

## UN EXEMPLE D'EVOLUTION DE SOLS SALINS SUITE A LA MISE EN VALEUR PAR LA RIZIERE EN CAMARGUE.

par G. HANOTIAUX (1), C. LANDA (2), et L. MATHIEU (3).

### 1. INTRODUCTION.

La Camargue a déjà été le sujet de nombreux travaux fondamentaux dans les domaines de la géologie de son delta, de sa géomorphologie, de ses sols et de son climat.

Depuis la dernière guerre, la riziculture a fait de nouveaux problèmes phytotechniques qui ont nécessité des études des processus de salinisation et d'hydromorphie ainsi que les études sur la fertilité des sols.

Récemment, les impératifs économiques ont fait surgir de nouveaux problèmes. En effet, la concurrence en matière rizicole est devenue forte et les coûts supportés par les riziculteurs les poussent à reconverter cette culture, devenue traditionnelle en terres à blé plus rémunératrices.

Mais cette reconversion des terres ne va pas sans difficultés car la mise à sec des sols de rizières risque de provoquer une résalinisation des terres...

Tel est le problème qui se pose aujourd'hui à l'agriculteur camarguais qui, en fonction de la conjoncture, est appelé à choisir entre la culture du riz ou celle du blé.

C'est dans ce cadre que se situe notre étude. Aidé par les services agronomiques d'Arles nous avons choisi une exploitation de Moyenne Camargue dont le propriétaire Mr. GUIBAUD avait entrepris la reconversion de ses rizières (depuis plus de 5 ans en 1970).

Deux questions importantes se sont posées au premier abord:

1. y a-t-il resalinisation des terres après abandon de la rizière.

Dans l'affirmative, quelle est son intensité. En combien de temps s'opère-t-elle?

2. Le profil cultural induit par la rizière, est-il amélioré par les pratiques culturales en usage dans l'exploitation (sous-solage). Pour répondre à ces

---

(1) et (3) - Professeur Associé et Assistant à la Chaire de la Science du Sol Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat.  
(Gembloux) Prof. MANIL.

(2) - Pédologue expert Belge en mission de l'AGCD du Pérou.

questions, notre première préoccupation a été de situer le domaine étudié dans le contexte général de la Camargue et notamment en fonction de la géomorphologie et du cadre agricole.

Nous avons ensuite réalisé une étude cartographique précise avant de procéder à l'échantillonnage pour les analyses chimiques que nous voulions adéquates.

## 2. LE CADRE PHYSIQUE.

### 2.1. SITUATION DE L'EXPLOITATION.

L'exploitation du Mas d'Eymini des bois Meaux se situe en Moyenne Camargue de part et d'autre de la route nationale n. 570. Elle est bordée à l'Est par la propriété des Bruns et au SW par celle des Ventabren. Le petit Rhône en constitue les limites au N et au NW. La superficie de l'exploitation est de 185 ha (carte d'occupation en annexe).

La Camargue, rappelons-le est l'île comprise entre la Méditerranée et les deux bras du Rhône en aval de Arles.

Sa superficie totale est de 74.960 ha dont 6.500 ha sont souverts par l'étang du Vaccarès.

### 2.2. LE CLIMAT.

Le climat Camarguais diffère du climat méditerranéen provençal par certains caractères induits par la platitude du relief.

En l'absence d'obstacle, les dépressions cycloniques de printemps et d'automne ne déversent que par précipitations. La pluviométrie est relativement réduite, et augmente du Sud au Nord: moyenne de 453 mm à la pointe de Faramen, elle atteint 588 mm à Arles. Elle peut varier fortement dans le temps: 345 mm enregistré en 1945 contre 1.060 mm en 1960. La moyenne des jours de pluies sur 42 ans est de 68 jours répartis essentiellement entre l'automne et le printemps qui reçoit souvent le tiers des précipitations.

De part sa situation au débouché de l'axe Rhodanien et de son ouverture sur la mer elle est balayée sans cesse par des vents violents naissant au contact des masses d'air maritime et continental: vents des secteurs N et S qui peuvent souffler 180 à 240 jours par an.

Ceux-ci en nettoyant le ciel, contribuent à donner à la Camargue un climat lumineux très ensoleillé (2.750 h/an en moyenne, utile pour le riz), lui évitent souvent les gelées printanières mais renforcent son caractère semi-aride en accentuant l'évapotranspiration.

Les températures moyennes enregistrées pendant les mois de juillet et août sont proches de 30° celles des mois d'hiver, janvier et février sont comprises entre 5 et 10°. Les gelées sont exceptionnelles.

L'histogramme évaporations-précipitations du Salin de Giraud (figure 1) met en évidence le déficit hydrique important qui découle de l'action combinée des facteurs du climat évoqué ci-dessus.

On conçoit aisément l'importance de ce bilan pour la pédogenèse et pour les pratiques agricoles.

### 2.3. GEOLOGIE-GEOMORPHOLOGIE.

Une bonne connaissance de la pédologie, de la morphogenèse sont généralement nécessaires aux pédologues qui veulent saisir la dynamique des mouvements de l'eau et des sols dans les paysages à sols salins (G. GAUCHER, 1974).

Les pédologues qui ont étudiés et cartographiés les sols salins de la Camargue (SERVAT, 1966 travaux des pédologues de la C.N.A.B.R.L. sous la direction de J. VIGNERON, 1970) auxquels nous avons empruntés nos données générales, l'ont compris.

La Camargue est définie comme une basse plaine subhorizontale dont la pente générale moyenne d'Arles à la mer est de 0,17‰. Elle constitue ce que les géographes appellent « une plaine de niveau de base ». Ses côtes altimétriques sont comprises entre 4 m 5 et 1 m N.G.F. en haute Camargue et certains points bas se situent sous le niveau de la mer (—1, —2 m, dans le Vaccarès) en basse Camargue.

En fait la platitude n'y est qu'apparente. L'analyse détaillée du paysage de la moyenne Camargue, qui nous occupe plus spécialement, fait apparaître sur photos aériennes une véritable mosaïque de bombements et de dépressions qui résultent de la morphogenèse quaternaire.

Ce sont les bourrelets alluviaux et des marais d'eau douce ou d'eau salée. Les sédiments fins qui les constituent ont été apportés par des crues du Rhône et ont été déposés selon la dynamique propre aux différentes époques de leur mise en place (figure 2).

En période de crues, deux possibilités se présentaient:

1. Les eaux sorties du lit du fleuve apportaient leur limon dans les plaines voisines. Les particules les plus grossières se déposaient d'abord proximité de l'axe fluvial, édifiant les bourrelets alluviaux. Les plus fines sédimentaient plus loin dans les zones de colmatage, correspondant approximativement aux marais d'aujourd'hui.

Le long des berges où la vitesse du courant était plus faible il se juxtaposait un autre classement granulométrique de particules fines qui favorisait l'exhaussement des rives.

## SALIN DE GIRAUD - EVAPORATION ET PRECIPITATIONS MOYENNES (ou 82 ans)

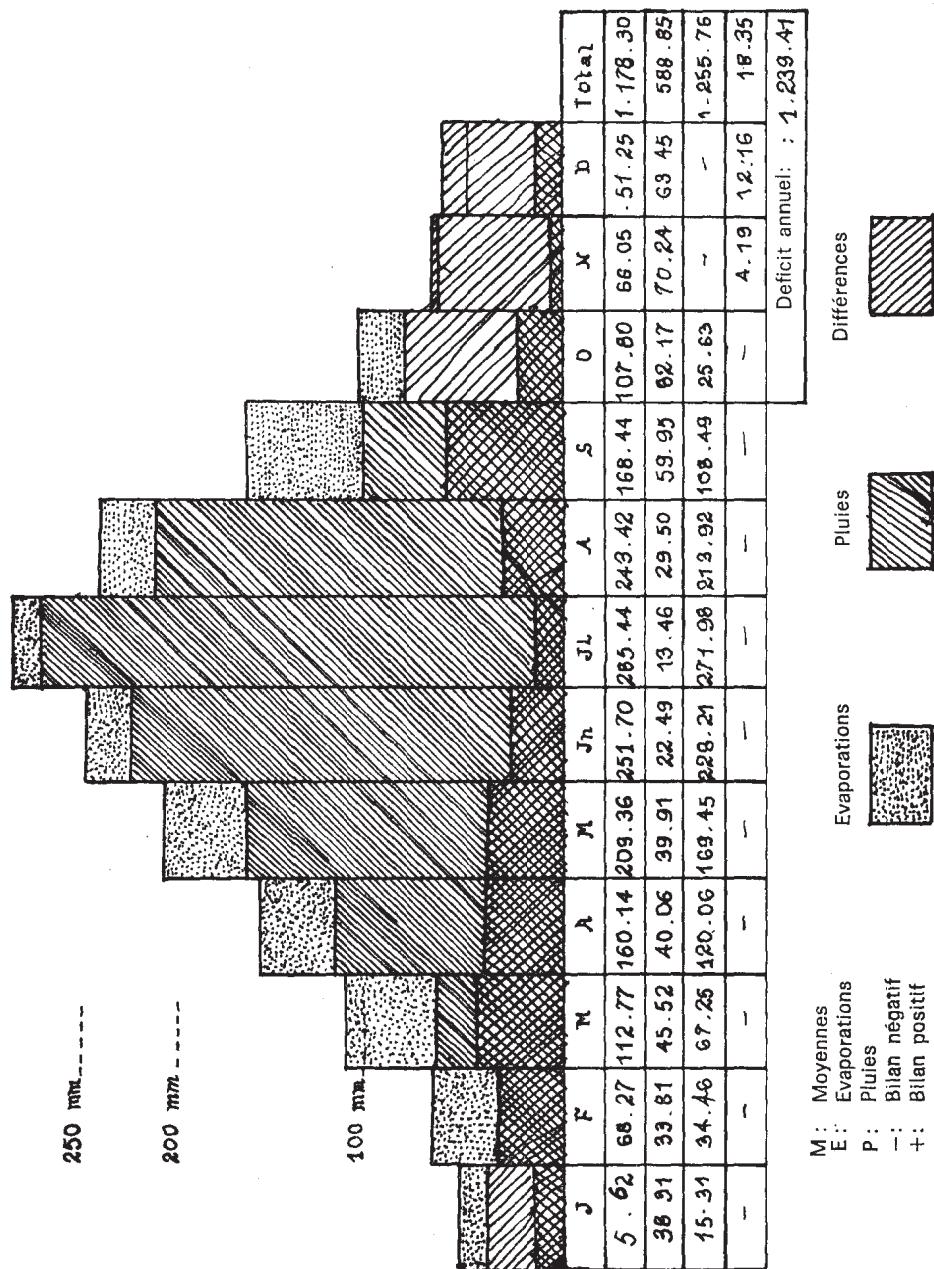


Figure 1.

2. Les coups d'eau les plus violents pratiquaient des brèches à travers lesquelles le fleuve s'engouffrait créant de nouveaux chenaux.

En conséquence, il abondonnait *d'anciens bras* situés en aval des fourches nouvellement créées (marais faiblement alluvionnés).

Le rôle de la mer dans l'édification de la Moyenne Camargue est moins important que celui du fleuve. Il est surtout apparent en Basse Camargue quoi-que la présence de dunes anciennes en Haute Camargue a révélé.

L'existence d'un ancien rivage situé bien plus au Nord que l'actuel.

Voyons surtout quelles sont les conséquences de la morphogenèse dictée par cette dynamique fluviale sur la pédogenèse:

— *Le bourrelet alluvial* (figure 2) comprend trois parties principales:

*La partie centrale:*

C'est le sommet du bourrelet situé à proximité immédiate de l'axe fluvial (présent ou passé).

Les sédiments y présentent des textures comprises entre les limons et les limons sableux. Ces hautes terres sont les meilleures de Camargue car les moins influencées par les fluctuations de la nappe salée.

La C.N.A.B.R.L. signale à cet égard que les côtes limites d'influence de la nappe s'établiraient à 1,70 m ou 1,80 m > N.G.F. En dessous de ces côtes il pourrait y avoir des risques de salinisation.

*La partie latérale.*

Elle correspond à la pente vers l'extérieur. La texture y est plus fine (limoneuse ou limono-argileuse), sa côte reste toujours inférieure à 1,75 m N.G.F.

*La partie externe.*

Est celle qui avoisine immédiatement les marais. Les sédiments y sont alternativement fluviaux et palustres. Il en résulte donc un entrecroisement de la stratification. Leur côte très faible et leur texture fine favorisent au maximum les phénomènes de remontée capillaire pendant la période estivale.

*Les marais* sont les dépressions délimitées par les bourrelets alluviaux qui ont reçu un apport de matériel très fin provenant du Rhône. Selon leur altitude et la nature de leur sous-sol, leur eau est douce ou légèrement soumise, ce qui est généralement le cas. La texture de leur dépôts est argilo-limoneuse et l'ensemble du profil est très calcaire (précipitation chimique en milieu confiné). Ces dépôts fins reposent le plus souvent sur des sédiments déposés dans d'anciens étangs d'origine marine (Sables et vases). Ils reposent aussi sur des alluvions fluviaux en s'imbriquant latéralement avec la partie externe des bourrelets alluviaux. (Voir profil 1 SAP 5).

## 2.4. LES SOLS: CARACTERES GENERAUX.

### 2.4.1. *Processus pédogénétiques et classifications générales.*

Les sols sont jeunes, minéraux, non ou peu évolués. A ce caractère de jeunesse s'ajoute des conditions de salure et d'hydromorphie importante. Ces sols se rangent donc parmi la catégorie *des sols salins hydromorphes ou peu humifères à gley*.

Dans les sols non encore cultivés (et salés pour la plupart) la différenciation des horizons ne peut se faire qu'en fonction *du litage originel des matériaux et de l'hydromorphie*. Une distinction plus fine basée sur la structure peut être opérée dans les horizons de surface, soumis à la battance ou exploré par les racines de plantes.

Les processus de brunification signalé dans les dossiers de la C.N.A.B.R.L. est timide et n'apparaît que légèrement dans les horizons culturaux des terres suffisamment dessalées et assainies pour qu'une amorce de vie aérobie apparaisse dans le sol. C'est le cas « terres hautes » des parties centrales des bourrelets alluviaux, dont les tendances naturelles au dessalement et à l'aération sont à attribuer à des caractéristiques texturales. La structure tend alors à devenir grumeleuse et les taux de matière organique augmentent significativement.

L'hydromorphie est un processus généralisé dans les sols camarguais. Elle est d'intensité variable selon la texture des matériaux, donc du degré de remonte des eaux. L'hydromorphie, obstacle au développement racinaire, est par conséquent un processus antagoniste de la brunification (profils n. CIII et CV).

La riziculture a surimposé des gleys superficiels aux gleys profonds liés à la nappe phréatique (type « Sawah profile »). L'ensemble constitue un profil hydromorphe du type « *amphigley* ». Cette hydromorphie de surface est bien marquée au niveau des semelles de labour, à structure massive. Celles-ci prennent une couleur bleu verdâtre par-semée de tâches de rouilles, résultant du processus de réduction.

A ce propos il nous faut signaler que dans le cadre de la reconversion des rizières en terres à blé, l'agriculteur est obligé de détruire les semelles, véritables obstacles au bon développement des racines des céréales et qui, par conséquent s'opposent à l'apparition d'une structure stable et active dans la couche arable.

Riches en calcaire (25 à 40%) les sols salins de Camargue appartiennent à la catégorie des *Solontchaks ou sols salins blancs*. Ils sont caractérisés par la présence de fortes quantités de sels solubles dont les taux atteignent jusqu'à 50 à 100%.

Les rapports entre les différents cations solubles permettent de les subdiviser en sous-types, comme par exemple, *les Solontchaks sodico-magnésiens*

riches en sodium et magnesium solubles situés sur l'emplacement d'anciennes lagunes à fortes concentrations salines.

La salure des sols est un caractère qui peut varier quantitativement et qualitativement, en fonction de la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques.

Sur le plan qualitatif, les chlorures représentent l'élément dominant de ces sols. Ils peuvent atteindre 90 à 95% de la somme anionique totale. Selon les endroits, la proportion de sulfates peut augmenter mais elle dépasse rarement les chlorures. Parmi les cations le sodium vient en première place, suivi par le magnesium ou le calcium. Le potassium est toujours présent en quantité négligeable.

Le pH des sols est toujours alcalin et se situe aux environs de 8,5. Il résulte surtout de la présence d'une masse importante de calcaire. Nous avons cependant rencontré des pH supérieurs à 8,5 dans les sols salins à alcalins. où l'on remarquait en surfaces des grandes taches humides et noires que E. SERVAT (1966) appelle « mèches ». Cette alcalinité serait liée à d'anciennes conditions lagunaires et à une granulométrie plus fine favorisant la remontée des sels.

Le pourcentage de sodium échangeable (P.S.E.) peut atteindre 50 à 80% de la capacité d'échange (C.N.A.B.R.L., 1970).

Le rôle joué par une telle quantité de Na échangeable, est marqué par l'abondance de carbonate de calcium (et parfois de gypse) qui empêche généralement l'action des processus bien connus dans les solonetz: migration d'argile et l'humus, augmentation très sensible du pH...

De tels sols existent en Camargue mais ils représentent des cas particuliers et sont très limités sur l'ensemble du territoire (C.N.A.B.R.L., 1970, GOUNY P., 1964).

#### 2.4.2. *Classification locale, pratique.*

L'étude cartographique réalisée par C.N.A.B.R.L. (1970) montre très clairement les relations entre les textures et les dépôts en fonction de leur position géomorphologique (figure 2).

La classification mise au point par les pédologues de cette compagnie pour la cartographie semi-détaillée au 1/20.000e s'est avérée extrêmement efficace pour notre étude de détail. Les trois grandes classes de sols définis ci-dessus ont été subdivisés en groupes en fonction de la nature et de la situation géomorphologique des dépôts et en sous-groupes ou séries en fonction de leur texture. Les classes texturales retenues pour définir celles-ci ont été définies dans le diagramme triangulaire du C.E.P.P.A. 1966 et portent chacune un numéro placé en indice dans le sigle cartographique.

Voici la répartition des divers types de sols en Moyenne Camargue définis

en fonction des caractères pédogénétiques, de la nature et de la texture des sédiments:

a) *Sols de la périphérie des dépressions sur dépôts en étang salé: sols sodiques salins* (SL - SSL 5-6) à texture d'argile, d'argile limoneuse.

Les sédiments ne sont déposés dans les dépressions sableuses et vaseuses des lagunes et les ont comblés progressivement tout en s'imprégnant de sel. En moyenne Camargue, en fait, ce type de dépôt se rencontre le plus souvent en profondeur sous les alluvions fluviales.

Périodiquement, la saumure enfouie dans le sous-sol réalimente les dépôts superficiels pendant les périodes d'intense évaporation. Les concentrations de surfaces enregistrées alors peuvent être supérieures à celles rencontrées dans l'eau de la mer (C.N.A.B.R.L., 1970).

A ce moment, la nature des sels est aussi modifiée et on remarque qu'une forte proportion de magnésium soluble est associée à ces dépôts.

Les sédiments qui les constituent ont connu des conditions d'hydromorphie et de salure dès leur mise en place.

b) *Sols de dépression sur les dépôts palustres:*

Ils comprennent les sols hydromorphes à gley YG situés à la partie centrale des dépressions, marais et étangs, sur alluvion, du Rhône en couverture terminale YGA, sur dépôts palustres YGP, sur dépôt en étang YGL, à texture fine limono-argileuse à argileuse (4 à 6).

Nous avons vu en effet que les argiles et les limons fins comblent progressivement les parties déprimées du paysage.

Les argiles constituant un élément de colmatage. Il règne dans les marais des conditions d'hydromorphie permanente. La salure de ces dépôts devient dès lors très faible en surface en raison de la présence d'un plan d'eau, mais elle peut s'élever toutefois très fort en profondeur.

Ces conditions ont pu se manifester suite à l'abandon progressif d'un ancien chenal par le Rhône. La phase argileuse terminale apparaît alors en surface et se fait vite coloniser par la roselière. Les lignes de roseaux constituent par conséquent un critère cartographique de choix qui permet la mise en évidence de ce type de milieu.

c) *Sols sur les dépôts fluviaux liés aux bourrelets alluviaux:*

*Sols peu évolués ou sols légèrement brunifiés* JA souvent à caractère d'hydromorphie (g) et de salure (s) sur les dépôts des parties centrales et latérales des bourrelets alluviaux de texture limoneuse sableuse à limono-argileuse (2-3-4).

*Sols sodiques salins* SA sur alluvions du Rhône sur la partie latérale des bourrelets, en périphérie des dépressions de texture de limon argileux, à argile limoneuse (4,5).

Ces dépôts postérieurs à ceux qui ont comblé les lagunes ne sont pas salés par nature puisqu'ils sont apportés et déposés par les eaux du Rhône lors des crues. Ce milieu connaît toutefois des nuances dans l'hydromorphie en relation, avec la granulométrie qui caractérise les différentes formes du modelé.

Des fluctuations importantes subies par les nappes peuvent parfois causer la remontée du salant (d'un étang salé profond par exemple). La salure induite par ce processus sera par conséquent secondaire car non liée à l'origine des dépôts de surface.

d) *Sols sur les dépôts alternés fluviaux et palustres:*

Ce sont les sols sodiques salins SAP sur dépôt mixte fluvial sur palustre, de texture limono-argileuse - argilo - limoneuse (5).

Avant l'endiguement du Rhône, à la jonction des deux dépôts cités ci-dessus, ils existait une zone de contact où ceux-ci finissaient par se superposer. D'anciennes zones palustres (dépressions colmatées) se faisaient partiellement ou totalement recouvrir par les sédiments apportés lors des crues violentes du fleuve.

De nouveaux marais se reformaient dans les dépressions, à la limite du nouvel alluvionnement. La présence des débris végétaux (phragmites) enfouis non décomposés témoigne d'ailleurs de l'existence profonde d'anciennes conditions palustres (cas des profils n. CI, CIV de notre étude).

#### 2.4.3. *Le phénomène de salant.*

##### 2.4.3.1. *Manifestations.*

Sur les parties latérales et externes des bourrelets alluviaux s'étendent d'immenses surfaces glacées par le sel. C'est là que réside tout le problème de la Camargue rizicole.

Le sel apparaît souvent quand l'agriculteur s'y attend le moins, au milieu des champs de blé par exemple, et provoque des chutes de rendement parfois considérables. Le blé n'est pas le seul touché. La vigne, les produits maraîchers, peuvent subir aussi des attaques, et cela, malgré l'ancienneté de la mise en culture.

La circulation des sels dans le sous-sol est en effet très imprévisible puisqu'elle est sous la dépendance des mouvements de la nappe phréatique lors de la submersion des rizières, laquelle a lieu en période d'intense évaporation estivale. L'élévation du plan d'eau favorise la remontée des sels et leur concentration en surface.

La submersion nécessaire au riz risque donc de provoquer des chutes de rendements par concentration de sel dans d'autres cultures, le blé et la vigne, bien plus rémunératrices pour l'agriculteur.

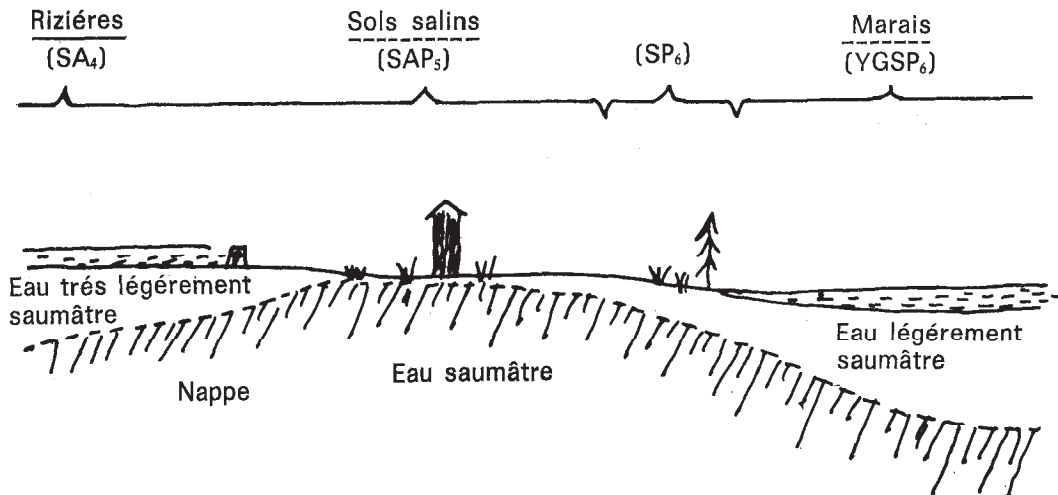


Fig. 2.

Le schéma de la figure 3 illustre bien le rôle joué par les nappes en charge des rizières et des marais qui tend à abaisser le niveau de salinité sur une profondeur importante. Leur action conjuguée entraîne une concentration très élevée en sels dans les zones intermédiaire à sol du type  $SAP_5$  et particulièrement dans la zone où la frange capillaire se situe à proximité ou au niveau de la surface du sol.

#### 2.4.3.2. *Caractéristiques du salant.*

Le salant est donc lié à l'apparition de fortes concentrations de sels à la surface des terres.

L'intensité de la salure est variable et suit approximativement un gradient N-S. Elle est aussi sous la dépendance des saisons. Nous verrons plus loin dans quelle mesure les pluies d'automne et d'hiver modifient les profils salins édifiées en saison sèche.

La formation des efflorescences de surface dépend de l'intensité de la remontée des eaux par capillarités. (C'est à dire de la frange capillaire). Les sels cristallisent et précipitent toujours là où les eaux recoupent la surface du sol. Il s'en suit que le phénomène n'est pas statique. Les taches peuvent s'étendre ou décroître à volonté en fonction:

- du niveau atteint par la nappe, parfois abondamment alimentée par les eaux des rizières;
- de la texture (d'où son intérêt dans la caractérisation des sols);
- des facteurs climatiques: pluviométrie et évaporation.

Dans 95% des cas, les salants rencontrés en Camargue appartiennent au type « *salant blanc* », qui tire son nom de la couleur blanche des efflorescences salines formées en surface. Celles-ci sont constituées essentiellement de chlorure de sodium et accessoirement de chlorures de magnésium et de calcium. Les taux de sulfates et bicarbonates sont nettement plus faibles. Les carbonates solubles sont rares en Camargue. Leur présence conditionnée par une très forte alcalinité. (pH 10) est heureusement rare dans cette région.

Le *salant noir* caractérisé par de grandes tâches noirâtres et humides n'est que sporadique. Sa salure est constituée par une plus forte proportion de sodium soluble et un déficit du calcium dans la solution. C'est pourquoi la teneur en sodium échangeable, le pH s'accroissent tandis que la matière organique peptisée se disperse.

## 2.5. LA VEGETATION NATURELLE EN RAPPORT AVEC LA SALINITE DES SOLS. LEUR HYDROMORPHIE.

Les faits évoqués ci-dessus sont synthétisés dans le schéma ci-contre dont il se dégage que la végétation peut être indicatrice du niveau de salure (*arthroc-nemum glaucum*) et d'hydromorphie (*phragmites*).

Il n'est pas possible de définir toutes les associations végétales dans le cadre de ce travail.

Les pédologues et les écologistes camarguais en ont relevé l'importance dans la définition des sols et des milieux et dans leurs travaux cartographiques (E. SERVAT, équipe C.N.A.B.R.L., HEURTEAUX 1962, 1964).

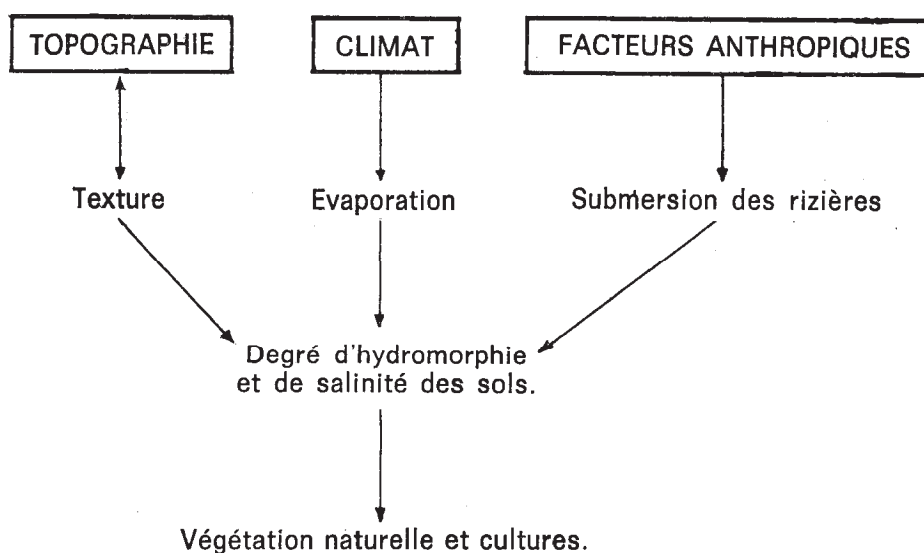


Fig. 3

Nous citerons cependant les deux formations herbacées qui dominent dans le paysage:

*La sansouïre* de basse Camargue, dans laquelle les taux de sels peuvent atteindre 50 à 100%. La salure y est générale et atteint de très haut niveaux. Les rares salsolacées composantes sont clairsemées (recouvrement inférieur à 50%).

*L'engane* de moyenne Camargue est une formation liée aux sols moins salés. Les taux de sels atteignent 10 à 50% et la végétation y est en conséquence plus diversifiée, plus couvrante (recouvrement supérieur à 50%).

Il n'est pas rare de trouver des bromes (*B. mollis*) des plantains (*P. coronopus*), des orges (*H. Maritimum*), des camomilles. En association, elles constituent les stades préhalophiles ou post-halophiles de la séquence. (désigné par P sur les cartes de la C.N.A.B.R.L.).

## 2.6. LE CADRE AGRICOLE.

En Camargue se développe aujourd'hui à côté de la riziculture une céréaliculture à base de blé dur et de blé tendre pratiquée en sec. Dans la rotation, la luzerne est parfois introduite pour boucler le cycle cultural.

Voici à titre d'exemple, quelle est l'utilisation des terres, dans l'exploitation étudiée:

- 80 ha de riz.
- 40 ha de blé (dur et tendre) + luzerne.
- 15 ha de vignes.
- 50 ha d'enganes, près salés et chemins.

Lors de la reconversion d'une rizière, le clos préalablement asséché est labouré par plusieurs passages de cover-crop en fin de saison (octobre-novembre) puis un travail superficiel du sol permet de semer le blé d'hiver.

Malgré un *meilleur rendement*, la culture des céréales de printemps reste cependant hasardeuse vu le risque de sécheresse en début d'année.

Le blé dur, est semé en automne ou en hiver (Janvier). Son rendement moyen atteint 30 à 35 quintaux/ha. Le blé tendre, plus productif, fournit jusqu'à 40 à 50 quintaux/ha soit un gain de 10 à 15 quintaux/ha. Pour fumer le blé dur, le fermier Camarguais emploie des complexes d'équilibre du type (1 - 3 - 2), (8 - 30 - 15) par exemple, en fractionnant les doses. La formule indique d'elle même qu'il faut éviter d'exagérer la fumure azotée car le blé dur est très sensible à la verse. Cependant, un manque d'azote à l'épiaison favorise le *mitadinage* (apparition de tâches farineuses dans le grain corné), qui entraîne une dépréciation de la qualité du grain.

| Ans de blé<br>Ans de riz |       |       | Après 1 an de blé, 5 ans de luzerne<br>10-15 ans de riz |       |       |       |      |         |
|--------------------------|-------|-------|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|------|---------|
| CIII2                    | CIII3 | CIII4 | CIV1                                                    | CIV2  | CIV3  | CIV4  | CIV5 | CIV moy |
| 15-27                    | 27-60 | > 60  | 0-3                                                     | 3-11  | 11-36 | 36-90 | > 90 | (10-20) |
| (13)                     | (14)  | (15)  | (18)                                                    | —     | (19)  | (20)  | (21) | (22)    |
| 33,3                     | 36,5  | 36,4  | 27,9                                                    | —     | 20,7  | 6,9   | 9,1  | 25,2    |
| 30,1                     | 35,4  | 37,8  | 29,5                                                    | —     | 22,1  | 6,5   | 10,5 | 26,1    |
| 9,9                      | 10,8  | 12,8  | 14,4                                                    | —     | 14,7  | 4,1   | 7,7  | 14,1    |
| 21,5                     | 14,4  | 12,1  | 9,1                                                     | —     | 20,9  | 16,0  | 26,9 | 20,6    |
| 5,2                      | 2,9   | 30,9  | 19,1                                                    | —     | 21,6  | 66,5  | 45,8 | 14,0    |
| 30,0                     | 39,0  | 33,6  | 36,2                                                    | 33,6  | 35,0  | 26,6  | 31,0 | 31,7    |
| 12,75                    | 7,5   | 3,0   | 11,25                                                   | 10,25 | 6,00  | 2,25  | 1,50 | 12,00   |
| 1,06                     | 0,59  | 0,44  | 0,79                                                    | 0,78  | 0,58  | 0,23  | 0,21 | 0,93    |
| 12,0                     | 12,8  | 6,9   | 14,2                                                    | 13,4  | 10,3  | 9,9   | 7,0  | 12,9    |
| 21,9                     | 12,9  | 5,2   | 19,4                                                    | 18,1  | 10,3  | 3,9   | 2,6  | 20,6    |
| 1,26                     | 1,19  | 1,62  | 12,97                                                   | 4,00  | 2,30  | 1,59  | 1,52 | 5,80    |
| 0,24                     | 0,23  | 0,31  | 1,99                                                    | 0,52  | 0,30  | 0,20  | 0,22 | 0,94    |
| 37,5                     | 40    | 39    | 35,5                                                    | 34,5  | 32,0  | 27,0  | 27,5 | 35,0    |
| 0,30                     | 0,30  | 0,40  | 2,95                                                    | 0,88  | 0,47  | 0,27  | 0,27 | 1,29    |
| 2,7                      | 1,2   | 4,2   | 29,4                                                    | 16,3  | 7,4   | 3,2   | 6,3  | 19,3    |
| 6,1                      | 8,7   | 10,9  | 105,3                                                   | 30,2  | 17,2  | 1,2   | 9,7  | 40,2    |
| 2,0                      | 1,3   | 1,3   | 12,3                                                    | 2,2   | 2,3   | 1,7   | 1,3  | 3,3     |
| 2,6                      | 2,5   | 4,7   | 21,6                                                    | 8,7   | 8,5   | 3,6   | 6,8  | 10,0    |
| 0,2                      | 0,2   | 0,4   | 5,2                                                     | 0,7   | 0,9   | 0,5   | 0,3  | 3,1     |
| 8,2                      | 7,1   | 7,9   | 77,0                                                    | 25,4  | 9,1   | 6,5   | 4,9  | 42,4    |
| 3,1                      | 1,2   | 4,2   | 41,3                                                    | 13,3  | 7,8   | 4,4   | 4,1  | 6,7     |
| 7,9                      | 8,2   | 8,3   | 7,5                                                     | 7,8   | 8,4   | 8,5   | 8,6  | 7,4     |
| 1,1                      | 1,2   | 1,9   | 2,8                                                     | 2,0   | 2,9   | 1,5   | 3,2  | 2,0     |

Pour cette raison, on apporte 60 à 80 unités d'azote maximum aux semis tardifs de janvier et on complète la dose qui porte la fumure finale à 120-140 unités. Ce deuxième apport est réalisé en couverture fin mai - début avril.

Après le riz, le blé semble souffrir la première année, année de battement pour laquelle les rendements de 33 quintaux/ha signalés ci-dessus sont vraiment exceptionnels. Le changement des conditions physico-chimiques et microbiologiques des sols n'y est probablement pas étranger.

Les rendements enregistrés pendant les 3 années suivantes se maintiennent à un niveau convenable (35-40 qx/ha) car le blé bénéficie alors de conditions de sols plus favorables.

En effet, un horizon cultural apparaît et s'approfondit par suite de meilleures activités biologiques (racines, pédofaune) consécutives aux sous-solages répétés. Il profite aussi de l'effet cumulé des fumures et des brûlis des chaumes.

Après 5 ans, les rendements tendent à baisser. Cela paraît lié à une resalinisation des terres. A ce moment, les fermiers ont recours à des cultures réputées améliorantes telles que la luzerne. Ainsi le propriétaire a enregistré des rendements de 60 qx de blé tendre/ha après quelques années de luzerne.

### 3. ETUDE AGROPEDOLOGIQUE AU MAS D'EYMINI.

#### 3.1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE.

Au cours d'une première prospection d'été, nous avons examiné les profils de plusieurs parcelles compte tenu de leur passé cultural: culture de blé ou luzerne après 10-15 ans de riz. Au terme de cette première campagne, nous étions convaincus de la grande hétérogénéité des sols, imposées par les roches-mères, la topographie, se traduisant dans les degrés de salure et d'hydromorphie bien qu'à cette saison, il n'était évidemment pas possible de creuser des fosses pédologiques dans les rizières.

C'est pourquoi nous avons effectué une seconde prospection en février: nous disposions alors du rapport général de l'étude hydrogéologique, pédologique et de salinité de la Camargue réalisée par la C.N.A.B.R.L.

Munis de ces nouveaux documents, nous avons pu effectuer un meilleur choix des emplacements pour le creusement des profils complémentaires, à ouvrir principalement dans les rizières, mais également à proximité des profils en été afin d'examiner l'évolution éventuelle de la salure.

#### 3.2. EXAMEN DE LABORATOIRES.

Les déterminations suivantes ont été effectuées:

- *Mesure de la salinité:*
- conductivité de l'extrait au 1/5

— conductivité et analyses des sels d'un extrait de pâte saturée selon les techniques préconisées par l'U.S. Laboratory Staff

— dosages des cations monovalentes (Na et K) par photométrie de flamme (appareil EPPENDORF avec filtres d'interférence)

— dosage des bivalents (Ca et Mg) par spectrographie d'absorption atomique (appareil Techtron AA4)

— dosage des chlorures par la méthode de MOHR, titration d'une aliquote par  $\text{AgNO}_3$  0,1 N en présence de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  en travaillant à la *neutralité* pour obtenir une coloration rouge brique

— dosage des sulfates par la méthode *BARDSLEY* et *LANGASTER*: précipitation des sulfates solubles par  $\text{BaCl}_2$ , lecture de la turbidité

— dosage des bicarbonates par titrage d'une aliquote par  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,01 N en présence de méthylorange (couleur rouge-rosé).

— *Le dosage des éléments échangeables n'a pas été réalisé. En effet, le pourcentage de Na échangeable présente moins d'intérêt en raison de la forte teneur en calcaire (30-40%) des échantillons. Dans ces conditions il est difficile de préciser le rôle joué par le Na échangeable même si ses teneurs sont élevées jusqu'à 50-80% de la garniture ionique (voir dossier C.N.A.B.R.L. 1970). Nous avons cependant tiré parti des analyses des sels solubles (rapport entre monovalents et bivalents) du pH, des teneurs en  $\text{CaCO}_3$  pour détecter les risques d'alcalinisation.*

— *Mesure du pH*: par voie potentiométrique avec rapport d'extraction de 1/2,5.

— *Carbone*: dosé par la méthode A E, les taux de matière organique sont obtenus en multipliant les résultats du C par le facteur conventionnel 1,72.

— *Carbonates totaux*: dosage par titrage en retour par la soude d'un volume mesuré d'acide ayant attaqué un poids connu de terre (méthode acidimétrique).

— *Analyse granulométrique*: deux méthodes de préparations des suspensions ont été retenues, 1. méthode *DEMOLON-BASTISSE* sans décalcarisation, 2. méthode internationale avec décalcarisation par HCl.

La mesure des fractions granulométriques s'est faite de la manière suivante:

— fractions sableuses: par tamisage à sec;

— fractions limoneuse (2-50) et fractions argileuses (0-2): par densitométrie (hydromètre à chaîne).

### 3.3. LA CARTE DES SOLS - SA LEGENDE.

La densité des sondages et des fosses pédologiques a permis, de modifier certaines limites de la carte au 1/20.000 et établie par le C.N.A.B.R.L. et de dresser une carte au 1/10.000 et du domaine (carte n. 1 en annexe). Il nous a été possible, ensuite, de proposer une explication sur la mise en place des sédiments.

Le marais d'Eymini est le résidu d'un grand marais qui devait s'étendre jusqu'aux formations palustres actuelles des Bruns. Il a été comblé par des alluvions fluviales récentes en provenance du petit Rhône et d'une de ses « crevées » latérales.

Nous avons dû élargir latéralement la zone cartographiée SAP5 au 1/20.000, aux dépens du SAP4 et nous en avons fait un nouveau type de sols que nous appelons FP5 (fluvio-palustre non salé).

Les dépôts superficiels sont généralement du type fluvial. Toutefois l'apparition de bancs très sableux riches en micacées dans un profil a laissé entrevoir la possibilité d'une activité éolienne assez importante.

L'inventaire des sols du Mas d'Eymini est le suivant (1):

- Sols minéraux bruts à peu évolués (dépôts fluviaux).
- Parties axiales et centrale des bourrelets alluviaux.

MA4 Alluvions du Rhône (ségonnaux souvent inondés et remaniés, non cultivables).

(1) cet inventaire sert de légende à la carte annexée.

— Sols hydromorphes

— Parties situées en limite des bourrelets.

YGSP, sols hydromorphes peu humifères à gley sur dépôt palustre

— eau douce à saumâtre en surface

— surtout salés en profondeur - végétation hydrophyle: phragmites.

— Sols de la pelouse

A<sub>1</sub> Partie latérale des bourrelets.

Sols moins salins à végétation très recouvrante (obione portulacoides).

A l'issue de notre prospection nous avons retenu les profils suivants pour l'étude chimique complète:

| n° profil           | Occupation du sol                                                                                              | symboles cartographiques            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| campagne            |                                                                                                                |                                     |
| été hiver           |                                                                                                                |                                     |
| CI P <sub>4</sub>   | Sols salins à alcalins, vierge (fluvio-palustre).                                                              | SAP <sub>5</sub>                    |
| CIII P <sub>3</sub> | Parcelle portant du blé d'un an après 10 ans de Riz (B <sub>1</sub> ).                                         | FP <sub>5</sub> (SAP <sub>5</sub> ) |
| CIV P <sub>6</sub>  | Parcelle ayant porté 3 ans de blé après 10-15 ans de Riz (B <sub>3</sub> ).                                    | FP <sub>5</sub> (SAP <sub>5</sub> ) |
| CII P <sub>2</sub>  | Parcelle planée et défrichée en vue de l'occupation par le Riz.                                                | SA <sub>4</sub>                     |
| CV P <sub>5</sub>   | Parcelle ayant porté 5 ans de blé après 10-15 ans de Riz (B <sub>5</sub> ).                                    | SA <sub>4</sub>                     |
| CVI P <sub>1</sub>  | Parcelle ayant porté 1 an de blé après 10-15 ans de Riz (B <sub>1</sub> /L <sub>5</sub> ) et 5 ans de Luzerne. | SA <sub>4</sub>                     |

— *Parties centrales et hautes des bourrelets.*

JA2 sols légèrement brunifiés d'apport alluvial à hydromorphie et salure en profondeur - Mis en culture depuis longtemps. Bonne structure.

JA4 Variante texturale plus fine des JA2.

— *Sols sodiques (dépôts fluviaux).*

SA2 Sols salins à alcalins à végétation recouvrante - Rizières.

SA4 Variantes texturale plus fine des SA2.

— *Parties externes des bourrelets.*

SAP5 sols salins à alcalins à dépôts fluvio-palustre, ensemble hétérogène à caractéristiques de salure élevée.

Fréquemment inondé et couvert de végétation halophyle et hygrophyle. FP5 cf. SAP5 à caractéristique de salure très faible (cultivés).

SP6 sols salins à alcalins sur dépôt palustre aux abords des bassins d'inondation - végétation halophyle et très hygrophyle.

Le mas d'Eymini offre de façon privilégiée des profils naturels ou modifiés par un passé culturel différent qui se regroupent en deux séquences représentatives des deux des principaux types de sols de rizière. De la Moyenne Camargue, liés aux bourrelets alluviaux et aux dépressions connexes à sédiments fluvio-palustres.

### 3.4. CARACTÉRISATION MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE DES PROFILS.

#### 3.4.1. *Les profils naturels de départ:*

*Sol salin sodique sur dépôt fluvial: SA<sub>4</sub> profil CII (P2).*

#### A. *Morphologie.*

*Situation, caractéristiques générales:* Terre vierge récemment défrichée pour la culture du Riz. La texture correspond à des conditions de dépôts fluviaux proprement dits (voir cartes 1-2-3). La surface est craquelée et décomposée en dalles polygonales (action conjuguée de la dessiccation du sol et de la peptisation).

Des taches humides et poudreuses, de couleur plus foncée s'étendent par ici, par là. Ce sont les « mèches » (de E. SERVAT, 1966), nous en avons prélevé en échantillon (0-20 cm).

*Végétation:* vestiges de la végétation naturelle des enganes (quelques salicornes: atriplex, chiendent...).

*Description du profil:* 0-7: « croûte » de texture limono-argilo-sableuse. Structure lamellaire moyenne. Consistance dure en sec. Couleur beige en sec. 10 YR 3/2 en humide. Assez grand nombre de fines racines. Bonne macroporosité.

7-47: horizon humide de texture limono-argilo-sableuse. Pas de structure apparente. Peu collant, peu plastique. Couleur: 10 YR 4/3.

Réseau de fines veines grises et de taches rouilles peu distinctes, diffusés au delà de 15 cm. Phytopores moyennement abondants.

47-105: Texture sableuse dominante + fin litage limoneux dans lequel se marque le gley. Structure particulière. Grandes taches rouilles et noirâtres ferromanganeuses.

*Dans les plages sableuses:* structure particulière, couleur grise ponctuée de taches noires.

*Dans le litage limoneux:* couleur bleu vert, à taches rouilles et noires, très peu de racine, grande plasticité.

N.B.: La nappe est à 1,05 m en juillet et à 75 cm en février.

#### 3.4.1.1. Sol sodique salin d'engane sur sédiments fluvio-palustres:

SAP<sub>5</sub> - profil CI - P<sub>4</sub>.

*Situation - caractéristiques générales.*

Le sédiment est fluviatile en surface nettement palustre en profondeur (argile).

*Géomorphologie:* en bordure du marais de la propriété et en position topographique légèrement plus élevée.

*Végétation:* salsolacées diverses à recouvrement discontinu mais supérieur à 50%. Espèces rencontrées: *Artrocnum* sp. *Saladelle*, *Atriflex* sp... par endroit, le sol présente à sa surface des taches plus noires dénudées, faisant penser au résidu d'un brûlis de végétaux (matière organique peptisée).

*Description du profil:*

- 0-0,5 Pellicule encroûtée de structure squameuse, riche en matière organique (cyanophycées), nombreuses efflorescences.
- 0,5-3 Limon argileux gris. Structure poudreuse, sec.
- 3-8 Texture d'argile limoneuse. Structure lamellaire grossière. 10 YR 3/3, efflorescence en sec. Bonne macro et microporosité (racines abondantes).
- 8-28 Texture de limon argileux. Ebauche de structure polyédrique.
- Go Moyenne. Fond brun foncé (2,5 Y 3/2) et légères taches rousses. Quelques grosses racines et réoxydation sur leur tracé.
- 28-42 Texture de limon argileux. Pas de structure apparente mais pouvant se déliter en feuillets très visibles d'environ 1 mm d'épaisseur (struct. « lamellaire »). Alternance de lits limoneux à sable très fins. Couleur brune (10 YR 5/4) + trainées bleues (7,5 YR 4/10). Taches rouilles et noires plus nettes.
- 42-62 Texture limoneuse. Horizon plus massif et compact. Couleur bleuâtre.

- Go (7,5 YR 4/10) à tâches rouillées abondantes.  
 62-77 Texture d'argile limoneuse. Transition vers le gley.  
 77 Texture argileuse. Structure compacte. Consistance très plastique. Fond bleu dominant. Tâches rousses en quantité décroissante vers le bas. Débris de phragmites non décomposés.

N.B.: La profondeur de la nappe, estimée à 1,20 m lors de la description du profil en été varie quotidiennement en fonction de la hauteur des eaux dans les canaux d'écoulage (irrigation des rizières). Elle était remontée à 70 cm en hiver.

#### Commentaires.

Etant donné la jeunesse relative de ces sols, les horizons profonds ont été identifiés sur la base du *degré d'hydromorphie (teinte) et du litage sédimentaire originel*. La structure du surface est liée essentiellement aux phénomènes de dispersion et de battance (surtout dans le SAP<sub>s</sub>, profil CIP<sub>4</sub> non remanié).

Les profils sont schématisés dans la figure 4, les superpositions des textures selon les horizons sont représentées dans les figures SA et SB.

#### B. Données Analytiques:

— *La granulométrie*: la superposition des textures (figures 5) dans le profil SA<sub>4</sub> (CII P<sub>2</sub>) montre que celui-ci s'est développé sur des sédiments d'origine purement fluviale, dont la texture grossière de profondeur laisse supposer qu'il s'agit d'alluvions sableuses d'un ancien chenal.

La proportion plus importante d'argile (40%) dans le fond du profil SAP<sub>s</sub>, la présence de débris végétaux (rhizomes de phragmites) permet par contre de considérer que cette formation résulte du recouvrement d'un ancien marais par les sédiments fluviaux récents lités plus pauvres en argile issus du petit-Rhône (voir sur le diagramme triangulaire, figure 6), classe de texture 5 comprise entre la 6 argile limoneuse-limon-argileux du type marais et la 4, limon argileux de surface, fluviale.

La situation du profil sur la partie externe du bourrelet alluvial explique que la fraction sableuse est plus réduite (les sables se sédimentant surtout dans les parties centrales et latérales des chenaux).

Ce type de dépôt est riche en pseudosables et pseudolimons que l'attaque à l'HCl détruit au bénéfice de la fraction argileuse (figure 5 B).

— *Les carbonates*: les teneurs en carbonates relativement élevées (27 à 30%) renforcent l'hypothèse d'une origine fluviale. Des sables dunaires présenteraient des teneurs en CaCO<sub>3</sub> plus faibles (15 à 20%) et pratiquement pas d'argile.

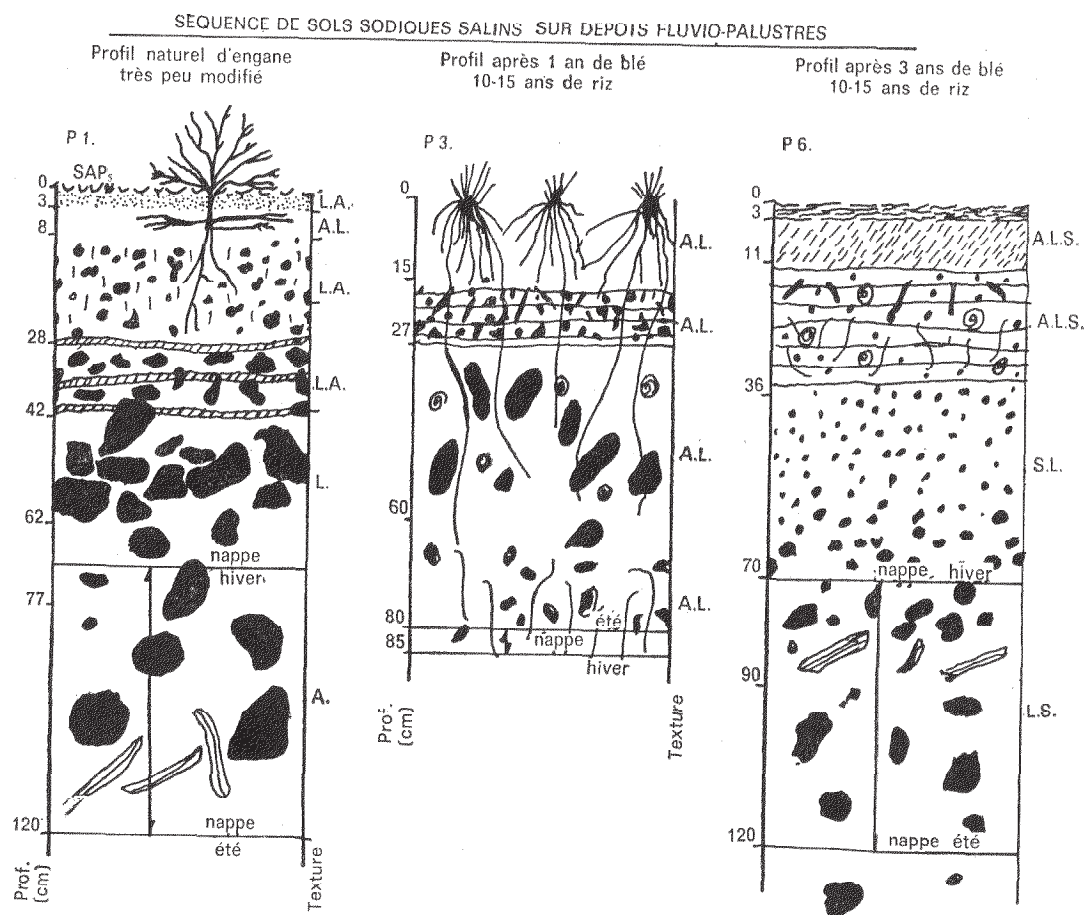


Figure 4a

SEQUENCE DE SOLS SODIQUES SALINS SUR DEPOTS FLUVIATILES

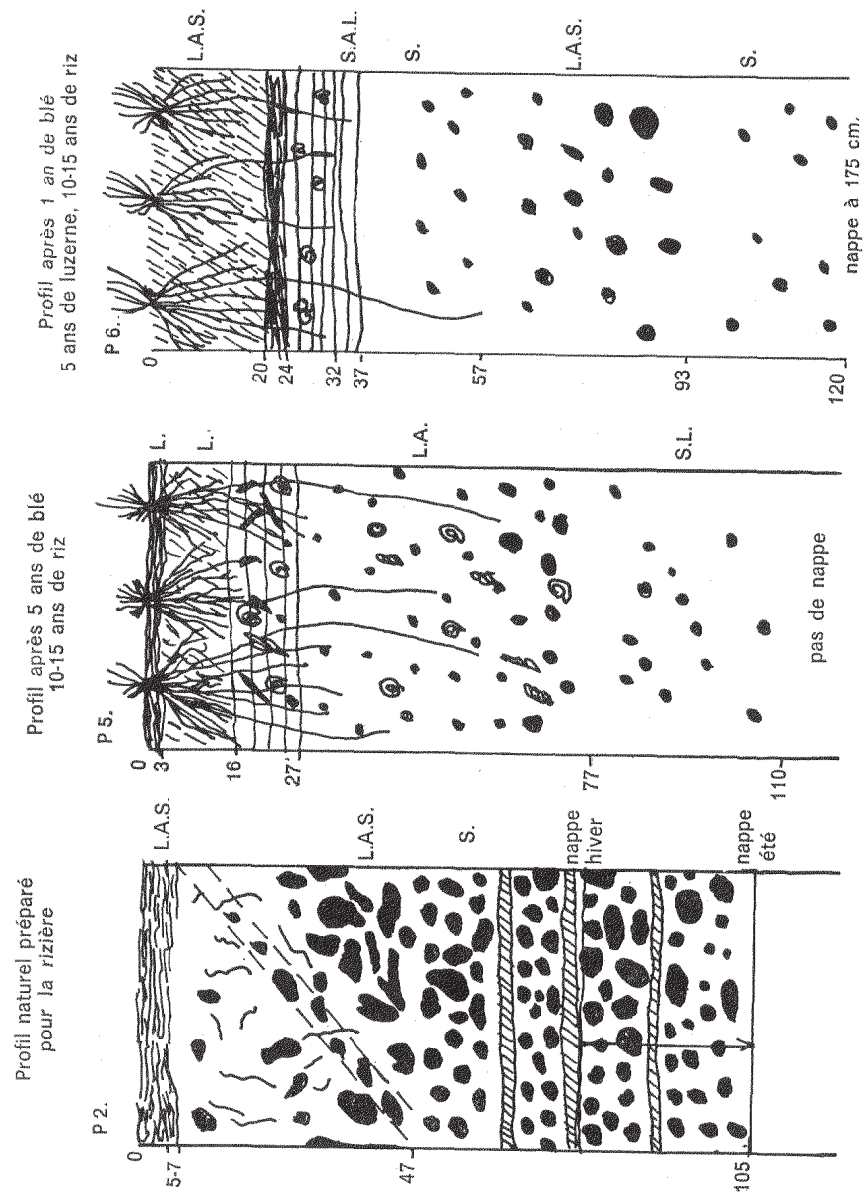
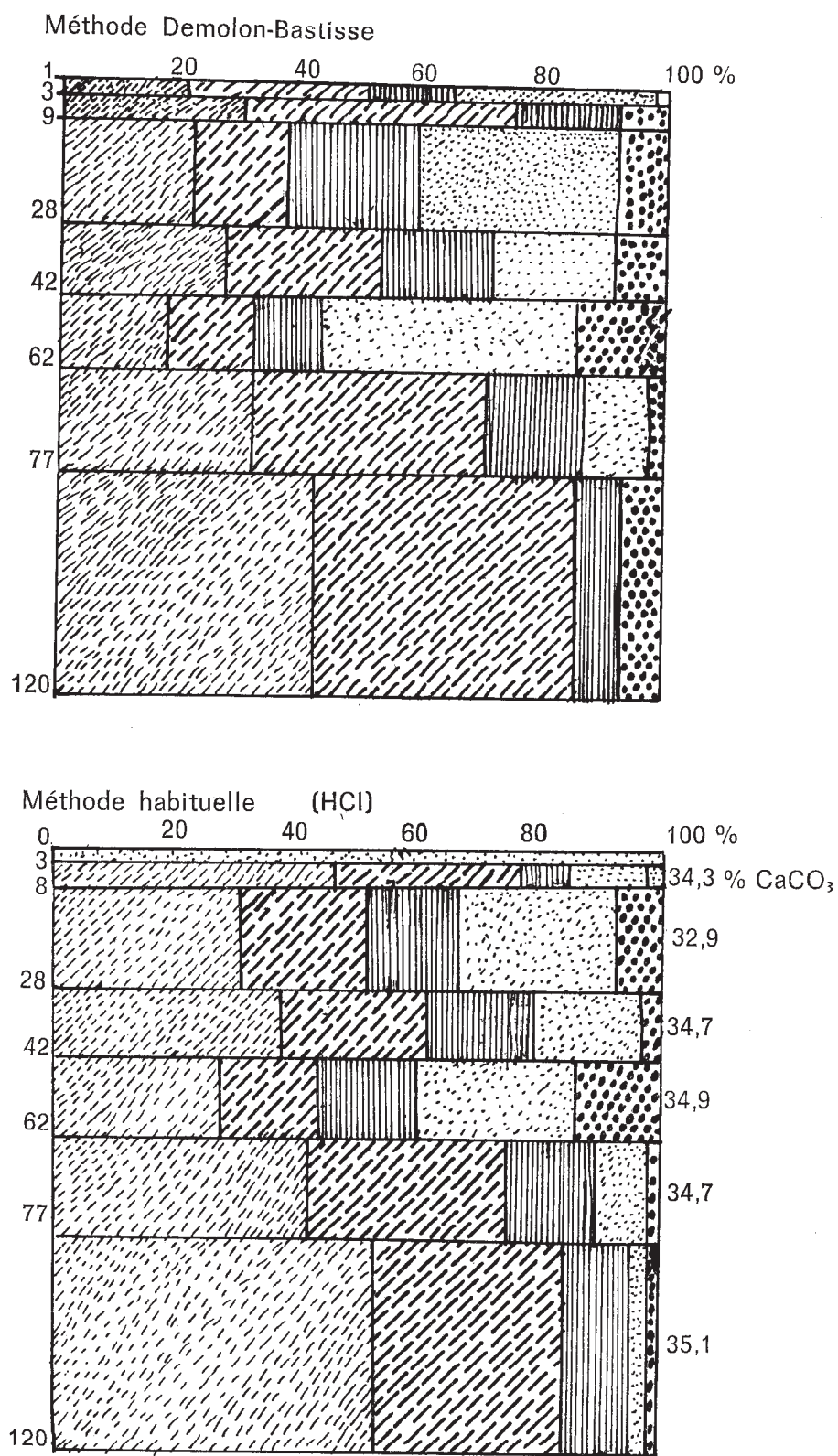


Figure 4-b



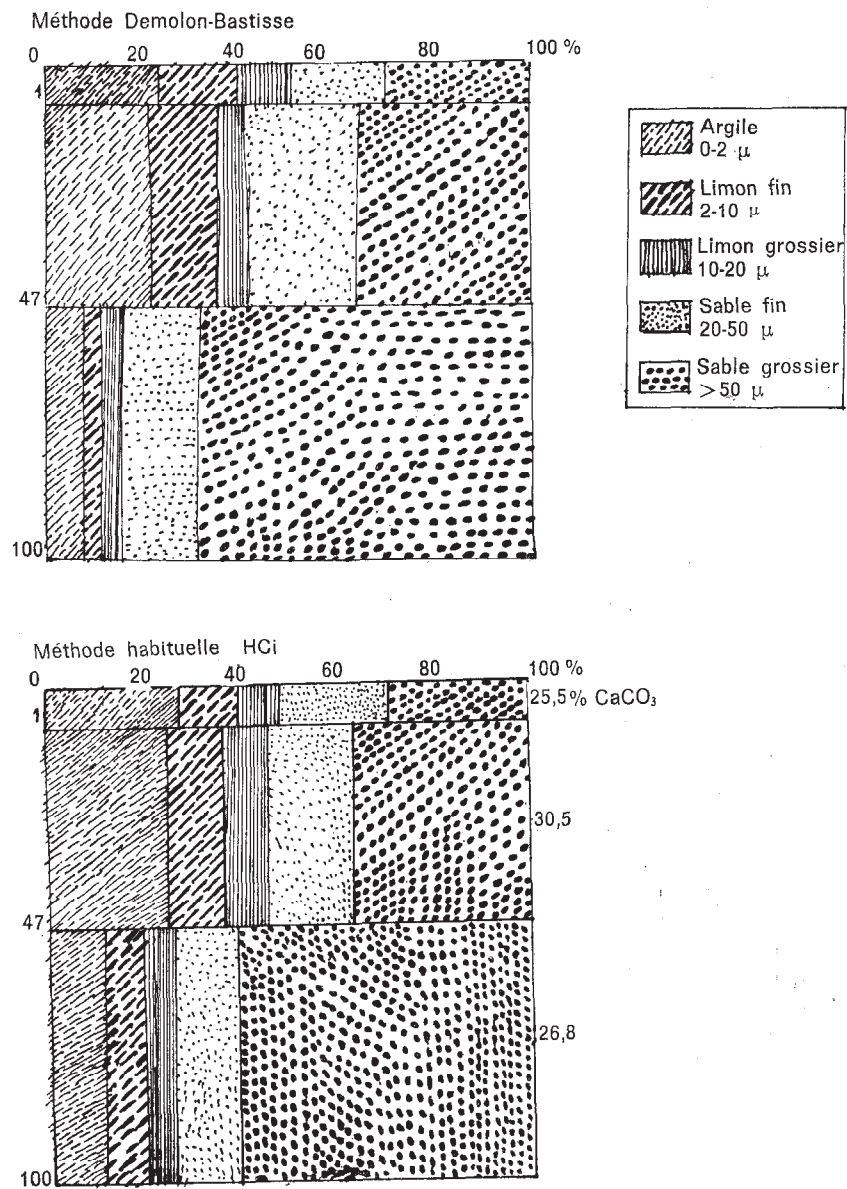


Figure 5 b.

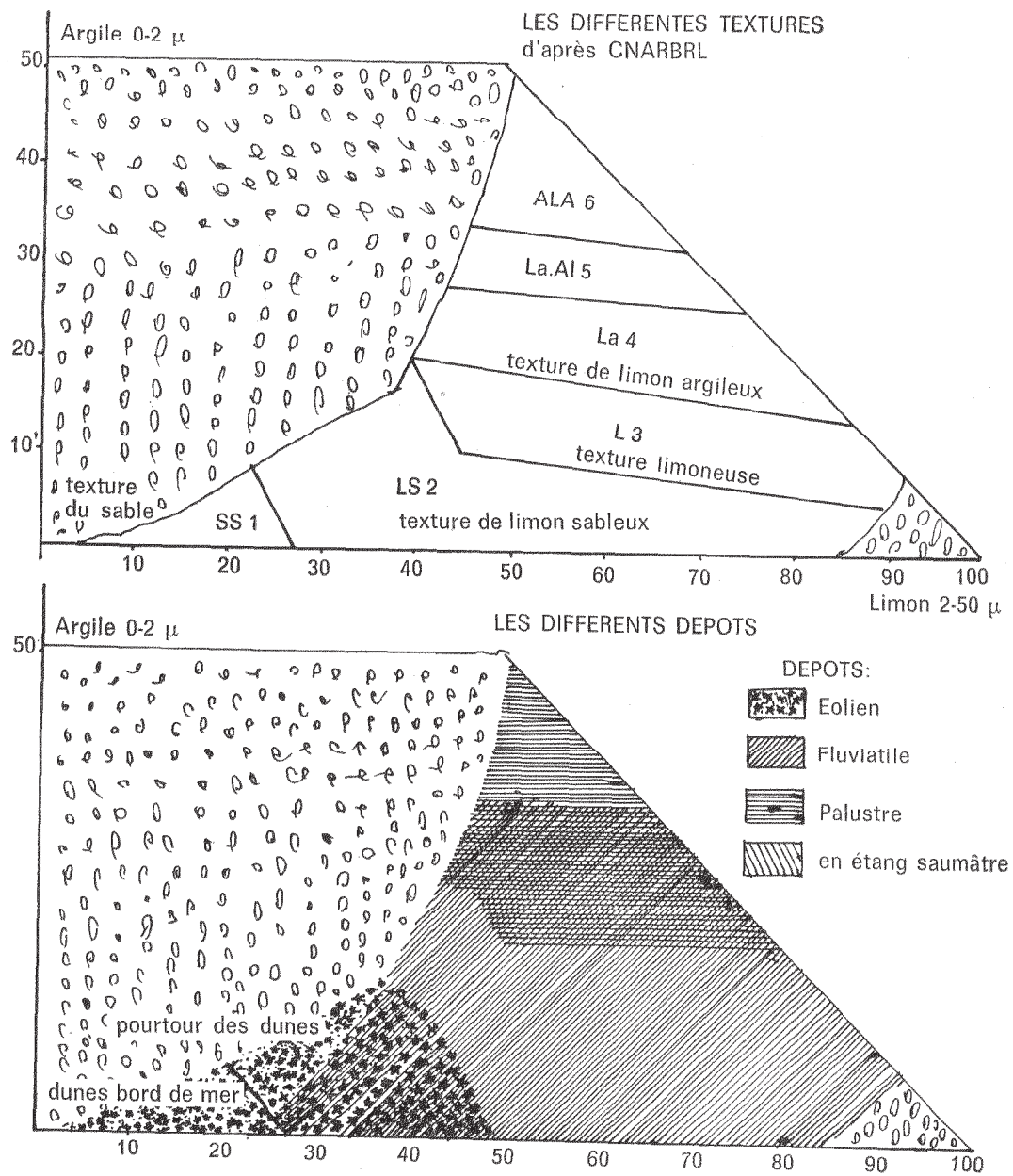


Figure 6.

Les teneurs en carbonates totaux élevées (32 à 35%) sont assez homogènes sur tout le profil SAP<sub>5</sub> (CI-P<sub>4</sub>) malgré une légère augmentation à la base du profil. Celle-ci peut s'expliquer par la précipitation de carbonates en milieu confiné (marais).

— Le pH - la salure:

*Répartition dans le profil.*

Les pH du profil SA<sub>4</sub> (CII P<sub>2</sub>) indiquent une *tendance à l'alcalinisation*; en profondeur (pH: 9). Il apparaît parallèlement que la nature des sels diffère en profondeur et que le S.A.R. est la conséquence de l'augmentation du taux de sodium soluble s'élevant en profondeur, il est permis de penser que le pourcentage de sodium échangeable y est aussi plus grand. Voilà pourquoi les pH sont plus élevés. La diminution des taux de carbonates à ce niveau accentue encore le processus, constatations faites dans tous les horizons de texture sableuse. Malgré le pourcentage de sodium échangeable élevé, nous ne pensons pas que ce sol soit soumis au colmatage ou à la battance car sa texture fortement sableuse favorise le lessivage, s'oppose aux remontées capillaires.

L'allure de la courbe des conductivités électriques selon les profondeurs du profil SAP<sub>5</sub> (CI P<sub>4</sub>), figure, montre l'importance de l'évaporation dans la dynamique des sels. Le profil est *extrêmement salé* sur toute son épaisseur mais la salure diminue assez régulièrement du haut vers le bas. Au niveau de 42 à 62 cm, la conductivité augmente, mais ce n'est que relativement. L'analyse granulométrique indique en effet que cet horizon est particulièrement riche en pseudosable fin, si bien que, compte tenu de son pourcentage de saturation (f. (\*)) de la texture.

Sa concentration en sels est (P.s.s.) tout à fait normale comparativement aux autres valeurs (voir tableau). Pour juger de l'accumulation des sels aux différents niveaux, il faut donc tenir compte à la fois des conductivités et des textures.

La salure est proche des 20%, quantité de sels incompatible avec le développement de beaucoup de plantes. Seules quelques familles d'halophytes tolèrent ces concentrations. La majorité des sels se trouve sous forme de *chlorures* tandis que les quantités de sulfates et surtout de bicarbonates sont insignifiantes par rapport à cet anion; la courbe des conductivités pourrait aisément coïncider avec celle des chlorures. Parmi les cations, le sodium est dominant puis viennent le magnésium et le calcium. Les quantités de magnésium nous font envisager la présence d'une roche-mère salée sodico-magnésienne

\* S.A.R. =  $\frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$ , Na, Ca, Mg. Il permet d'estimer le pourcentage de sodium échangeable par l'intermédiaire d'abaques. (U.S. Salinity Laboratory staff).

d'origine lagunaire sous les dépôts rhodaniens récents. Le potassium est en quantités négligeables.

Le pH du profil SAP<sub>5</sub> est celui d'un sol riche en carbonates. Comme dans tous les profils étudiés, il est plus bas en surface à cause de l'accumulation des sels. C'est que l'on a appelé « effet de sel ». Ce sol, bien structuré ne risque donc pas de se disperser à l'occasion des irrigations ultérieures.

*Les variations saisonnières:*

Les profils salins établis pendant la période estivale (f. 7) sont différents dans les deux sols. Dans le deuxième SAP<sub>5</sub>, la concentration des sels en surface est forte, imputable à la forte évaporation régnant pendant les mois d'été. Dans le premier (SAP 4) elle est beaucoup moins marquée. La texture du deuxième profil est limono-argileuse, ce qui explique pourquoi les mouvements « per ascencum » y sont plus marqués que dans le premier de texture plus grossière (continuité des filets capillaires).

L'allure des courbes de dessalage (pluies d'hiver) indique la tendance à un bon drainage dans les deux sols (courbes parallèles). La courbe d'hiver du premier profil SAP<sub>4</sub> beaucoup plus déportée vers la gauche montre toutefois que les mouvements « per descencum » y sont plus intenses, en raison de sa texture plus grossière.

La floculation des colloïdes du sol par les carbonates explique la normalisation des pH (8.2.) et le bon drainage rencontré dans le deuxième profil.

Nous avons suspecter une tendance à l'alcalinisation (pH 9) dans le premier profil mais le danger de glaçage est écarté par une granulométrie favorable, qui permet de la qualifier de perméable.

*Les « mèches ».*

Dans les grandes tâches noires, humides, à pH alcalin (pH: 8,9). Les quantités de sel sont plus importantes qu'ailleurs en surface (voir comparaison entre CII moy. et mèche dans les tableaux). *A ce fait s'ajoute une forte probabilité d'alcalinisation.* Le S.A.R. y est plus élevé les taux de carbonates y sont plus faibles. Ces tâches présentent une granulométrie légèrement plus fine qui entretient la continuité des filets liquides issus de la nappe salée.

*3.4.2. Les sols sodiques salins modifiés par les cultures.*

*3.4.2.1. Sols sodiques salins sur dépôts fluvio-palustres-profils CIII et CIV.*

*Morphologie.*

En raison de la compacité du sol (semelle des rizières), le labour qui devait atteindre 20 cm n'a pu dépasser 15 cm, dans le profil CIII. L'enracinement du blé est très concentré dans le nouvel horizon cultural A - g<sup>o</sup>. La semelle de labour (gr du sol de rizière) est un véritable horizon d'étrangelement.

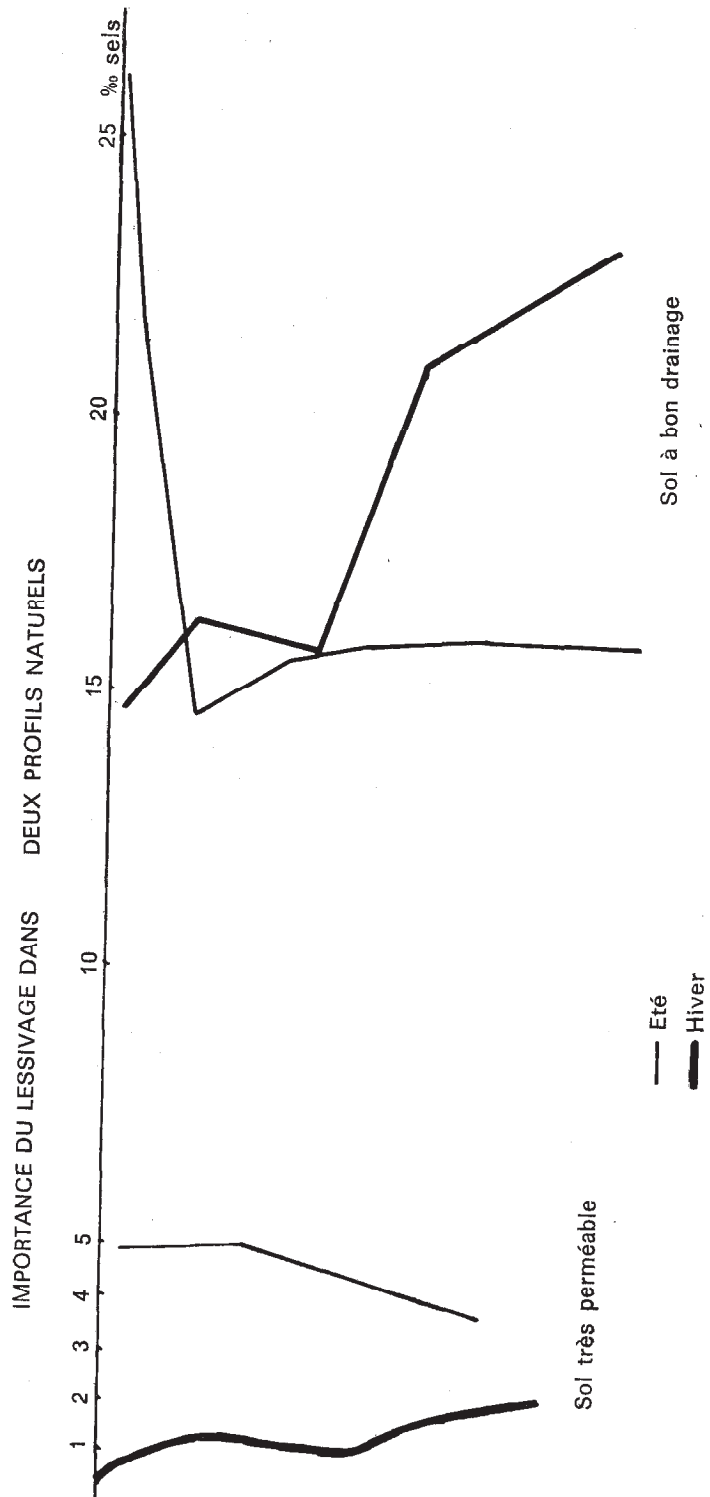


Figure 7.

Ces horizons conservent encore des pailles de riz de couleur noirâtre. La culture du blé n'a pas encore permis une forte activité biologique (prolifération des vers de terre, par exemple).

La couleur grise des horizons de surface nous paraît témoigner de la faible complexation organo-minérale.

Le litage des sédiments du profil CIV montre qu'il ne s'agit plus d'un dépôt fluvio-palustre aussi typique. Le faciès palustre est plus profondément enfoui, mais évoqué par les débris radiculaires de phragmites. Le profil se situe dans ce qui devrait être la partie latérale d'une levée qui a mordu sur un marais (f. 2, situation proche du profil CII (SA<sub>4</sub>). La parcelle correspondant à ce profil a été sous-salée par le propriétaire qui y a constaté une chute brutale des rendements. La surface du sol présente une pellicule peptisée.

#### *Données analytiques.*

Dans le profil CIII, la texture est homogène, du type argilo-limoneuse, avec toutefois une légère augmentation des fractions les plus fines en profondeur.

A 27-80 cm, on retrouve les conditions du marais profond du profil CI. L'alluvionnement y a été plus fin qu'au profil CI (P2), en raison du plus grand *élignement du chenal de débordement ancien*.

La couche argilo-limoneuse de surface a favorisé l'installation de nouvelles conditions palustres, comme l'indiquent les coquilles présentes.

Le profil CIV est plus sableux en profondeur. L'augmentation du taux des argiles, la présence de coquilles vu la surface y témoignent en faveur d'une dernière phase d'alluvionnement en milieu palustre.

— *Les carbonates*: Dans le profil CIII riches en éléments fins typiques des conditions palustres, les teneurs en carbonates totaux sont très élevées.

Dans le profil CIV c'est en surface qu'elles sont plus élevées et témoignent en faveur de l'influence palustre.

— *Le pH, la salure*. Dans le profil CIII, le pH est du même ordre de grandeur que dans les profils naturels CI-CII. Les pH, du profil CIV sont, par contre très faiblement alcalins en surface (pH: 7,5). Ils augmentent régulièrement vers la profondeur pour atteindre 8,6 à 90 cm.

Dans le profil CIII, la salinité du sol exprimée par sa conductivité électrique est très faible (2 mmhos/cm). Celle-ci permet de la qualifier de « sol non salé ». La quantité de sels, inférieurs à 0,5‰, est favorable à la culture actuelle du blé.

Les chlorures, plus solubles, ont été lessivés en même temps que le sodium. La composition cationique du sol salin initial est donc bouleversée. Le Ca et Mg préférentiellement associés à l'ion sulfate prennent la première place, c'est pourquoi, des traces de gypse apparaissent avec le processus de salinisation secondaire.

La courbe des conductivités électriques (F. 8) du profil CIV se rapproche de celle du profil CI. Ses horizons profonds sont toutefois plus sableux, si bien que sa réalimentation en sels à partir du sous-sol est freinée, le texture plus fine (argilo-limono- sableuse) de ses horizons superficiels explique par contre sa tendance à se resaliniser en surface.

Le graphique de la f. 8 illustre bien ce fait: les conductivités s'élèvent rapidement au dessus de 36 cm tandis qu'elles se stabilisent en dessous de cette profondeur.

Les sels sont les mêmes que dans le profil CIII mais ils sont plus abondants. Le P.s.s. passe de 0,4 à environ 3%. Les chutes du rendement constatées dans cette parcelle trouvent leur explication dans cette salinité.

#### 3.4.2.2. *Sols sodiques salins (à l'origine sur dépôts fluviaux). Profils CV et CVI.*

##### *Morphologie.*

La « semelle » de rizière (gr) induite à la fois par le travail du sol à l'état boueux et par le limonage par les eaux d'irrigation est très dure dans le profil CV. Dans le profil CVI, une semelle de labour de structure feuilletée (bp) engendrée par la charrue lors du labour préparatoires lui est surimposée.

Des tortillons de vers de terre nour sont apparus dans l'horizon Ap du profil CV, malgré une pellicule peptisée durcie en surface. La présence de coquille indique le faciès palustre mais il n'y a pas d'autres critères morphologique pour l'y rattacher, d'autant plus que le litage est très accusé.

##### *Données analytiques.*

— *Granulométrie - carbonates*: Dans les horizons profonds du profil CV (77-110 cm), le pourcentage élevé de sable, la présence de petits cailloux calcaires indiquent un lien de parenté avec ceux de la base du profil CIV (90 cm).

La situation de ce profil à proximité d'un chenal de crue repéré sur la carte 1/20.000e de la C.N.A.B.R.L. permet de supposer que ce dépôt résulte d'une crue brutale et de la courte durée qui a déposé d'abord les fractions les plus grossières, puis les plus fines en eau calme. Un marais temporaire s'est développé ensuite (coquille, augmentation des taux des carbonates en surface).

La granulométrie très grossière dans l'ensemble du profil CVI, l'absence de gastéropodes (sauf bien sûr dans le gr de la rizière) font penser à une *origine fluvio-éolienne des sédiments*. L'origine éolienne est indiquée par les deux niveaux très sableux riches en paillettes de mica, pauvre en carbonates et en argile qui seraient issus de dunes remaniées.

Le rapport des points dans le triangle des textures vient à l'appui de cette hypothèse. Ce sol a toutefois été cartographié SA<sub>4</sub>.

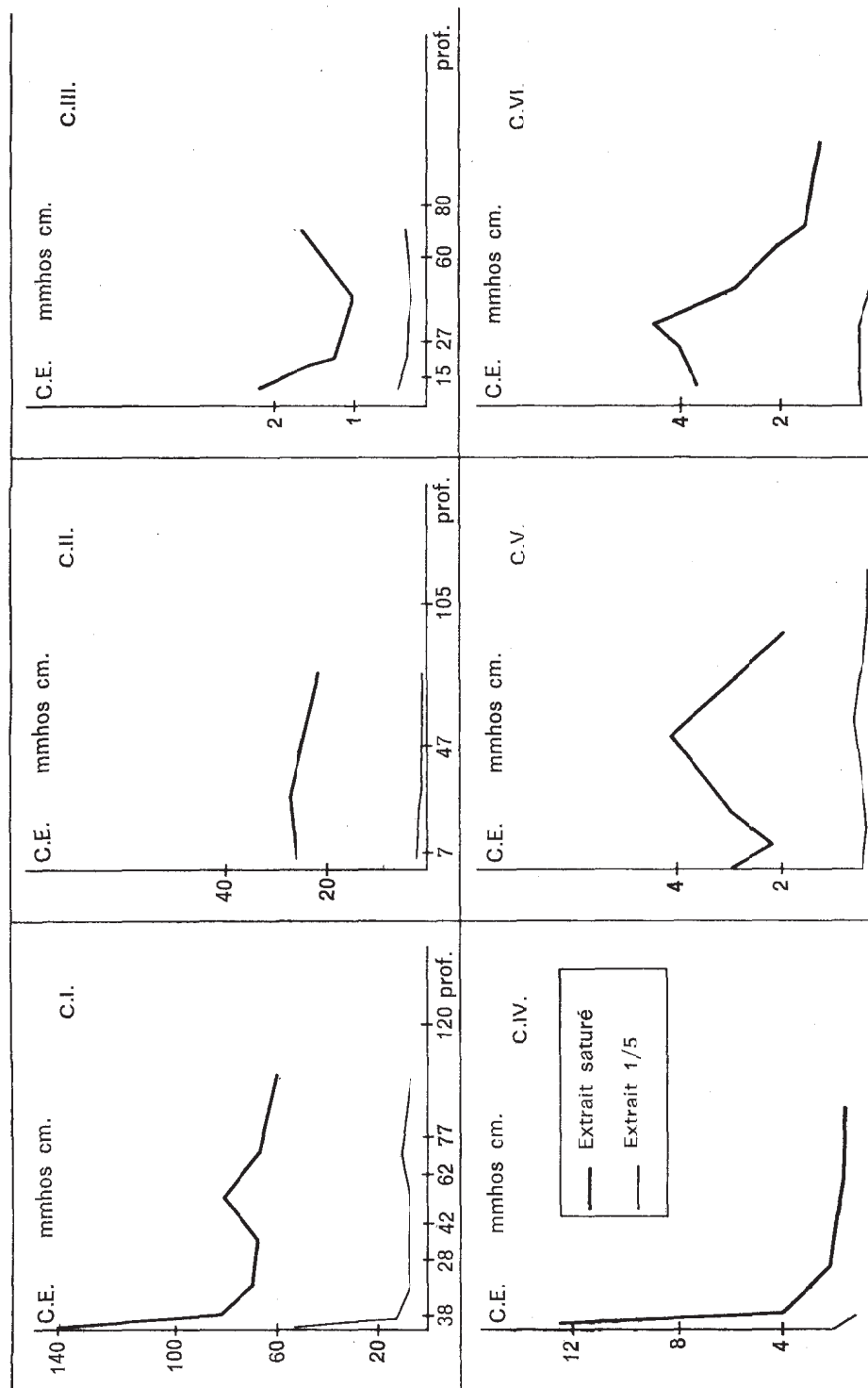


Figure 8.

La salinité du profil CV est plus faible que celle du profil CIV (FP<sub>5</sub>) malgré une disposition identique des sédiments. La position topographique semble bien être la cause. En effet, avec son altitude proche de 2,2 m N.G.F. (niveau général de France entre 1 m 3 pour CIV, ce profil peut échapper à de trop fortes remontées salines. La nappe n'a d'ailleurs pas été atteinte par la fosse pédologique.

Les conductivités proches de 3 mmhos/cm permettent de qualifier ce sol de « peu salé » en surface. La conductivité électrique s'élève à 4 mmhos/cm en profondeur mais *le P.s.s. reste inférieur à 1‰ sur tout le profil.*

L'allure de la courbe des conductivités (f. 8) fait ressortir l'opposition offerte par la semelle de labour remontées capillaires.

Après 5 ans de blé, l'assainissement est apparent. Il se manifeste par une profonde diffusion de la matière organique (jusqu'à 70 cm), voir la prolifération des vers de terre. *La brunification semble s'amorcer.* Celle-ci s'accroît encore vers le Rhône, dans les « hautes terres » du bourrelet.

Le maximum de salinité du profil CVI se situe au niveau de 32 à 37 cm cela confirme que la semelle freine les remontées (figure 8). La bonne structure de l'horizon cultural (très poreux) y interrompt en outre la continuité des capillaires (comparer avec les profils CV et CIV à croûtes peptisées plus salées en surface). Le profil doit cependant être qualifié de « peu salé à salé » en surface et « non salé » en profondeur.

Un sous-solage efficace à 60 cm (limite supérieure des horizons très perméables) devrait contribuer à ramener en profondeur la maximum salin enregistré à 35 cm.

Les sels sont identiques à ceux des autres profils de culture. Comme eux, ils sont relativement pauvres en K soluble. Les quantités de Ca et de SO<sub>4</sub> sont élevées (formation de gypse).

### 3.4.3. Conclusions agropédologiques.

#### — Morphologie des profils.

Dans les sols cultivés, l'horizon gr très compact véritable semelle de labour (CIII, IV, V, VI) est une séquelle à la riziculture. Sa porosité est généralement réduite.

C'est pourquoi il fait obstacle à la remontée des sels et au lessivage intense des engrais. Par contre, il est un horizon d'arrêt pour les racines.

Ce rôle des semelles ne s'exerce cependant pas avec la même efficacité dans les profils (comparer les profils salins CIV-CV en surface).

Il est très probable que le maintien de l'intégrité des semelles soit une condition nécessaire pour éviter une forte resalinisation en surface.

Ce joint serait à vérifier par d'autres études complémentaires.

— *Salinité des profils et pH.*

La salinité change en quantité et en qualité lorsqu'on passe des sols salins typiques aux sols de culture.

Dans les sols salins, la quantité de sels mesurée est avant tout en relation avec la texture. De 20‰ dans un sol de texture limono-argileuse, elle passe à 5‰ dans un sol de texture très sableuse. Le sodium est prépondérant dans la solution du sol, mais la présence de très fortes quantités de Mg soluble est l'indice de l'existence d'une ancienne lagune colmatée en profondeur.

— *La mise en culture a modifié quantitativement et qualitativement les salinités.*

Les teneurs chutent généralement en dessous de 1‰.

Les chlorures plus solubles sont délavés tandis que la part des sulfates de Ca et de Mg augmentent en proportion. Le gypse précipité renforce par conséquent l'action bénéfique du carbonate du calcium.

Les pH des sols salins bien pourvus en carbonates demeurent dans des limites d'alcalinité normale (8,2-8,4). Cependant, dès que la proportion de Na soluble augmente par rapport aux autres éléments (Na et Mg), on assiste à une élévation du pH. L'augmentation des S.A.R. exprime cette remontée corrélative du taux de Na échangeable.

En définitive l'assainissement des zones de transition entre les « parties hautes » (type de sol JA4) et les « parties basses » (type de sol SA4 ou SAP5) paraît donc possible malgré la présence de niveaux relativement salés en profondeur.

La chute de rendement la plus importante enregistrée par le propriétaire du Mas d'Eymini se situe en position basse (profil CIV - sol FP5) en milieu palustre accentué. La position topographique (mise en rapport avec la morphogénèse) est donc un facteur important dont il faut soigneusement tenir compte.

### 3.5. TEST DE LA PERMÉABILITÉ DES SOLS PAR LA MÉTHODE HENIN.

Nous avons tenté de tester la perméabilité par la méthode HENIN. Rappelons que le but de cette méthode est *de comparer la perméabilité de différents échantillons présentant une certaine stabilité structurale*. Dans le cas des sols salins, celle-ci est sous la dépendance du Na échangeable, qui provoque la dispersion des colloïdes et favorise ainsi le colmatage et le glaçage.

Le tableau III présente en parallèle la salinité des échantillons (mmhos/cm) et l'indice K de perméabilité mesuré en cm/jour. (Moyenne de plusieurs mesures dans des profils naturels (P<sub>2</sub> et P<sub>4</sub>) et dans des sols cultivés (P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>5</sub>).

Nous croyons pouvoir dégager les tendances suivantes à partir des résultats enregistrés (les effets de la texture étant mis à part):

1° Dans les deux sols salins ( $P_2$  et  $P_4$ ), la quantité d'eau percolée *est inférieure à 1 cm jour* (les horizons sableux profonds ( $P_2D$  et  $P_2F$ ) mis à part).

2° Malgré une salinité très inférieure à  $P_4$  (CI), le profil  $P_2$  (CII) présente des valeurs de K plus faibles en surface. Son alcalinité plus fortes (voir  $P_4$ , tableau II) permet d'expliquer ces chiffres.

En profondeur, nous l'avons vu, sa texture sableuse masque les effets de l'alcalinisation.

3° Les quantités d'eau percolées augmentent dans les échantillons de sols cultivés ( $P_3$  et  $P_5$ ). Ce fait peut être attribué à un meilleur état structural (incorporation de matière organique), cet effet est surtout marqué dans l'horizon Ap du sol à blé ( $P_3A$ ) dont les valeurs de K sont les plus fortes.

4° La « perméabilité » de la rizière d'un an est très faible. L'alcalinité du profil en est la cause. (Même sols que  $P_2$ ). Les valeurs très faibles de K des horizons profonds (proches de 0) relèvent leur peptisation.

*Ce comportement est heureusement favorable au maintien du plan d'eau de la rizière.*

### 3.6. ETUDE DE LA SALINITÉ DES NAPPES DANS DIVERSES SITUATIONS GÉOMORPHOLOGIQUES ET ÉDAPHIQUES (Voir la carte d'occupation du sol).

C'est dans le but de récolter un complément d'information au travail réalisé sur la salinité des sols que nous avons entrepris cette étude.

La nappe a été analysée dans des profils et dans un certain nombre de sondages effectués dans diverses situations géomorphologiques. Les conductivités enregistrées dans la nappe et la profondeur de celle-ci sont reportés dans les figures de la planche I.

Ces mesures présentent beaucoup d'intérêt pour la pratique de la dessalinisation des terres.

Dans une même parcelle, la salinité de la nappe varie parfois en fonction de la proximité d'un plan d'eau (celui du marais proche de  $P_4$  par exemple). Elle diminue à proximité des canaux d'irrigation et augmente en direction des canaux de drainage (voir  $P_8$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ).

Les salinités de nappes enregistrées dans les deux sols salins ( $P_2$  et  $P_4$ ) confirment les hypothèses avancées précédemment à propos de l'étude de la perméabilité des sols en rapport avec leur texture et leur degré d'alcalinité. En effet, les conductivités de nappe passent d'environ 15 mmhos/cm dans le sol très perméable  $P_2$  (très sableux) à 90-100 mm/hos/cm dans le  $P_4$ , moins perméable.

Plus intéressantes encore sont les différences constatées entre les parcelles de cultures différentes et d'âges variables.

L'effet du lavage des terres par la riziculture se marque très nettement dans la salinité des nappes. De 5 à 10 mm/hos/cm dans la rizière de 15 ans. La submersion répétée chaque année, le maintien d'un bon réseau de drainage favorisant un lessivage efficace des sels expliquent la diminution de la salure dans les vieilles rizières.

*Dans les parcelles de blé, la salinité de la nappe reste proche de celle des anciennes rizières.* La resalinisation du profil dépend alors du type de sol (texture, porosité, situation). L'action des conditions climatiques (évaporation, pluviosité) est en effet secondaire lorsqu'on raisonne au niveau de la parcelle.

En principe, on s'attendrait à ce qu'une parcelle cultivée en blé pendant 5 ans consécutifs est plus salée qu'une parcelle cultivée en blé pendant 3 ans. Or il n'en est rien! La salinité des nappes des deux parcelles ( $P_5$  et  $P_6$ ) reste proche de celle d'une rizière de 15 ans mais la resalinisation du profil s'avère importante dans le blé des 3 ans ( $P_6$ ). La parcelle qui porte 5 ans de blé ( $P_5$ ) demeure moins salée dans son ensemble, tout comme sa nappe.

C'est ici que se manifeste l'importance de la position des parcelles dans le cadre géomorphologique (et non plus seulement l'historique culturel). La parcelle  $P_5$  (blé de 5 ans) est située plus au Nord vers le petit Rhône, à l'altitude de 2,2 m N.G.F. alors que celle-ci est de 1,3 m N.G.F. pour le blé de 3 ans.

La nappe étant plus profonde en  $P_5$  (voir tableau II), le sol reste soustrait à de fortes remontées salines.

#### 4. CONCLUSIONS GENERALES.

En guise de conclusion, voici, en quelques mots, les réponses que nous pouvons apporter aux questions posées dans l'introduction:

*La riziculture modifie le sol mais non irréversiblement.* Lors de la reconversion des terres, pour la céréaliculture, l'agriculteur doit faire sauter la semelle des rizières par plusieurs sous-solages croisés, pour permettre le développement d'un bon enracinement du blé. L'éclatement de la semelle se fait. Cette pratique se justifie car l'action bienfaisante de l'enracinement est faible dans le profil. De longs faisceaux radiculaires sont entourés d'une ébauche de structure grumeleuse dans les traits de sous-solage, la stabilité structurale s'accroît.

*Les pratiques culturales bien menées, bien adaptées favorisent la rapide reconversion des rizières en bonne terre à blé.*

Cependant, le danger des remontées salines est essentiellement fonction de la position de la parcelle, c'est à dire de son altitude relative N.G.F. Ainsi à conditions climatiques égales, les parcelles de blé situées sur les hautes terres

(sols SA<sub>4</sub>) restent souvent sous-traitées au sel (parcelle de blé de 5 ans). Cependant, les dépressions locales associées à ces parties hautes de bourrelet demeurent exposées à la salinisation (parcelle de blé de 3 ans). C'est pourquoi, *il reste nécessaire d'installer le blé sur les « hautes terres » et d'adopter éventuellement un retour plus rapide du riz dans les dépressions.*

Il est dangereux de faire du blé à proximité d'une zone de rizières en raison de l'élévation de la nappe aux alentours de celle-ci. *Les rizières doivent plutôt être implantées dans les parties déprimées du paysage.* (S. de la propriété), le blé, la vigne sur les hautes terres (N. de la propriété).

Le maintien d'une bande intermédiaire d'engane dans cette zone centrale de la propriété, devrait favoriser l'accumulation des sels. Elle servirait de « zone tampon » entre les deux cultures antagonistes.

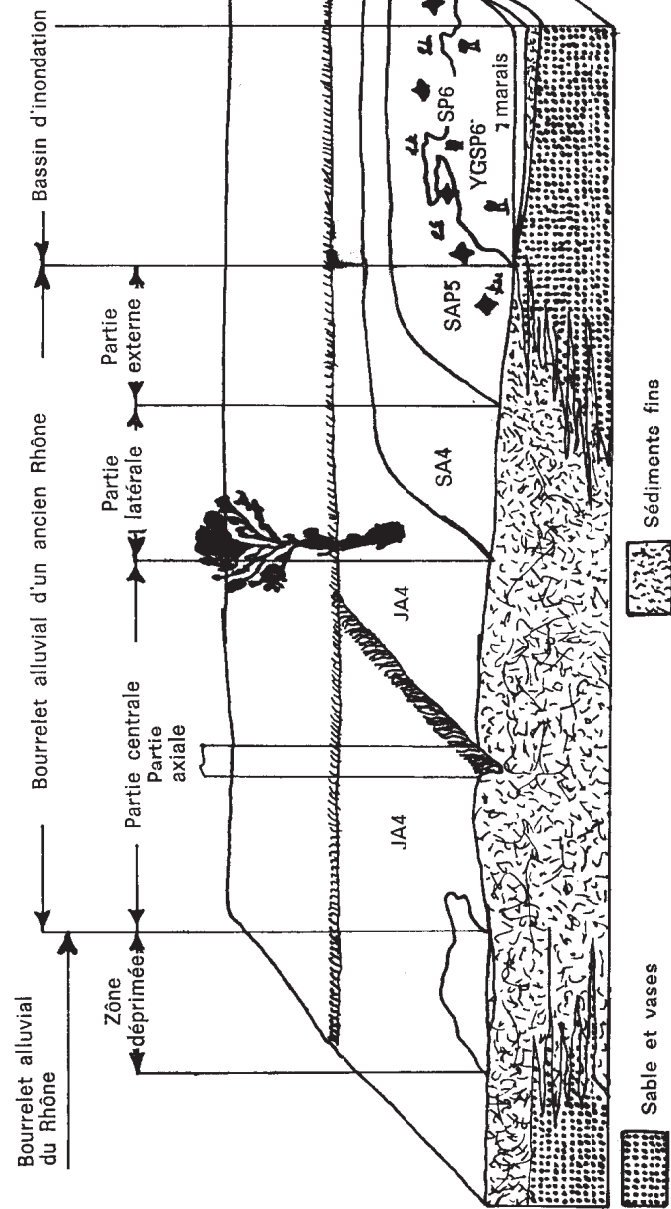
Il est évident que notre étude n'a pu approfondir tous les problèmes qui ont surgi au cours des investigations. L'étude des semelles de labour ou celle des nappes par exemple mériterait une attention toute particulière.

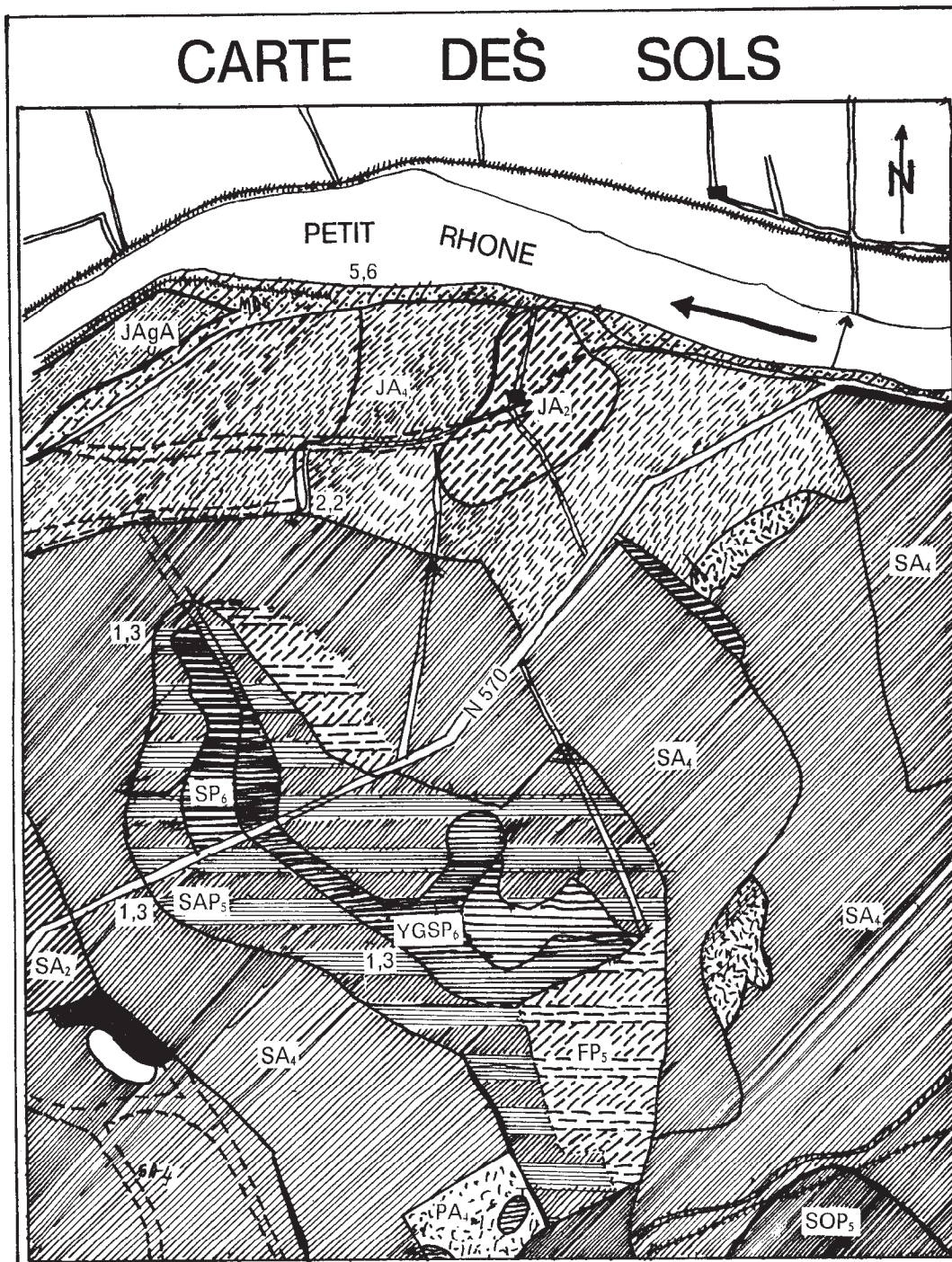
Nous avons cependant voulu faire remarquer qu'il est temps de se pencher sur les problèmes locaux, au niveau de la parcelle, tout en soulignant la valeur de l'étude générale réalisée par la C.N.A.B.R.L. qui permet de bien cadrer les études à la parcelle. Elle permet au départ d'éviter les faux problèmes qui conduiraient à de fausses interprétations.

#### BIBLIOGRAPHIE

- GAUCHER G., BURDIN S., 1974 - *Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés*. Techniques vivantes - Presses Universitaires de France.
- GOUNY P., 1964 - *Problèmes Agronomiques en Camargue*. Ann. agron. IN.R.A., 15 (2) p. (193-204).
- GOUNY P., 1966 - *Les particularités de la fertilisation en riziculture*. Extrait du bulletin des engrais, n. 495.
- HEURTEAUX P., 1962 - *L'eau et le sel en Camargue. Position du problème et résultats des premières recherches*. Ext. de « la terre et la vie », n. 1.
- HEURTEAUX P., 1964 - *Première étape vers l'établissement du bilan hydrologique de la Camargue: Etude expérimentale du bilan de l'eau des rizières*. Ext. de « la terre et la vie » n. 3, (p. 269 à 293).
- SERVAT E., 1966 - *Sur l'aménagement de la Camargue*. Colloque hispano-français - Revalorisation des terres marécageuses et salées - Seville novembre 1966.
- VIGNERON J., 1970 - C.N.A.B.R.L.: *Rapport général de l'étude hydrologique, pédologique et de salinité*.

# BOURRELETS ALLUVIAUX





# CARTE GEOMORPHOLOGIQUE .

