excès d'eau en profondeur (nappe) avec ou non présence de sels. En conséquence, les auteurs, ci-dessus cités, de la carte des sols de la feuille d'Arles au 1/100 000^e les divisent en plusieurs types qu'il n'est pas dans notre objectif de présenter ici un par un. Au total, les sols sur matériaux rhodaniens représentent environ 15 000 ha sur la feuille d'Arles. La *photo 1* en présente un qui est affecté par l'excès d'eau en profondeur.

Au total, les sols apportés par le Rhône sont de bonne qualité agricole. D'une part leur texture est assez fine (cf. colonnes granulométrie dans les *tableau 1* et *photo 2*). D'autre part, ils contiennent de 20 à 30 % de carbonate de calcium ce qui est intéressant dans un contexte de désalinisation. Nous y reviendrons.

L'insecte phylloxéra (apparenté aux pucerons) a attaqué la vigne, après 1865, à partir d'un foyer primitif d'invasion situé à Saint-Martin-de-Crau, dans les Bouches-du-Rhône, en lisière même de la Camargue. Ses larves et adultes vivent principalement sur les racines et tuent en deux ou trois ans le cep infesté. Toutes sortes de moyens de lutte ont été expérimentés,

Photo 1 : Un sol des bourrelets alluviaux du Rhône en Camargue : limoneux, alluvial, réductique ; cliché J.-C. Lacassin (11/02/2004).

Photo 1: A soil of the alluvial rims of the Rhône in the Camargue: silty, alluvial, with gleyic properties; photo J.-C. Lacassin (11/02/2004).



Photo 2 : Les sols des bourrelets du Rhône en Camargue, chaume de riz ; cliché J.-P. Legros, 2016.

Photo 2: The soils of the Rhône ridge in the Camargue, rice stubble; photo by J.-P. Legros, 2016.



souvent en vain. Mais, dès 1868, le docteur Frédéric Seigle de Nîmes s'est aperçu, dans sa propriété, que l'on pouvait noyer l'ennemi en submergeant les vignes l'hiver pendant plusieurs semaines au moment où la plante est en vie ralentie et peut supporter ce traitement. Louis Faucon, propriétaire dans les Bouches-du-Rhône, a développé le procédé et a publié un ouvrage sur la question en 1874. Pour appliquer la submersion, il faut des terrains plats, assez gras pour que l'eau soit retenue et disposer à proximité d'eau douce en quantité considérable. Les bourrelets des bras du Rhône convenaient donc en Camargue après quelques travaux de nivellement. En plus, localement, on savait pratiquer la submersion. En effet, la culture du riz était présente là depuis le XVI^e siècle avec des résultats plus ou moins favorables car certains riziculteurs se sont ruinés. Au contraire, dans un contexte de crise où le vin manquait, on obtenait là jusqu'à 200 hectolitres à l'hectare avec la vigne conduite en submersion ! C'était d'autant plus attirant qu'à l'époque peu de périmètres convenaient en France à ce type de pratique. Mais le procédé coûtait extrêmement cher car les pompes nécessaires étaient énormes et fonctionnaient au charbon et à la vapeur. La submersion ne s'imposa plus dès lors que les variétés françaises de vignes furent greffées sur pieds américains résistants à l'insecte. Donc, elle a rapidement été abandonnée.

Le riz est revenu sur ces parcelles organisées pour permettre une mise en eau facile. La surface totale correspondante est actuellement de l'ordre de 16 000 ha. Son irrigation consomme annuellement plusieurs centaines de millions de mètres cubes d'eau. Cela est même monté jusqu'à 500 millions environ lorsque la surface rizicole était à son maximum soit 32 000 ha en 1950 (Boudet, 2010). Si on fait la division de la consommation par la surface, on est un peu étonné : environ 15 000 m³ par ha de riz soit 1 500 mm ! Et ce chiffre est peut-être en dessous de la

réalité (Heurteaux, 1961). En effet, certaines estimations vont jusqu'à une consommation de 40 000 m³ par ha de rizière. Cela s'explique principalement par des pertes (irrigation par fossés et terrains localement un peu trop perméables). Intervient aussi, sans doute, le manque de parcimonie des exploitants (utilisation d'eau très bon marché car extraite dans le Rhône avec des pompes maintenant électriques). Ces chiffres considérables sont en quelque sorte validés par les systèmes de pompage des eaux de drainage. Ils évacuent effectivement des centaines de millions de mètres cubes. Tout cela retentit sur l'hydrologie camarguaise. L'été les bourrelets du Rhône cultivés en rizières présentent une nappe d'eau affleurante tandis que les dépressions voisines, non cultivées, sont asséchées par le vent. L'hiver c'est le contraire. L'eau abandonne les points hauts non irrigués et submerge les dépressions (Heurteaux, 1961 ; Jean et Toni, 1974).

La rentabilité du riz est discutable. Les surfaces rizicoles de Camargue fluctuent en fonction des cours internationaux de cette céréale. Mais on ne sait pas se passer du riz si on veut dessaler les terres, entre deux cultures de blé. Les cartes montrent la grande correspondance entre la localisation des rizières et la position des bourrelets alluviaux du Rhône.

Avant de quitter le domaine purement alluvial, disons quelques mots du Vidourle (8 types de sols répertoriés). Résumons : tout comme le Rhône, ce cours d'eau a été exhaussé par ses propres apports. Ses alluvions sont des limons jaunâtres fortement calcaires. Saines à proximité du cours d'eau, elles sont de plus en plus hydromorphes et de plus en plus salées avec une nappe de moins en moins profonde quand on s'éloigne de ce petit fleuve vers le sud-est ou le nord-ouest (Figure 3).

Figure 3 : Extrait de la carte à 1/100 000 de Montpellier (Arnal, 1984).
Figure 3: Extract from the 1:100,000 map of Montpellier (Arnal, 1984).

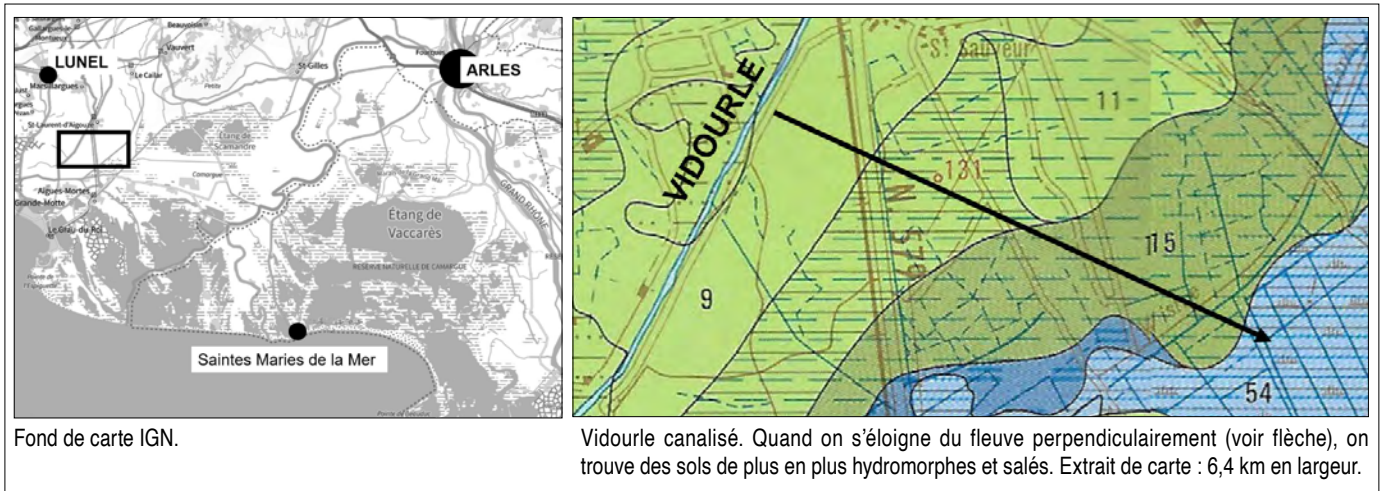
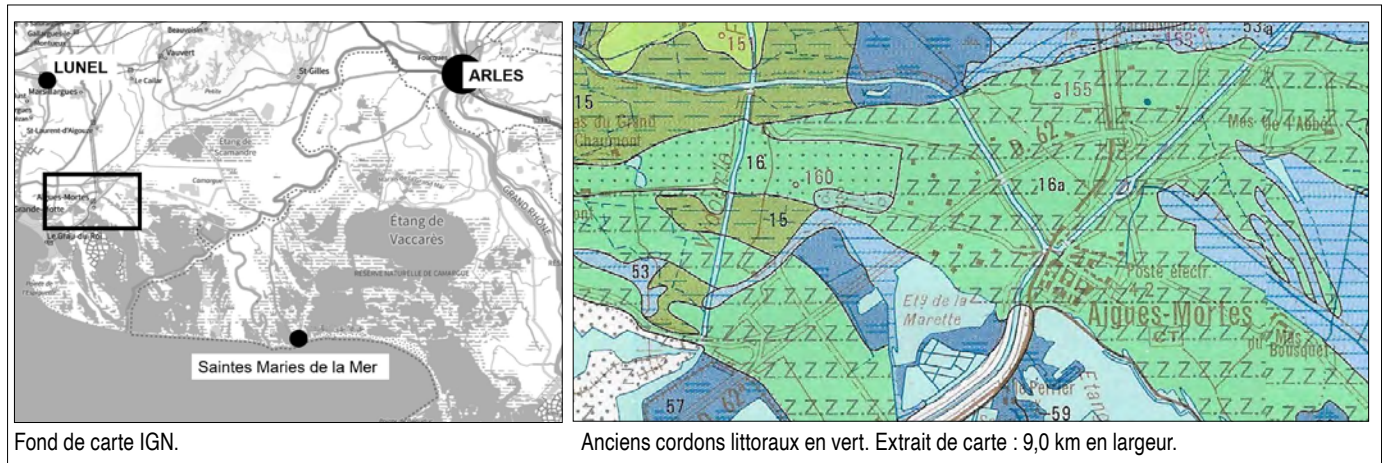


Figure 4 : Extrait de la carte à 1/100 000 de Montpellier (Arnal, 1984).
Figure 4: Extract from the 1:100,000 map of Montpellier (Arnal, 1984).



Cordons maritimes (dunes, montilles)

Les cordons maritimes correspondent aux sables jaunâtres amenés par la mer et remaniés en dunes par le vent. Il y en a quatre principaux disposés en éventail et en même temps plus ou moins parallèles à la côte : ils se distinguent à l'est et se rejoignent à l'ouest vers le Grau du Roi (Figure 4). Ils ont été datés par diverses méthodes (Bazile, 1975 ; Archambault-Guézou, 1982). Leur âge est compris entre -7000 BP et l'époque actuelle. Mais c'est seulement au bord de la mer, en particulier du côté de la plage de l'Espiguette, que les dunes ont encore leur allure initiale (Photo 3). Elles culminent alors à 13 m et sont peu ou pas fixées. Dans quelques endroits, elles portent des pins parasols.

En arrière de la plage, elles ont été nivelées sur des surfaces considérables pour permettre l'agriculture. L'altitude actuelle de ces cordons dunaires aplanis est voisine de 2 m, entre 1 et 3 m en fait.

La figure 4 montre trois des quatre anciens cordons littoraux séparés par des étangs. Ils sont représentés en vert tendre. Ils se rejoignent à l'ouest. Le quatrième, le plus récent, n'est pas visible sur cet extrait de carte. Le cinquième correspond à la plage actuelle.

Sur ces matériaux, les sols ont partout les mêmes caractéristiques physiques. Ils sont profonds, très sableux avec des grains compris entre 0,1 et 0,5 mm. Ils sont calcaires et présentent parfois en profondeur des encroûtements carbonatés. Leur teneur en calcaire actif est faible en général et ne gêne pas la végétation. Ils sont peu fertiles car ils n'ont pas de fraction fine et donc pas la possibilité de retenir eau et éléments minéraux. Ils sont utilisés en vigne ou pour l'asperge.

Sur les dunes encore en place, les sols sont secs l'été, humides en hiver, peu ou pas salés. Un exemple est donné (Tableau 2).

Dans les zones les plus basses des dunes aplanies, la nappe est présente à plus ou moins grande profondeur. Et elle est largement salée.

Il nous faut revenir au phylloxéra. Lorsqu'il a attaqué la vigne, un propriétaire d'Aigues-Mortes, Charles Bayle (on ne sait rien de lui), aurait été le premier à établir en 1873 que l'insecte ne survivait pas dans les sables. Il y planta donc quelques vignes, dans des zones exondées. À la même époque, Sylvain

Photo 3 : Dune côtière ; cliché J.-P. Legros, 2008.

Photo 3 : Coastal dune; photo by J.-P. Legros, 2008.



Espitalier, à l'origine négociant à Cette (Sète), était propriétaire du mas du Roy, en Camargue au bord du Petit Rhône. D'après Eugène Risler, directeur de l'Institut Agronomique de Paris, Monsieur Espitalier aurait observé des « taches salées qui déshonoraient ses plus belles terres » (Risler, 1884 à 1897). Cela correspondait sans doute à des dépressions. Pour les combler, le propriétaire fit charrier du sable pris dans les dunes. Ainsi découvrit-il aussi que l'insecte n'attaquait pas les racines des vignes installées dans ces matériaux. Un immense engouement est donc apparu pour les terrains sableux du bord de mer. Ils se sont alors négociés à des prix importants et couverts de vignes après nivellement.

Pour que l'insecte ne puisse pas constituer des tunnels sous la terre et se déplacer ainsi d'une souche à l'autre pour répandre l'infestation, il faut que le sable soit presque pur. Plus précisément, il faut qu'au très grand maximum 10 à 15 % des particules du sol ne soient pas des sables (Denis Boubals in Legros, 2012).

Il est curieux d'observer qu'en Camargue, d'une part des terrains riches en éléments fins, traités en submersion, et d'autre

Tableau 2 : Sol des cordons maritimes (P. 180, U.C. 9, feuille d'Arles), (Bouteyre et Duclos, 1994).

Table 2: Soil of the maritime cordons (P. 180, U.C. 9, Arles sheet), (Bouteyre and Duclos, 1994).

Pr/U.C	Profondeur cm		Granulométrie %					Tex	MO %	C %	N %	C/N	pH eau	CaCO ₃		Cat. Ech. mé/100g				CEC mé/100g	Na/CEC %
			Sg	Sf	Lg	Lf	A							% tot /act.	Ca	Mg	K	Na			
P 180	0	15	38	54	2	3	1	SS	1,0	0,6	0,1	7,0	8,8	16	1	4,2	2,9	0,5	0,4	8,0	5,0
	15	50	39	53	3	3	1	SS	0,6	0,4	0,1	7,0	9,0	17	1	2,3	1,3	0,3	0,4	4,2	7,0
UC 9	50	120	40	53	3	2	1	SS						19	2	2,0	1,4	0,3	0,3	4,0	8,0

Photos 4 et 5 : Même sol très sableux et calcaire en partie basse des cordons maritimes d'origine marine et éolienne. A gauche sec en période sèche (20/04/2017) situation normale en été ; à droite présence d'une nappe proche de la surface (20/04/2004) situation normale en hiver ; clichés J.-C. Lacassin.

Photo 4 and 5: Same very sandy and calcareous soil in the lower part of the maritime cordons of marine and wind origin. On the left, dry (20/04/2017) normal situation in summer; on the right, presence of a water table near the surface (22/04/2004) normal situation in winter; photos by J.-C. Lacassin.



part des terrains extrêmement pauvres en ces mêmes éléments, furent utilisés conjointement pour lutter contre le phylloxéra !

Aplanissement des terres, installation de vignobles, submersions avec pompes à vapeur, tout cela coûtait extrêmement cher vers 1880. La Camargue a été rachetée par des personnes ou des compagnies disposant de gros capitaux. Elle fut alors, et demeure encore, le lieu de grandes propriétés.

Le vignoble des sables a perduré alors même que les plants de vignes utilisés à partir de la fin du XIX^e siècle étaient greffés sur pieds américains résistants. Les terrains sableux n'étaient plus aussi indispensables. Mais persistait l'impulsion initialement donnée à ce vignoble fournissant des rosés légers. En particulier, le plus grand domaine viticole du secteur est Listel, créé à l'époque du phylloxéra, en 1883. Propriété de la Compagnie des Salins du Midi entre 1970 et 1994, il n'a pas manqué de moyens financiers pour que ses 1 700 ha de vignes soient au top niveau des techniques viticoles et vinicoles. On peut dire qu'en Camargue la culture du sel (nous y reviendrons plus loin) a grandement facilité la culture de la vigne !

En plus, les Salins du Midi, l'INRA et différents organismes professionnels ont installé des collections de vigne dans ces terrains-là (Domaine de l'Espiguette en Camargue, de Vassal à Sète, de Pech Rouge à Gruissan...). En effet, pour la recherche, il est parfois intéressant de maintenir des variétés non greffées. Et les sables ont un autre intérêt : les nématodes

ne s'y développent pas. Or, eux aussi sont des ennemis de la vigne. Il n'empêche que le vignoble des sables est actuellement en légère régression.

La carte géologique d'une part et la carte qui présente l'appellation « Vignoble des sables » d'autre part, montrent bien ce lien entre terroir et milieu dunaire sableux.

Domaines palustre et lagunaire (dépressions humides)

Au cas par cas, il est possible de déterminer au laboratoire si un matériau est d'origine fluviatile ou marine en examinant la nature des sables et celle des organismes inclus. Mais cela est difficile sur le terrain car les sols des dépressions sont souvent sombres, gorgés d'eau et argileux. En plus, dans un même profil, alternent souvent des horizons fluviatiles et marins superposés. Dans ce contexte, les sols sont différenciés sur d'autres critères.

Les auteurs de la carte de Montpellier distinguent 10 types de sols dans les dépressions (*Figure 5*) en se basant sur leur degré d'hydromorphie et de salinité. Les auteurs de la carte de la feuille d'Arles séparent 11 types ou sous-types de sols dans le même environnement en distinguant un peu moins de gradients de salinité et d'hydromorphie mais en tenant compte aussi des textures.

Figure 5 : Extrait de la carte des sols d'Arles à 1/100 000 (Bouteyre et Duclos, 1994), partie nord du delta, entre les deux Rhône.

Figure 5: Extract from the soil map of Arles at 1/100 000 (Bouteyre and Duclos, 1994), northern part of the delta, between the two Rhône.

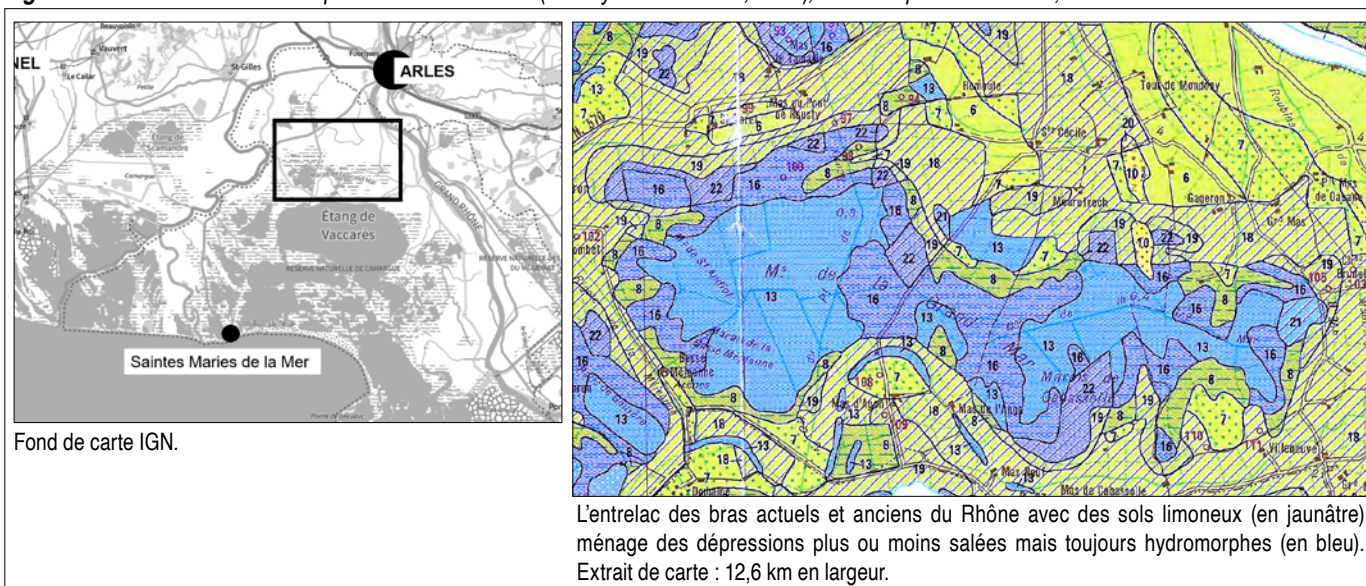


Tableau 3 : Sol du domaine palustre peu salé (P. 172, U.C. 13 a, feuille d'Arles) (Bouteyre et Duclos, 1994).

Table 3: Soil of the palustrine domain with little salt (P. 172, U.C. 13 a, feuille d'Arles) (Bouteyre and Duclos, 1994).

Pr./U.C	Profondeur cm		Granulométrie %					Tex	MO %	C %	N %	C/N	pH eau	CaCO ₃		Cat. Ech. mé/100g				CEC mé/100g	Na/CEC %
			Sg	Sf	Lg	Lf	A							% tot /act.	Ca	Mg	K	Na			
P. 172	0	10	2	7	13	39	38	A	8,8	5,1	0,5	9,5	8,3	26	19	5,2	9,8	1,5	3,0	22,5	13,3
	10	40	1	2	17	36	44	A	3,7	2,2	0,3	7,4	8,6	28	16	7,2	6,5	0,9	2,8	17,4	16,1
UC 13a	40	70	1	2	13	34	50	A	2,8	1,6	0,2	8,9	8,6	20	14	7,3	7,9	0,7	1,8	17,7	10,2
	70	115	1	1	19	33	47	A					8,7	37	26	8,2	8,0	0,7	1,5	18,4	8,2
Nappe	à 10																				

Le premier exemple donné ici (Tableau 3) intéresse la partie nord du delta. Il est peu salé et est saturé d'eau douce presque en surface. Il est colonisé par les roseaux (phragmites). (Photo 6)

Les auteurs de la carte à 1/100 000 qualifient les sols correspondants comme « hydromorphes » mais aussi comme « minéraux » ce qui ne paraît pas juste. En effet, ils sont riches en matière organique comme on peut le vérifier en examinant une par une les analyses de tous les profils de l'unité. Avec le Référentiel pédologique de 2008 on obtiendrait probablement un classement dans les « Thalassosols humifères » ce qui veut dire sol peu évolué d'origine marine ou fluvio-marine et riche en matière organique. Mais G. Bouteyre et G. Duclos ont publié leur notice en 1994 alors que la première version du Référentiel venait tout juste d'être élaborée et distribuée. Surtout, leurs levés de terrain étaient bien

Photo 6 : Zone humide peu salée à phragmites ; cliché J.-P. Legros, 2021.

Photo 6: Low-salinity wetland with phragmites; photo by J.-P. Legros, 2021.



Tableau 4 : Sol du domaine lagunaire salé (P. 146, U.C. 17, 6200 ha, feuille d'Arles) (Bouteyre et Duclos, 1994).**Table 4**: Soil of the salty lagoon area (P. 146, U.C. 17, 6200 ha, sheet of Arles) (Bouteyre and Duclos, 1994).

Pr./U.C	Profondeur cm		Granulométrie %					Tex	MO %	C %	N %	C/N	pH eau	CaCO ₃		Cat. Ech. mé/100g				CEC mé/100g	Na/CEC %
			Sg	Sf	Lg	Lf	A							% tot /act.	Ca	Mg	K	Na			
P. 146	0	10	3	9	25	31	32	Al	1,7	1,0	0,1	8,8	8,7	36	20	6,0	4,1	0,9	5,3	16,3	32,5
	10	45	3	5	20	39	33	Al	1,2	0,7	0,1	10,1	8,9	34	16	5,6	3,4	0,9	5,4	15,3	35,3
UC 17	45	125	21	66	3	4	5	SS					8,8	23	7	0,1	0,3	0,1	0,5	1,0	50,0
Nappe	10																				

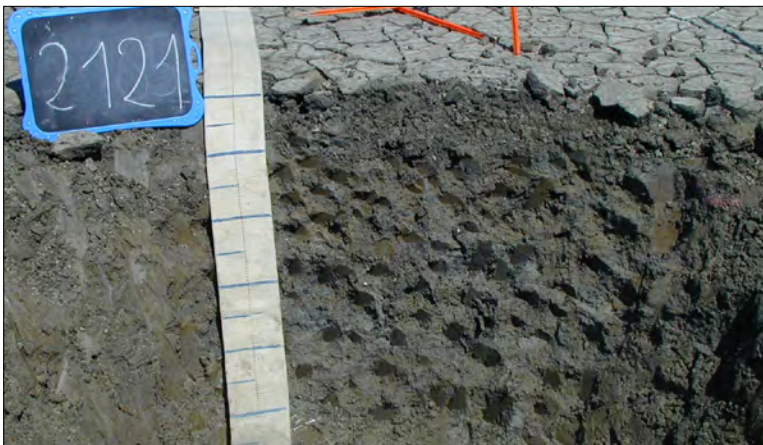
Photo 7 : Dépression avec polygonaion visible et efflorescences salées (salant blanc) des sansouïres à salicornes ; cliché J.-P. Legros, Juin 2005.

Photo 7: Depression with visible polygonation and salt efflorescences of salt marshes with salicornia; cliché J.-P. Legros, June 2005.



Photo 8 : Profil dans une sansouïre à salicornes. On remarque les reflets rougeâtres (excès d'eau), l'aspect compacté (salinité ou plutôt sodicité), et la polygonaion de surface ; cliché J.-C. Lacassin (27/04/2004).

Photo 8: Profile in a sansouïre with salicornia. Note the reddish reflections (excess of water), the compacted aspect (salinity or rather sodicity), and the surface polygonation; photo by J.-C. Lacassin (April 27, 2004).



antérieurs! Ils avaient même débuté en 1957. Il était donc difficile pour eux de les transcrire dans le nouveau système de dénomination. Bref, les auteurs ont utilisé la classification CPCS de 1967. Or celle-ci, attentivement relue concernant les sols « peu évolués », ne permet pas un classement convenable de ce qu'ils ont observé.

Dans ces dépressions, on trouve donc ici ou là des horizons assez fortement organiques. Mais c'est seulement à l'est de la Camargue qu'on observe des profils entièrement tourbeux dans un milieu particulier: les sorties d'eau au pied du talus que constitue la Crau laquelle domine à l'est le delta du Rhône.

Le second exemple donné ici est celui d'un sol salin à hydromorphie de surface, caractéristique des sansouïres (espaces à salicornes) dans une dépression du sud du delta (Tableau 4).

On remarque, dans les analyses de ce profil, la très forte teneur en éléments fins au moins en surface, la sodicité (rapport élevé de Na/CEC), le pH élevé mais aussi la forte proportion de carbonate de calcium qui aide à retrouver une structure convenable quand les sols ont été lavés par des eaux douces qui provoquent à la fois défloculation des argiles et compaction. Les photos 7 et 8 sont très caractéristiques de ce type de sol.

Tout ce qui vient d'être dit permet d'insister sur un point essentiel: le delta du Rhône est récent et postérieur à la dernière glaciation; il est constamment remanié. Il ne faut donc pas s'attendre à y observer des sols fortement différenciés dans le sens vertical. Lorsqu'on trouve des profils aux horizons contrastés (hydromorphie mise à part), c'est le résultat de la superposition de matériaux différents.

Tentons une synthèse concernant ces sols des zones basses de Camargue. Au total, ils ont les caractéristiques suivantes:

- texture fine (limons et argiles) mais des passées sableuses sont possibles,
- nappe permanente à faible profondeur et parfois en surface (submersion),
- caractères de réduction (gley),

- présence locale de niveaux plus ou moins tourbeux noirs au sein du sol,
- présence de carbonate de calcium en plus ou moins forte proportion, parfois légère redistribution (amas friables, pseudo-mycéliums); le taux de calcaire actif est important.
- salinité très variable,
- teneurs en matière organique comprises entre 2 et 14 %.

Répartition de la salinité

Les cartographes sont tenus de rendre compte de la salinité des sols puisque c'est un caractère agronomique essentiel. En réalité l'exercice est difficile car en Camargue elle est éminemment variable non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. Il suffit d'une vidourlade pour qu'elle diminue instantanément ou d'un été sec pour qu'elle augmente fortement. Donc, on se contentera d'indiquer ici son origine et quels facteurs la font varier.

La Camargue reposant sur des dépôts rhodaniens grossiers, la salinité a principalement comme origine une nappe salée (biseau salé) qui affecte au moins la moitié sud du delta (de Montety, 2008). En outre, les eaux marines sont lourdes et visqueuses (33 g/l, à l'embouchure du Rhône). Lors du débit d'étiage, à l'estuaire, les faibles volumes d'eau douce charriés par les bras du fleuve s'écoulent au-dessus de l'eau de mer qui occupe le fond des lits, ce qui peut paraître étonnant. Pour le Grand Rhône, l'eau salée peut même remonter jusqu'au seuil de Terrin soit 30 km en amont de l'embouchure, obligeant à utiliser des pompes flottantes pour éviter les prélèvements d'eau d'irrigation dans le fond salé. Concernant le Petit Rhône, le coin salé remonte au-delà de Silveréal, à plus de 16 km. À noter que le fond du lit du Rhône à Beaucaire se situe au niveau zéro NGF. C'est-à-dire qu'à débit nul du Grand Rhône, la mer pourrait théoriquement venir jusque-là.

Plus encore, si on traque l'ion chlore, on observe qu'il est présent jusqu'en Arles (Griole, 1976). Il n'empêche que, la salinité venant de la mer, diminue globalement vers le nord de la Camargue où interviennent les eaux douces du Rhône et du Vidourle.

La salinité diminue aussi avec l'altitude. En dessous de 0,5 m les sols restent salés avec une végétation spécialisée, en particulier des salicornes dont il existe différentes espèces. Vers un mètre d'altitude, on peut installer des cultures sans trop de problèmes. Au-delà, vers 1,5 ou 2 m, les pins s'implantent spontanément, par exemple sur les quelques dunes qui n'ont pas été arasées en Petite Camargue. Toutefois, l'altitude ne protège parfaitement du sel que dans les sables. Quand il y a des particules fines dans le sol, l'eau remonte par capillarité. Des taches de sels apparaissent localement.

Dans le détail, la salinité varie avec les saisons. L'hiver, il pleut beaucoup; l'eau de pluie pénètre dans le sol si bien que la salinité diminue en surface et est rejetée en profondeur par une

sorte d'effet piston. En été, c'est le contraire: le sel remonte par suite de l'évaporation et de la forte consommation d'eau par les plantes qui transpirent. Cela a été étudié par Jean Servant de l'INRA-Montpellier, dans sa thèse (Servant, 1975).

La salinité varie aussi dans l'espace, à courte distance, avec le relief local. Pour les milieux naturels fluvio-palustres, on dispose du travail de Jean-Jacques Corre, du CNRS Montpellier (Corre, 1976). Il a installé des piézomètres lui permettant de prélever l'eau et de mesurer sa salinité à différentes profondeurs sur une ligne allant d'un bas-fond à une dune. Cela a duré plusieurs années et il en a tiré de nombreuses courbes qui permettent de distinguer la situation en hiver et en été. En hiver, période pluvieuse, le niveau de l'eau monte, seule la dune n'est pas submergée. La salinité est faible à la surface des sols et elle s'accroît à peu près partout de la même façon avec la profondeur. À la fin de l'été, la salinité est encore limitée en bas de pente car la submersion par l'eau douce, ou peu salée, y a été plus longue et la période sèche plus courte. Sous la dune, elle est faible, en été comme en hiver, sans doute parce que l'épaisseur des terrains au-dessus de la nappe est telle que l'évapotranspiration est limitée. En conséquence, les taches de sel caractéristiques d'une salinité élevée sont situées à mi-chemin entre le haut et le bas des pentes. Vues de dessus, elles apparaissent en auréole autour des points hauts du paysage. On observe facilement cela sur les photographies aériennes quand elles ont été prises en été par temps sec (Google Earth) (*Photo 9*).

Cette organisation a été retrouvée et décrite par les auteurs de la carte des sols d'Arles à l'échelle du 1/100 000^e (Bouteyre et Duclos, 1994).

Le dessalement des rizières provoque le déplacement du sel vers le bas ou latéralement et pas son élimination du milieu chaque fois que le système de drainage est imparfait. Les prélèvements faits dans les nappes, latéralement aux rizières, ont révélé une salinité qui a atteint 70 g/l soit deux fois la concentration de l'eau de mer (Heurteaux, 1961). Le maximum mesuré atteint même 109 g de NaCl par litre sous salicornes (*ibidem*).

Reste à dire un mot sur le type de salinité (Legros, 2007; 2009). Dans des eaux largement d'origine marine, les ions Cl⁻ et Na⁺ sont abondants. Ils cristallisent à la surface des sols sous forme de taches blanchâtres de chlorure de sodium. C'est le « salant blanc » des photos 7 et 9. Il domine en Camargue. Il correspond à des Salisols carbonatés (Référentiel pédologique) ou Solonchaks (Classification WRB). Mais il peut arriver localement qu'il y ait un excès de sodium ne trouvant à s'apparier qu'avec les carbonates issus de la dissolution dans l'eau du gaz carbonique de l'air. On obtient alors du carbonate de sodium Na₂CO₃ qui est un sel d'acide faible et de base forte comme on disait antérieurement. Le pH peut alors monter jusqu'à 13. La matière organique est dissoute et noircit les sels à la surface du sol. C'est le « salant noir ». Il est rare et fugace en Camargue. Il faudrait qu'il persiste à longueur de siècles pour que les

Photo 9 : Apparition de taches de sel à mi-distance entre les bourrelets du Rhône et les dépressions humides ; cliché Google Earth du 10/09/2010.

Photo 9: Appearance of salt patches at mid-height between Rhone bulges and wet depressions; Google Earth snapshot of 10/09/2010.



argiles se dégradent et que les sols évoluent. On obtiendrait des Sodosols (Référentiel Pédologique) et Solonetz (Classification WRB).

Résumé

Pour résumer cet examen des types de sols, notons d'abord le caractère contrasté des textures. En Camargue se côtoient les sols très argileux des dépressions, les sols très limoneux des apports du Rhône, les sols très sableux des cordons littoraux. Par ailleurs, il faut souligner la présence permanente d'eau dans les profils. L'été, il flotte dans l'air, par temps calme, une très légère odeur putride caractéristique. Certains vont même jusqu'à l'aimer! Il s'agit d'exhalaisons d'hydrogène sulfuré, H_2S , provenant de la réduction des ions SO_4^{2-} par les microorganismes. Or, la géochimie nous apprend que les sulfates, difficiles à réduire, sont exploités après les nitrates (émanations gazeuses) et après les oxydes de fer (disparition de la couleur rouille). Il y a donc, au moins en été, une forte anoxie du milieu. Localement, il est même arrivé à des pédologues de sentir de très fortes odeurs d' H_2S et de subir des picotements oculaires. Mais à ce niveau-là, c'est exceptionnel. Enfin, nous

l'avons vu, la présence du sel est générale, même si les quantités sont fort variables dans le temps et l'espace.

LES MILIEUX ARTIFICIALISES

En Camargue, les milieux artificialisés correspondent à l'étang du Ponant, aux nombreuses stations touristiques, enfin aux différents salins.

L'étang du Ponant et ses sédiments

La côte languedocienne est caractérisée par une série d'étangs qui ont été séparés de la mer par des cordons sableux apportés par des courants côtiers circulant essentiellement d'est en ouest, même si des contre-courants interviennent localement.

Dans ce contexte géographique, la présence de l'étang du Ponant n'étonne pas. Il n'est qu'une surface mouillée de plus. Pourtant, il est largement artificiel. En effet, au cours du temps, il a été presque comblé par les alluvions limoneuses du Vidourle au point d'être à sec en été. Il contenait donc des sédiments de bonne qualité. Sur 280 ha, il a été recreusé sur quatre mètres

de profondeur pour obtenir les matériaux nécessaires à la surrection de l'espace qui allait servir à l'établissement de la ville de la Grande Motte. Là, à la place de la future agglomération, il n'y avait que des dunes. Après arasement, le niveau obtenu était trop faible. Les sédiments du Ponant ont permis un rehaussement important au point d'atteindre à la Grande Motte une cote moyenne de +2,35 m environ.

Restait un problème. Au contact de la mer, dans le port de plaisance par exemple, les matériaux nouvellement empilés auraient pu s'éroder rapidement. On a donc installé des dalles de béton de parement positionnées plus ou moins verticalement. Pour les faire tenir, on a utilisé la technique de la « terre armée » (Figure 6).

De longs rubans d'acier ont été disposés horizontalement et à plusieurs niveaux dans le remblai que l'on était en train de constituer. Quand les rubans sont suffisamment longs, les frottements avec les sédiments sont tels qu'il est possible de leur attacher en bout des plaques de bétons sans que le dispositif bouge. C'est comparable aux pieux qui supportent Venise mais dans un cas le dispositif est vertical et dans l'autre horizontal.

Les stations touristiques

Les premiers mas de Camargue, dispersés, ont été installés dans des espaces intéressants la riziculture, la culture de la vigne (à l'époque du phylloxéra) ou encore l'élevage extensif du bétail et des chevaux. La nature du sol a donc chaque fois été prise en compte. Il en va tout autrement des stations de pêche et des stations balnéaires pour lesquelles seule la proximité de la mer a de l'intérêt. Or, la côte, languedocienne et camarguaise, est sableuse pour l'essentiel. Ainsi, les développements urbain et touristique ont-ils pu se faire sans grand dommage pour les sols agricoles. Mais c'est le résultat du hasard : si au bord de l'eau les sols avaient été meilleurs, ils auraient été pareillement mangés par l'urbanisation !

La ville d'Aigues-Mortes

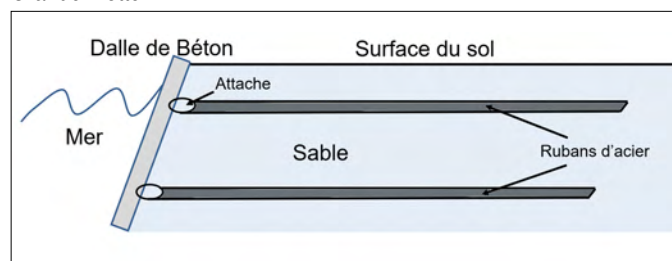
Primitivement enfermée dans ses remparts, la ville d'Aigues-Mortes déborde maintenant. Des quartiers neufs se développent dans des zones que la proximité des murailles de la ville ancienne et autres monuments classés ne protège pas de l'urbanisation. Il s'agit encore de sables. La population a doublé depuis le XIX^e siècle : on est monté de 4 000 habitants à plus de 8000. Les remparts, qui sont accessibles contre paiement, voient passer de l'ordre de 200 000 visiteurs par an. Autrement dit, ceux qui visitent gratuitement la ville sont beaucoup plus nombreux.

Le Grau-du-Roi

Le Grau-du-Roi a gardé son caractère de vieux village de pêcheurs. Coincé entre mer et étang, il s'est développé en longueur sur le lido sableux, en particulier vers l'est. C'est la

Figure 6 : Technique de la « terre armée » telle qu'utilisée dans les sables de la Grande Motte.

Figure 6: « *Armed earth* » technique as used in the sands of La Grande Motte.



station touristique de Port Camargue. Celle-ci est rattachée au Grau-du-Roi et ne constitue pas une commune indépendante. Au total la population permanente de cet ensemble est passée de 1 000 habitants à la fin du XIX^e siècle à plus de 8000 aujourd'hui.

Le village des Saintes-Maries-de-la-Mer

Aux Saintes-Maries, la place ne manque pas puisque la commune est la troisième de France quant à son étendue. Mais la bourgade est entourée de marais et étangs. Il y a cependant urbanisation sur une lanière de sols que la carte pédologique identifie comme un cordon dunaire nivelé par l'homme. On trouve là des manades, des hôtels et des maisons privées qui ont la forme de cabanes de gardians. Au total la population a été multipliée par 5 en un siècle : de 500 à 2500 habitants environ. Le *tableau 5* précise l'origine des noms de ces stations touristiques.

Le Salin-de-Giraud

Village industriel, Le Salin-de-Giraud se développe au XIX^e siècle grâce aux nouveaux besoins de l'industrie chimique. Encouragé par Jean-Baptiste Dumas, qui voulait faire de sa ville natale Alès, productrice de charbon, « la Manchester cévenole », Henri Merle crée en 1853 l'usine de Salindres, juste à côté des mines d'Alès, pour produire de la soude à partir du procédé Leblanc en utilisant à la fois charbon, pyrite, calcaire et sel marin. La soude servait ensuite à la fabrication d'aluminium. Dans ce contexte, seul le sel devait faire le voyage depuis la mer pour atteindre l'usine nouvellement installée. Pour mener à bien son projet, Henri Merle a donc acheté les terres du domaine de Giraud, à l'est du Vaccarès. Il y a installé des salins si bien que l'usine de Salindres a été opérationnelle en septembre 1859.

Mais le procédé Leblanc sera abandonné pour être remplacé par la production de soude dite « à l'ammoniac » selon la méthode mise au point par Ernest Solvay. La Compagnie Solvay installa donc une usine, à côté de Salin-de-Giraud, en 1892. C'est à cette époque que l'industriel décida la construction d'une cité ouvrière selon les plans bien connus des corons du Nord. On la visualise aisément sous Google Earth.

Tableau 5 : Origine des noms de lieux.**Table 5:** *Origin of the place names.*

Aigues-Mortes	Le village n'était déjà plus au contact de la mer mais séparé par un banc de sable lorsque Louis IX partit de là en croisade (1248).
Le Grau-du-Roi	Il doit son nom à la communication qu'il permet entre étang et mer (grau) et aussi au souverain qui l'a fait creuser et aménager (Henri IV).
Saintes-Maries-de-la-Mer	La tradition indique : Marie-Salomé et sa servante noire Sara étaient chrétiennes. Pour les martyriser, elles ont été abandonnées dans une barque en pleine mer. Mais le frère esquif aurait résisté et dérivé jusqu'en Camargue où les deux femmes auraient accosté. D'où le célèbre pèlerinage gitan.
Salin-de-Giraud	Vient de « Salin » lieu de production du sel et de « Giraud » nom d'une propriété locale
La Grande-Motte	Elle doit son nom à la dune que l'on trouvait à l'endroit de sa construction
Port-Camargue	Nom moderne sans valeur historique

Pour l'emport de la soude produite à Salin-de-Giraud, on a créé en 1892 la ligne de chemin de fer d'intérêt local dite « de Camargue ». Elle reliait le salin à Arles. Là, on rejoignait les lignes de la compagnie PLM.

La population actuelle de Salin-de-Giraud est de 2 000 habitants.

La Grande-Motte

Au début des années 60, à l'époque de Charles de Gaulle donc, on s'avise que 2,5 millions de français vont en vacances en Espagne au lieu de dépenser leur argent en France. On décide donc d'aménager les immenses plages sableuses à peu près vierges de vacanciers qui s'étendent alors sur 240 km entre Camargue et frontière pyrénéenne. Pas moins de 7 stations touristiques sont planifiées et lancées par la « *Mission interministérielle d'aménagement touristique du littoral du Languedoc-Roussillon* ». Elle est encore appelée « *Mission Racine* » du nom du Conseiller d'État, Pierre Racine, qui va magistralement la piloter sous la responsabilité directe de Georges Pompidou, toutes administrations centrales court-circuitées. La Mission constituera un modèle de ce qui peut être fait en matière d'aménagement quand sont réunies à la fois volonté d'État, participation des territoires et compétence des experts à qui on donne le pouvoir d'agir (Puech, 2009). Les chiffres étonnent aujourd'hui : pour aménager, on a gelé provisoirement 25000 ha de ZAD ! Non seulement on a construit des stations balnéaires mais aussi on a décidé de protéger et de boiser 19000 ha. À la Grande-Motte, on va passer ainsi d'un désert de sable - sauf une ferme - à une belle pinède et à une ville qui frise les 9000 habitants permanents. L'architecte de la station Jean Ballardur, revenant d'un voyage en Amérique du Sud, avait jugé que le paysage côtier, avec sa platitude et ses montagnes en arrière-plan, ressemblait un peu à ce qu'il avait vu là-bas. Il pensa que des pyramides mayas ou aztèques, en béton cette fois, émergeraient harmonieusement des pinèdes. Il les construisit. À la Grande-Motte, l'été, la population est maintenant multipliée plus de 10 fois et dépasse les 100000 habitants...

Port-Camargue

Port Camargue est aussi le produit de la Mission racine. Il est le plus grand port de plaisance d'Europe par le nombre de places à flot. Alors que la Grande-Motte est célèbre pour ses pyramides installées en zone sèche, Port-Camargue propose une série de presqu'îles dentelées où les vacanciers, depuis leur appartement, ont vue sur le port et sur leurs petits voiliers amarrés sous leurs fenêtres. De manière plus générale, les sept stations de la Mission Racine ont chacune leurs looks et homogénéité intrinsèque. Elles correspondent à autant de partis pris architecturaux. On peut aimer ou détester, mais toutes méritent assurément la visite.

Le texte déjà cité (Puech, 2009) dit qu'il faut aussi rendre hommage aux promoteurs locaux, qui ont pris le risque financier de lancer les premières constructions dans le vent, au sein de déserts de sables et marécages, et dans le fief des moustiques, alors que les routes d'accès depuis l'arrière-pays n'étaient pas même construites pour desservir ces lieux isolés. Mais c'était au temps des 30 glorieuses...

L'idée que pour ces aménagements, on a indument supprimé des zones humides n'est guère recevable. Les constructions de la Grande-Motte (400 ha) et son golf (80 ha) ont été pris sur d'anciennes dunes de sables ; l'étang du Ponant est une zone humide restaurée ; enfin l'espace Camargue + étangs du Languedoc (jusqu'à Sète) occupe encore plus de 150000 ha.

Les salins (Boudet, 2003 ; 2009)

Les origines des salins

Depuis la plus haute antiquité, le delta de Camargue accueille l'exploitation du sel. Jacques de Romefort et Edouard Rastoin (1958) nous content que le royaume du sel en Provence est « plus âgé que la Provence historique ». Nous ne connaissons pas les surfaces employées pour la production du sel à l'époque Romaine. Nous savons seulement que les moyens utilisés pour l'obtention du sel extrait de l'eau de mer consistaient à

faire bouillir de l'eau dans des petits augets en terre cuite, ou bien à ramasser le sel qui cristallisait sur les bords des étangs durant les mois d'été ou encore à pratiquer une cristallisation « organisée ». Elle consistait à creuser des rigoles pour faire pénétrer l'eau de mer et la diriger vers de petites surfaces afin qu'avec « l'ardeur du soleil » le dépôt de sel se réalise, comme il est dit dans différents textes précisant le fonctionnement du salin d'Ostie au deuxième siècle. À cette époque, les salins produisaient du sel essentiellement destiné à la consommation humaine y compris conservation des aliments.

La plupart des salins sont fondés sous Charlemagne. Le principe de production mis en œuvre est pratiquement le même que celui encore usité actuellement. Du mois d'avril à septembre, la somme des évaporations sur eau douce est supérieure aux pluies reçues. On récoltait donc le sel sur des surfaces planes en septembre après avoir fait circuler les eaux par gravité ou parfois en utilisant des pompes animées par des animaux. Après septembre, les pluies l'emportent sur l'évaporation.

Ultérieurement, au Moyen-Âge, les salins ont pris place sur les pourtours des étangs, tels les salins d'Ulmet, de la Vignolle, de la Tour du Valat, du Badon, des Trois Maries et salins de Peccais situés sur les étangs d'Aigues-Mortes. Disposés à l'intérieur des terres, ils n'avaient pas à subir les submersions de la mer, toujours défavorables. En revanche, ils étaient pénalisés par la faible concentration des eaux locales (autour de 17-20 g de sel par litre) parce que les étangs littoraux sont partiellement alimentés par des fleuves côtiers. La production de ces salins était alors de l'ordre de 30 000 tonnes de sel. Ils couvraient une surface de l'ordre de 1 000 ha tout au plus. Mais beaucoup de salins ont disparu au cours du temps et il est même difficile de les localiser actuellement. En effet, les conditions de travail étaient difficiles à cause des fièvres des marais. Par exemple, les salins dits de la Blancarde, des Trois Maries, de la Vernède, d'Ulmet et de Quarantaine, ont eu une existence plus ou moins furtive.

En revanche, la situation d'Aigues-Mortes favorisait le transport du sel et donc la pérennité des salins. On utilisait des barques à fond plat qui circulaient dans les marais puis sur un canal de dérivation qui, dès le XII^e siècle, reliait le Rhône à la mer. En attestent les coutumes de Saint Gilles, qui prouvent que les barques, allant de Montpellier à Narbonne ou Barcelone, payaient péage à Espeyran, lieu-dit actuellement dans les terres. Ces salins, du XIII^e siècle à la Révolution française, ont grandement contribué à alimenter les ressources de la Royauté par différents impôts, tels que droit de Blanque, droit de Septain, Franc Salé et bien entendu Gabelle. Au milieu des marais salants, le Fort de Peccais, ouvrage défensif dont on note l'existence en 1560, et qui a été reconstruit en 1591, est le témoin de ces temps pendant lesquels il fallait garantir la sécurité des sels produits, générateur pour le Royaume de France de substantifs profits.

L'évolution moderne des salins en Camargue

Les surfaces des salins ont surtout augmenté à partir des années 1850 en Camargue avec la création du salin de Giraud. Le développement est rapide : en 1853 il occupe 1 500 ha tout au plus ; en 1895 l'usine Solvay consomme 80 000 tonnes de sel ce qui exige la mise en exploitation de 1 200 ha supplémentaires. En 1929 il totalise à lui seul 2 519 ha dont 600 ha pris sur l'étang du Vaccarès ; En 1957, 4 500 ha sont exploités. En 1970 la compagnie Salicam, filiale de la Compagnie Pechiney, échange l'étang du Vaccarès et les étangs Impériaux, contre 555 ha de plus situés sur le quartier de Beauduc. On dépasse alors 10 000 ha et la production atteint 800 000 tonnes de sel. Ce dernier est alors destiné pour moitié à l'industrie du chlore et pour le reste au marché (exportation et viabilité hivernale des routes françaises). Mais en 2005, la fermeture de l'usine de Saint Auban contraint Salin de Giraud à réduire sa production qui se situe aujourd'hui autour de 300 000 tonnes au mieux. Le sel est destiné au déneigement. Les surfaces maintenant exploitées sont de 5 000 ha. Les 5 000 ha restants ont été cédés au Conservatoire du Littoral.

Les salins proches des Saintes Maries de la Mer (salins de la Vignole et du Badon) ont cessé leur activité en 1870 avec la construction de la digue à la mer qui protège la côte entre les Saintes Maries et les Salins de Giraud mais interdit en même temps l'entrée des eaux utiles à l'extraction du sel. Aujourd'hui ces salins sont revenus à leur état initial de lagune plus ou moins salée et servent de réserve de nature au Conservatoire du Littoral.

Les surfaces ont varié de façon moindre dans les salins d'Aigues-Mortes. Durant plusieurs siècles elles représentent environ 4 500 ha. À partir de 1964, différents aménagements permettent une montée à 6 000 ha. À partir de 1966, on compte même 2 000 ha de plus. Ensuite c'est le déclin. La surface revient à 4 500 ha et le potentiel de production descend de 450 000 tonnes à 250 000 tonnes. Le sel est actuellement destiné à la consommation humaine et animale, à l'industrie agroalimentaire, et principalement à la viabilité hivernale (*Photo 10*).

L'impact sur le milieu

La production du sel en Camargue a permis de préserver des espaces naturels qui sans cela auraient été utilisés pour des installations touristiques. Et le grand avantage de la culture du sel, c'est qu'elle permet la réversibilité de l'usage des terrains. Les cas démonstratifs ne manquent pas sur la côte méditerranéenne. Par exemple les anciens salins d'Hyères sont revenus en zone naturelle depuis les années 1970. Par ailleurs, la culture du sel provoque une graduation des salinités : de 29 g/l pour l'eau de mer des étangs littoraux jusqu'à 259 g/l pour les étangs intérieurs utilisés pour la saunaison. Cet éventail de concentration donne des biotopes variés même si les brusques variations des niveaux d'eau occasionnent des gênes pour la faune notamment durant les périodes de reproduction. Pour

Photo 10 : Salins d'Aigues-Mortes à l'époque actuelle ; cliché J.-P. Legros, 2018.

Photo 10: Salins d'Aigues-Mortes at the present time; cliché J.-P. Legros, 2018.



éviter cela, un îlot dit du Fangassier a été créé à Salin de Giraud. Les ornithologues y supervisent le niveau d'eau environnant et la salinité pour faciliter la reproduction des flamants roses.

Enfin, les matériaux utilisés pour la construction des digues et berges des marais salants ont été prélevés sur place (Boudet, 2017a). Il s'agissait de terre et de fascines de branches de tamaris. Ces matériaux naturels n'ont pas eu d'impact négatif sur le biotope et l'environnement.

On pourrait imaginer que les tables de sels exigent des sols imperméables. En fait il n'en n'est rien car la nappe est affleurante et l'eau ne peut pas s'échapper vers le bas. Les auteurs de la carte des sols de Montpellier, qui ont créé une unité spéciale pour les sols aménagés en salins, montrent bien que les textures correspondantes sont des plus hétérogènes.

Le bilan des salins

Les salins ont marqué l'histoire du pays. Ils sont à l'origine du développement du village de Giraud et même, dans une certaine mesure, de l'implantation d'Aigues-Mortes car, pour transporter en Orient des croisés, il a fallu utiliser de grosses quantités de sel pour stabiliser la nourriture chargée sur les bateaux. Au XIX^e siècle, ils sont partie prenante d'un certain type d'industrie pratiquée dans l'arrière-pays. Par leur organisation en grands quadrilatères, ils ont fortement impacté les paysages. Mais, il s'agit de structures légères, réversibles ne nuisant pas à la faune ou à la flore qui se réinstallent facilement après leur disparition. Cependant, le milieu ne peut pas être laissé totalement à l'abandon. Il faut gérer la salinité et les niveaux d'eau ce qui se révèle coûteux en termes d'énergie pour les pompages. Des fermes aquacoles peuvent alors aider à rentabiliser les dépenses.

LES DEFIS ACTUELS, ESQUISSES DE SOLUTIONS

Montée des eaux

La mer est montée d'au moins 120 m depuis la fin de la dernière glaciation. Au niveau de la côte basse du Languedoc, cela a provoqué l'avancée des eaux sur les terres d'environ 40 km, ceci d'après les géologues de l'Hérault. Cette montée a été irrégulière. Elle a pu représenter jusqu'à 1,4 m par siècle au début de la fonte des glaciers puis le phénomène s'est beaucoup ralenti il y a environ 7000 ans (Boyer *et al.*, 2003). Par exemple le port antique de Marseille n'est pas profondément enfoui sous les eaux en dépit de son âge qui dépasse les deux millénaires. Ce ralentissement de la montée des eaux a permis au Rhône d'apporter des sédiments en quantité suffisante pour constituer un delta et éviter qu'à la place de la Camargue on ait une sorte de fjord. Les sondages faits en Camargue par les géologues montrent bien ces apports du Rhône venus tardivement se superposer aux sables marins et dunaires avec comme conséquence la réavancée du rivage vers le sud (Torres-Rondon, 2013).

Mais on nous dit que la mer monte à nouveau rapidement. Il est évident que si on avait repéré cette élévation plus ou moins continue du niveau marin, on n'aurait pas construit Venise au ras de sa lagune ou Palavas les pieds dans l'eau. Maintenant, il faut faire face. En Camargue proprement dite, le problème est préoccupant. En effet, non seulement on est confronté à la montée de la mer, mais encore on doit tenir compte de l'effondrement du delta pour des raisons tectoniques et aussi sous son poids. Tous calculs faits, pour compenser tous ces phénomènes, il faudrait un apport de sédiments par m² et par an de l'ordre de 6 kg (Day *et al.*, 1995). Or les apports réels ne représentent qu'une centaine de grammes ! Les raisons du faible alluvionnement sont connues et se sont ajoutées dans le temps :

- Diminution des transports solides par le Rhône en raison de la réduction de l'activité glaciaire, il y a 10 000 ans, et diminution récente de l'érosion anthropique à cause de meilleures

pratiques (Maillet *et al.*, 2009). Mais c'est compliqué dans les détails, par exemple, un alluvionnement important est survenu à nouveau pendant le petit-âge glaciaire entre le XIV^e et le XIX^e siècle (Bethemont et Bravard, 2016).

- Endiguement complet du cours du Rhône au niveau de la Camargue (cela a été terminé en 1869) pour éviter les débordements et les atteintes aux hommes et aux bestiaux (Langumier et Verdier, 2015). Les sédiments véhiculés terminent donc en mer.
- Installation de 19 barrages sur le Rhône entre 1905 et 1980 ; ils retiennent les matières solides (Rey, 2006).

Dans un tel contexte, il n'y avait que deux solutions, à long terme.

La première était de poldériser. C'est ce qui a été fait. On a construit une digue à la mer et aussi enfermé les deux bras du Rhône dans des levées de terre. Imaginées dès 1812, les réalisations sont intervenues entre 1857 et 1869. Ceci a fait de la Camargue un territoire submersible et hydrauliquement isolé ; c'est « l'île de Camargue » qui couvre 78 700 hectares, hors Salin-de-Giraud. Bien sûr, un pompage des eaux est réalisé en permanence pour assainir les zones basses ainsi isolées des eaux vives. Le système est efficace. Après les grandes crues de 1840 et de 1856, aucune inondation ne fut à déplorer pendant presque un siècle et demi même si la très forte tempête marine des 6, 7 et 8 septembre 1982 avait mis à mal l'étanchéité de la digue à la mer, obligeant à conforter la ligne de rivage par des épis et brise-lames (Boudet, 2017b). Malheureusement, deux crues centennales en 1993 et 1994 furent marquées par d'importantes

ruptures de digues. Chaque fois plusieurs centaines de millions de mètres cubes d'eau ont envahi le territoire. Il a fallu évacuer les bêtes et des milliers de personnes. Un « Syndicat mixte interrégional d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la Mer », SYMADREM, fut alors créé pour conforter le dispositif de protection. Mais, malgré la digue de protection à la mer, les entrées de sel sont inévitables, notamment *via* la nappe phréatique.

Face à l'eau, la seconde solution, expérimentée actuellement sur les espaces cédés au Conservatoire du littoral par les salins de Giraud, consiste à faire retraite, c'est-à-dire à laisser la mer s'enfoncer dans les terres après qu'elle a détruit les digues abandonnées. La nature reprend alors ses droits. Les oiseaux reviennent. Mais la méthode a ses limites. En effet, la mer peut ronger les terres jusqu'à les faire reculer parfois de 10 m par an (*Photo 11*).

Evidemment, on ne peut tolérer cela dans les zones habitées. Par exemple, au Petit-Travers (plage de Carnon), on a observé précisément un recul de 30 m entre 1992 et 2002 (Maistre et Vanroye, 2009). En conséquence devant Carnon, Palavas et les Saintes-Maries-de-la-Mer, on a installé dans l'eau des épis rocheux (*Photo 12*) mais qui ne donnent qu'à moitié satisfaction. Ils déplacent le problème : cela érode davantage là où ils ne sont pas positionnés.

Photo 11 : Avancée de la mer en Petite Camargue ; cliché J.-P. Legros, 2019.

Photo 11: *Advance of the sea in Petite Camargue; cliché J.-P. Legros, 2019.*



Photo 12 : En avant des Saintes-Maries : épis perpendiculaires au rivage et brise-lames parallèles au rivage. La plage de sable festonne de manière spectaculaire en relation avec la position de ces ouvrages ; cliché Géoportail IGN, 20/06/2020.

Photo 12: In front of Saintes-Maries: groynes perpendicular to the shoreline and breakwaters parallel to the shoreline. The sandy beach scallops out in a spectacular way in relation to the position of these structures; Geoportail IGN photo, 20/06/2020.



Assèchement du climat et salinisation

Les nuages en provenance de la mer condensent et lâchent leurs eaux au contact des reliefs. Ainsi se déverse-t-il 1650 mm d'eau par an et parfois davantage, à 1567 m d'altitude sur l'Aigoual. Mais sur les plages, il tombe moins de 600 mm d'eau/an en moyenne actuellement. Donc la Camargue fait partie des régions les moins arrosées de France, tout comme la côte du département de l'Hérault, un petit secteur de la Limagne et l'Alsace. En outre, depuis deux ans (2020 et 2021), la pluviométrie annuelle a diminué de plus de 50 % en Camargue et vaut seulement 250 mm de hauteur d'eau. Le résultat ne s'est pas fait attendre : dans les sols, la

lame d'eau douce s'est rétrécie au-dessus de la nappe salée, le sel remonte, les vignes se dessèchent, les arbres souffrent (Le Clanche, 2015) (Photo 13).

Les agriculteurs sont fort inquiets. Mais ici, il faut distinguer le cas de l'île de Camargue d'une part et celui de la Camargue gardoise d'autre part.

Île de Camargue

Dès la fin du XIX^e siècle, les exploitants ont été confrontés à l'excès de sel. Plus précisément, la culture du riz a fait remonter des eaux relativement salées dont il fallait se débarrasser. Leur envoi dans les points bas du paysage, Vaccarès en particulier,

Photo 13 : Vigne endommagée par les remontées de sel ; cliché B. Aubert, juillet 2021.

Photo 13: Grapevine damaged by salt upwelling; photo by B. Aubert, July 2021.



ne suffisait plus car tout le pays s'est trouvé engorgé. Il a donc fallu organiser le drainage par canaux et pomper pour rejeter les saumures dans le Rhône (Bethemont, 1962) ou directement dans la mer. Les pompes furent d'abord à vapeur puis électriques. Il y en a actuellement une centaine. Ces travaux et dispositifs supposaient la constitution de « Syndicats d'associations d'assainissement » (ASAs). Il y en a une douzaine depuis 1952, chacun se changeant d'une des grandes cuvettes inscrites dans le paysage (Parc Naturel Régional de Camargue, 2004).

En plus, il a fallu installer d'autres canaux et canalisations pour amener les eaux d'irrigation prélevées, elles aussi, dans les deux Rhône. Aujourd'hui le prélèvement dans le Grand Rhône se fait *via* 177 postes qui totalisent un débit de 64 m³/s. Pour le Petit-Rhône, dont le débit fluvial n'est que de 15 % de celui du Grand Rhône, le nombre de postes de prélèvements est de 77 extrayant 37 m³/s, soit 50 % du débit d'étiage.

Le bilan hydrique simplifié de l'île de Camargue en année normale apparaît dans le *tableau 6*.

Camargue gardoise

On y pratique encore un système ancien qui consiste à utiliser les mêmes canaux pour évacuer les saumures et pour apporter l'eau douce d'irrigation. Cela se fait avec des vannes (martellières) que l'on ouvre ou ferme suivant les bascules de vents et de salinité. Entretien des canaux et main-d'œuvre mis à part, cela ne coûte rien. Les prises d'eau douce se font dans le Petit Rhône à Silveréal (canal des Capettes) ou dans le canal du Rhône à Sète. Dans les deux cas, le fond du lit est salé ce qui incline les viticulteurs et maraîchers à se connecter au réseau commercial de bornes sous pression proposé par BRL (*voir plus loin*).

Face à l'assèchement du climat qui semble se dessiner, il faut immédiatement aider les agriculteurs de la Camargue gardoise. Ceux-ci sont confrontés à une situation qu'ils n'ont jamais connue. Ils sont relativement démunis et n'ont pas investi dans des pompes flottantes. En outre, sauf à de très rares exceptions, ils n'ont ni piézomètres pour surveiller les nappes,

Tableau 6 : Bilan hydrique annuel simplifié (en millions de m³) de l'île de Camargue (hors Salins de Giraud) ; doc. Agence de l'Eau (2014).

Table 6: Simplified annual water balance (in millions of m³) of the Camargue Island (excluding Salins de Giraud); doc. Agence de l'Eau (2014).

Entrées	Sorties
Prélèvements dans les deux Rhône 400	Evapotranspiration 565
Précipitations moyennes (600 mm) 360	Pompage vers les Rhône 180
Entrée d'eau de mer 9	Sorties gravitaires 22

ni conductimètres pour mesurer la salinité et ils disposent encore moins de normes d'interprétation! Les organismes de recherche et de développement devraient se mobiliser: qui fait quoi très concrètement pour les soutenir? Au-delà de ces aides immédiatement nécessaires, on est confronté moins à un problème technique (on sait faire concernant la maîtrise du sel) qu'à un problème économique: pourra-t-on conserver une agriculture rentable si la salinité augmente beaucoup? Dans les manades qui vivent du tourisme *via* la location de chevaux de monte, on achètera un peu plus de foin à l'extérieur. Mais, dans les pures exploitations agricoles de Camargue, la situation risque de devenir grave...

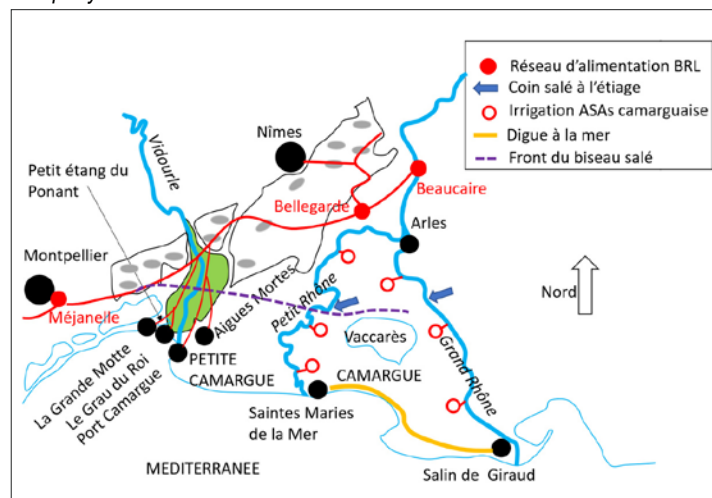
Demande croissante en eau douce

L'assèchement du climat d'une part, la croissance des populations résidentes et la fréquentation touristique d'autre part, impliquent une forte augmentation de la demande en eau douce pour l'irrigation et la consommation urbaine.

En 1950, le groupe BRL, créé par Philippe Lamour, fut autorisé à prélever dans le Rhône 75 m³/s, concession accordée jusqu'en 2031. Par un canal de dérivation, l'eau est conduite sur 12 km jusqu'à l'imposante station de relevage « Aristide Dumont », de Bellegarde. Celle-ci envoie à une altitude de + 70 m NGF, 12 m³/s vers le nord par le « Canal des Costières », l'eau pour irriguer 30 000 ha, dont les 3 500 hectares du plateau gardois et alimenter aussi l'agglomération nîmoise (*Figure 7*). Par ailleurs 61 m³/s empruntent le canal Philippe Lamour, vers le sud-ouest à + 20 m NGF. Ce second canal parvient, 60 km plus loin, à la station de Méjanelle-Vauguière, près de Fréjorgues dans l'Hérault, alimentant sur son passage à la fois 36 000 hectares en Camargue,

Figure 7 : Réseau d'approvisionnement en eau de la compagnie Bas-Rhône-Languedoc.

Figure 7: Water supply network of the Bas-Rhône-Languedoc company.



les communes de l'agglomération montpelliéraine, enfin le petit fleuve Lez pour le soutenir en étiage. En outre 2 m³/s sont dérivés vers les stations touristiques du littoral de la Baie d'Aigues-Mortes au moyen de plusieurs adducteurs, l'un dirigé vers le littoral gardois et l'autre vers le lunellois. Dans tous les cas, le réseau BRL fournit à la fois les besoins en eau potable et en eau d'irrigation.

Toutefois, il convient de signaler que le territoire de Montpellier Métropole Méditerranée (480 000 habitants) est quant à lui principalement alimenté par l'aquifère du Grand Pic Saint Loup. Depuis 1983, date de la création de l'usine de pompage de la station Arago, un débit de 1,7 m³/s est disponible, soit 40 millions de m³/an. La réserve d'eau par un été sans pluie est estimée à environ trois mois (Brunel, 2021).

Cet apport d'eau du Rhône a été déterminant pour doter les stations littorales d'un authentique urbanisme vert. L'exemple le plus remarquable est celui de La Grande-Motte où sur un périmètre citadin de 130 hectares, 20 % sont réservés aux espaces verts, auxquels viennent s'ajouter des massifs de pinèdes et un parcours de golf de 80 hectares. Aujourd'hui cette végétation a atteint sa pleine maturité : au total 30 000 conifères, 10 000 feuillus ainsi que 500 000 arbustes et vivaces (Figure 8). L'ensemble a pris un développement considérable qui ennoblit une « architecture en fête », comme l'a voulu son concepteur Jean Balladur.

Malheureusement, à la Grande Motte, une série de signaux négatifs apparaissent dans un contexte d'intensification des phénomènes de sécheresse estivale (Aubert, 2015).

D'abord, les propriétaires, qui ont leurs propres puits, ont été confrontés à des difficultés croissantes d'arrosage des jardins. Au cours de l'été 2021, les cinq piézomètres disponibles sur la station ont affiché des valeurs négatives allant jusqu'à - 23 cm sous le niveau NGF (donc eau douce à plus de deux mètres de profondeur), ce qui n'avait pas encore été observé jusque-là. Ensuite, la végétation des feuillus s'est montrée particulièrement sensible aux épisodes de sécheresse, combinés aux remontées de sels par capillarité (Photo 14).

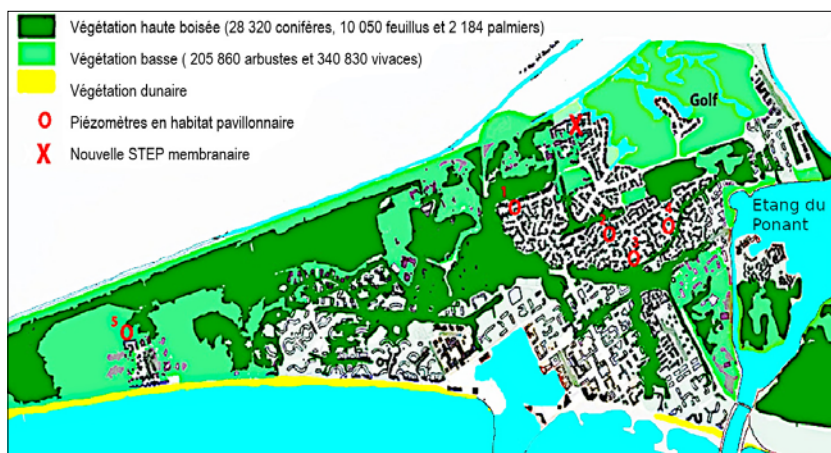
Enfin, certains arbres du parcours de golf, de renommée internationale, montrent des signes anormaux de décrépitude.

Dans ce contexte, la commune de La-Grande-Motte a décidé de faire appel à l'eau de recyclage de sa station d'épuration à filtre membranaire. Principalement, il s'agit de subvenir au besoin d'irrigation du golf (besoins de 1/2 million de m³/an!). Le problème le plus aigu est de subvenir aux besoins d'alimentation hydrique lors de la demande de pointe estivale. Mais c'est difficile, compte tenu de la compétition croissante de l'agriculture locale (secteur viticole et maraîcher proche).

Au total, dans les stations touristiques littorales du Languedoc-Roussillon, au même titre que dans les terres agricoles périphériques, l'inquiétude est là, mais la mise en place de solutions tarde encore, cas du recyclage des eaux usées mis à part. En particulier, il est urgent d'enregistrer le niveau des nappes d'eau douce et de suivre leur salinité. Et des économies d'eau sont à planifier. Une telle démarche doit mobiliser des économistes, des ingénieurs dans les domaines des ressources en eau, des spécialistes des sols, de l'agronomie et de l'urbanisme. On pourrait prendre exemple sur la Crau qui a mis en place un Syndicat mixte de gestion de la nappe phréatique (Symcrau) (Trolard et al., 2013).

Figure 8 : Espaces verts du tissu urbain de La Grande Motte ; les surfaces de « végétation haute » et de « végétation basse » sont celles du Schéma diagnostic des espaces paysagers de La Grande Motte (BRL-Espaces Naturels, 2003).

Figure 8: Green spaces in the urban fabric of La Grande Motte; the areas of "high vegetation" and "low vegetation" are those of the diagnostic scheme of the landscape spaces of La Grande Motte (BRL-Espaces Naturels, 2003).



CONCLUSION

En résumé les sols de Camargue ont en commun d'être profonds, calcaires, sans cailloux, et peu évolués. Mais ils se différencient les uns des autres par toute une série de caractères. D'abord, ils sont sableux (dunes), ou bien limoneux (apports du Rhône et du Vidourle) ou encore argileux (dépressions d'origine lagunaire ou palustre). Ils sont parfois peu ou pas salés mais peuvent l'être localement beaucoup. Et cette salinité augmente actuellement. Ils appartiennent aux sols salins (sels dans la solution du sol) mais aussi aux sols sodiques (Na fixé en forte proportion sur l'argile). Enfin, ils sont des plus divers quant aux propriétés hydriques : sols sains des reliefs, sols hydromorphes avec nappe des zones d'altitude intermédiaire, sols submergés temporairement (rizières) ou en permanence (bas-fonds). Ensemble, ils forment

Photo 14 : Jaunissement précoce des platanes dans le quartier du Ponant à la Grande-Motte mais les pins résistent ; cliché B. Aubert, août 2021.

Photo 14: Early yellowing of plane trees in the Ponant district of La Grande-Motte but the pines are resisting; cliché B. Aubert, August 2021.



un milieu varié mais spécifique qui donne son originalité à cette petite région naturelle qu'est la Camargue.

Ce que nous avons dit des contextes pédologique, géomorphologique, climatique, économique et humain, nous amène à une conclusion essentielle: l'aménagement et la protection de la Camargue ne peuvent pas être raisonnés sans prise en compte de tout ce qu'il y a autour. Par exemple, les surfaces en riz dépendent du cours de cette céréale à l'échelle mondiale; l'abondance des flamants roses est liée au sort fait à ces volatiles hors d'Europe lors de leurs migrations; la lutte contre le sel est fonction de l'eau qui reste dans le petit Rhône quand les stations touristiques alentour ont satisfait leurs besoins jugés prioritaires. Parfois, les spécialistes du sol émettent des avis déconnectés des contraintes imposées au milieu par des facteurs situés hors de leur discipline... Mais à l'inverse, on peut faire valoir, lorsqu'on est spécialiste du sol, que toutes les économies d'intrants faites au niveau des terres ont des retentissements ailleurs. Bien gérer l'eau en Camargue, y cultiver le riz sans gaspillage, y protéger les oiseaux, aura des retentissements sur des populations humaines et animales vivant autour ou loin de là. Il nous faut donc promouvoir l'interdisciplinarité, comme nous avons tenté de l'appliquer pour la rédaction de cet article.

Au-delà, ce que nous avons rapporté concernant l'usage des sols et l'exploitation touristique n'est pas franchement

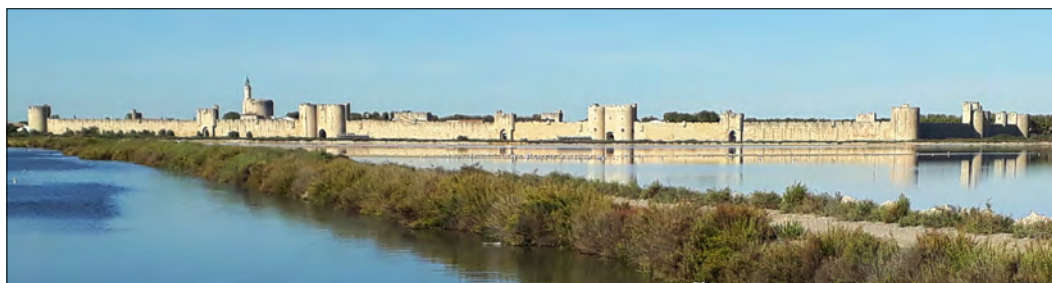
rassurant. On pourrait en déduire que l'avenir de la Camargue n'est garanti ni à long terme (risque de submersion et même de disparition), ni même à court terme (salinisation, manque d'eau de qualité). Mais la Camargue est l'une des régions de France les plus originales avec ses lagunes, ses taureaux, ses chevaux si particuliers, son sel et son vin des sables. Elle est aussi un haut lieu de l'histoire de notre pays avec sa cité d'Aigues-Mortes entourée de remparts dès la fin du XIII^e siècle (*Photo 15*) et qui a vu deux fois le roi de France partir en croisade. Enfin sa faune et sa flore sauvages sont magnifiques, ce n'est pas la peine d'insister. Dans ces conditions, il est clair que les populations d'une part, les pouvoirs publics de l'autre, ne laisseront pas la situation se dégrader irréversiblement.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'eau (2014). Étude de la gestion quantitative et des débits du Rhône en périodes de basses eaux. Ouvrage en ligne de quinze chapitres. <https://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/etude-de-la-gestion-quantitative-du-fleuve-rhone-letiage>
- Arnal H. (1985). Carte pédologique de France à 1/100 000. Feuille de Montpellier. Notice explicative (179 p.) + carte. <https://www.quae.com/produit/342/9782853406031/carte-pedologique-de-france-a-1-100-000>
- Archambault-Guézou J. (1982). Apports de l'analyse paléocologique à l'interprétation historique des cordons holocènes de la région d'Aigues-Mortes (Gard, France). Géologie Méditerranéenne, t. IX, n° 2, p. 69-88.

Photo 15 : Les remparts d'Aigues-Mortes ; cliché J.-P. Legros, 2018.

Photo 15: The ramparts of Aigues-Mortes; photo by J.-P. Legros, 2018.



- Arnaud-Fassetta G., Provansal M. (2014). The Lower Valley and the Delta of the Rhône River: Water Landscapes of Nature and History, pp. 207-2018, in: Landscapes and Landforms of France, World Geomorphological Landscapes, 207 DOI 10.1007/978-94-007-7022-5_20, © Springer Science+Business Media Dordrecht. <http://gilles-arnaud-fassetta.org/wp-content/uploads/2018/02/2014-Arnaud-Fassetta-Provansal-Springer-Rhone-ENGLISH.pdf>
- Aubert B. (2015). Le changement climatique, entre conjectures et mutations sociétales. Séance du 11 mai 2015. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Bull. n° 46, pp. 195-195. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/AUBERT-2015.pdf
- Bazile F. (1975). Nouvelles données sur l'âge des cordons littoraux du golfe d'Aigues-Mortes. Bull. Soc. géogr., 8 (54), p. 199-206.
- Bethemont J. (1962). Le riz et la mise en valeur de la Camargue. Persée. https://www.persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1962_num_37_2_1739#:~:text=Vingt%20ans%20auront%20suffi%20pour.vingt%20mille%20hectares%20en%201960
- Bethemont J., Bravard J.P. (2016). Pour saluer le Rhône. Editions Libel, 400 p.
- Boudet G. (2003). La culture du sel dans le Midi de la France. Séance du 26/05/2003. Académie Sciences et Lettres de Montpellier, Bull. n°34, pp. 129-133.
- Boudet G. (2009). La Saliculture Méditerranéenne: Un cas pratique de développement durable. Dans: Rencontre sur le littoral du Languedoc-Roussillon: aménagement, passé, avenir. Colloque de l'académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 19 et 20/11/2009, pp. 97-119 https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_ouvrages/ColloqueLittoral2.pdf
- Boudet G. (2010). La Camargue d'hier et d'aujourd'hui. Séance publique du 4 janvier 2010, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Bull. n°41, pp. 3-17. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/BOUDET-2010.pdf
- Boudet G. (2017a). Les abbayes du sel en Languedoc au Moyen-Âge. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Bull 48, pp. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/BOUDET-2017-2.pdf
- Boudet G. (2017b). L'Homme face aux caprices du littoral. Séance du 24/04/2017. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Bull. 48, pp. 149-158. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/BOUDET-2017.pdf
- Bouteyre G., Duclos G. (1994). Carte pédologique de France à 1/100000. Feuille d'Arles. Notice explicative (303 p.) + carte. <https://www.quae.com/produit/406/9782738005649/carte-pedologique-de-france-a-1-100-000>
- Boyer J., Duval C., Le Strat P. (2003). Le delta du Rhône: géodynamique postglaciaire. Rapport final. BRGM, RP-52179-FR, 99 p.
- BRL-Espaces Naturels (2003). Une ville parc: La Grande Motte. Schéma diagnostic des espaces verts de La Grande Motte, doc. Ronéo, 85 p.
- Brunel M. (2021). L'eau des garrigues de Montpellier et sa gestion. Bulletin de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier Vol. 52, 8 p. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/BRUNEL-2021.pdf
- Corre J.J. (1976). Etude phytoécologique des milieux littoraux salés en Languedoc-Roussillon et en Camargue, Caractéristiques du Milieu. Vie Milieu, 1976, vol. XXVI, fasc. 2, série C., pp. 179-245.
- Day J., Pont D., Hensel P.F., Ibanez C. (1995). Impacts of Sea-Level Rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of Pulsing events to sustainability. Estuaries vol. 18, n°4, pp. 636-647, december.
- Griolo C. (1976). Hydrodynamique et hydrochimie du complexe aquifère de haute et moyenne Camargue, Hydrogeology of great sedimentary Basins Congress. IAH-IAHS Publication, Budapest, Hongrie, pp. 351-369.
- Heurteaux P. (1961). L'eau et le sel en Camargue. Position du problème et résultats des premières recherches. Doc. Station Biologique de la Tour du Valat, 23 p. http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/59217/LATERRETELAVIE_1962_1_11.pdf?sequence=1
- Jean A.M., Toni C. (1974). Influence des irrigations et drainages sur le régime des eaux superficielles et souterraines dans le delta de la Camargue. Société Hydrologique de France, XIIIe journées. https://www.persee.fr/doc/jhydr_0000-0001_1975_act_13_1_4425
- Langumier J., Verdier L. (2015). Sécurisation des digues et dispositifs de « culture du risque » : une alliance originale sur le delta du Rhône dans un contexte post-catastrophe. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/9898>
- Le Clanche X. (2015). Construction d'une démarche de gestion collective de l'eau dans le cadre de la lutte contre la salinité en Camargue Gardoise: cas du mas Le Pive. Mémoire de fin d'études, Montpellier-SupAgro, 91 p.
- Legros J.-P. (2007). Les Grands Sols du Monde, Presses Polytechniques Universitaires Romandes, 574 p.
- Legros J.-P. (2009). La salinisation des terres dans le Monde. Conférence du 22/6/2009, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Bull. n° 40, pp. 257-269. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_conf/LEGROS2009.pdf
- Legros J.-P. (2012). Sol et phylloxéra. Étude et Gestion des Sols, vol. 19,1, pp. 31-39 https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_19_1_Le-gros.pdf
- L'homer, Aloïsi J.C., Bazile F., Marchal J.P. (1993). Notice explicative de la feuille géologique Le Grau-du-Roi à 1/50 000. Editions du BRGM, 93 p. <http://ficheinfoterre.brgm.fr/Notices/1017N.pdf>
- Maillet G.M., Raccasi G., Provansal M., Sabatier F., Antonelli C., Vella C., Fleury T.J. (2009). Transferts sédimentaires dans le Bas-Rhône depuis le milieu du XIX^e siècle: essai de quantification, Erudit, Revues Géographie physique et Quaternaire, vol. 61, n°1, pp. 3-34. <https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/2007-v61-n1-gpq2875/029569ar/>
- Maistre P., Vanroye C. (2009). Instabilité du littoral: évolution et gestion du trait de Côte: In Colloque ASLM ci-dessus cité, pp. 21-32.
- Montety V. de (2008). Salinisation d'un aquifère captif côtier en contexte deltaïque - Cas de la Camargue (delta du Rhône, France). Thèse, Hydrologie. Université d'Avignon, 281 p. https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/336417/filename/These_V_de_Montety2008.pdf
- Parc Naturel Régional de Camargue (2004). (PNRC). Etude hydraulique et hydrobiologique des canaux de Camargue, vol. 1 Etude des lieux-diagnostic, 101 p. http://www.parc-camargue.fr/getlibarypublicfile.php/8d7227f54c5548d9cd73c4837746a5d2/parc-camargue/_collection_library_fr/201100123/0001/Etude_hydro_canaux2.pdf
- Puech G. (2009). La mission Racine et l'aménagement du littoral. In: Rencontre sur le littoral du Languedoc-Roussillon: aménagement, passé, avenir. Colloque de l'académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 19 et 20/11/2009, pp. 75-94. https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie_edition/fichiers_ouvrages/ColloqueLittoral2.pdf
- Rey T. (2006). Dynamique hydro-sédimentaire en Petite Camargue à l'Holocène. Thèse de doctorat en géographie physique, Univ. de Montpellier, 327 p. https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/273819/filename/THESE_REY_TONY.pdf
- Romefort J. de, Rastoin E. (1958). L'or Blanc et L'or Noir, sel et pétrole. Éditions Morlot, Marseille.
- Risler E. (1884 à 1897). Géologie agricole. 4 tomes en 2 volumes, 2ème édition en 1898-99 et 3^e en 1931 avec préface de H. Hitier. Berger-Levrault, Paris, 2000 pages environ (accessible sur BNF en texte brut).
- Servant J. (1975). Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes: l'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France, thèse d'État, Université de Montpellier-II, 211 p. En ligne sur le site AFES: https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2018/04/These_Servant_1975_1.pdf

- Torres-Rondon L. (2013). Etude et modélisation des transferts d'eau et de sel en milieu deltaïque agricole (Camargue, France), Thèse Univ. d'Avignon, 202 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01057792>
- Touzani A., Giresse P. (2002). The Rhône River Prodelta: Short-Term Sedimentation Patterns and Human Impact. *Journal of Coastal Research*, vol. 18, n°1, pp. 102-117.
- Trolard F., Reynders S., Dangeard M.L., Bourrie G., Descamps B., Keller C. (2013). Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique. Une démarche intégrative pour préserver les sols, l'eau et la production agricole. Edit. Johanet, Paris.

