

SALINITE DES EAUX D'IRRIGATION PROBLEMES ET SOLUTIONS

Jean-Yves LOYER

Directeur de recherches
Département Eaux continentales de l'ORSTOM
Centre ORSTOM de Montpellier
BP 5045
F 34032 Montpellier CEDEX 1

Face à l'augmentation prévisible de la superficie des terres irriguées sur la planète -230 à 250 millions d'hectares actuellement pour 400 à 500 millions d'hectares dans un proche avenir (J.S.KANWAR, 1982)-, le problème de la disponibilité en eau de qualité devient de plus en plus crucial. Bientôt l'Afrique sahélienne atteindra le million d'hectares de terres irriguées. La Tunisie passera de 50 à 300 000 hectares, soit 10 % de ses terres agricoles ; la Mauritanie, de 10 à 50 000 hectares...

Le problème se pose sous les deux aspects, quantitatifs et qualitatifs, souvent interdépendants en zones arides et semi-arides. Quelles sont les ressources en eau dont peut disposer l'agriculture sous ces climats, et de quelle nature sont-elles ?

LES EAUX SUPERFICIELLES

Les eaux superficielles renouvelables sont soumises dans ces régions à des régimes pluviométriques concentrés et aléatoires. Néanmoins, bon an mal an, il est possible de compter en moyenne sur quelques 50 milliards de m³ de précipitations annuelles sur des territoires comme la Syrie, quelques 33 milliards sur la Tunisie et pour le Sénégal sur une centaine de milliards de m³ (PNUD, 1985). Affectés de coefficients de ruissellement plus ou moins élevés, ces chiffres sont encore énormes ; mais les aléas pluviométriques fréquents, dus à de fortes variabilités interannuelles, amènent à être prudent sur leur portée réelle. Il suffit de se souvenir des nombreuses années déficitaires relevées en zone méditerranéenne, ou bien des longs cycles de sécheresse des décennies 70 et 80 sur le Sahel africain. Des écoulements comme ceux du fleuve Sénégal qui ont connu un régime d'abondance avant 1903, avec plus de 20 milliards de m³ écoulés par an, sont tombés à 7 milliards en 1983-84. Le Niger pour sa part a cessé de couler à Niamey en 1984...

Les étiages très bas qui résultent de ces situations peuvent avoir des effets nocifs au plan qualitatif, permettant des remontées marines dans les lits mineurs : Dans les eaux du fleuve Sénégal, une salinité de 0,1 g.l⁻¹ s'est manifestée à plus de 250 km à l'intérieur des terres (avant-barrage) (J.-Y. GAC, 1985). Par ailleurs, les eaux d'étiages présentent bien sûr une concentration plus forte que celles des crues, mais voient aussi leur faciès chimique affecté pendant ces périodes, devenant plus sodique par exemple pour le fleuve Niger (M. CAMAIL et al, 1987).

Ces eaux superficielles originaires de châteaux d'eau montagneux comme le Fouta Djallon en Guinée, le plateau arménien en Turquie pour l'Euphrate, coulent en régions allogènes plus sèches, mais sont aussi soumises à des variations spatiales et saisonnières qui obligent pour les utiliser à des stockages dans des

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 34.994 ex 1

Cote : B p68

M
21 FEV. 1992

réservoirs. Ceux-ci sont de dimensions et de géométries variables et ont des fonctions multiples (stockage, régulation, antisel). Depuis le gigantisme de Assouan avec ses 157 milliards de m^3 de capacité, de Tabka, Keban et Ataturk sur l'Euphrate, Manantali et Diama sur le Sénégal, le barrage de Mohamed V sur la Moulouya avec quelques 470 millions de m^3 , ou celui de Sidi Salem sur la Medjerdah, ceux du Nord Mexique sur le rio Nazas... en allant jusqu'aux petites retenues collinaires ou *açudes* du Noreste brésilien, ou *presones* du Nord Mexique dont la capacité est de quelques dizaines de milliers de m^3 , on ne compte plus les ouvrages en fonction ou projetés à moyen terme sur de nombreux territoires.

L'exemple d'un petit pays comme la Tunisie, et sa stratégie de mobilisation des eaux pour les dix années à venir, est significatif à cet égard (H. CAMUS, communication personnelle) : l'objectif premier des autorités est en effet de mobiliser 100 % des ressources en eaux superficielles du territoire. Ceci devrait se faire, en plus des 18 grands barrages existants par la construction de 20 autres, 203 barrages collinaires et la réalisation de 1 000 lacs collinaires, auxquels il faut ajouter de très nombreux lacs de retenue (de capacité de 50 à 100 mille m^3) et aussi de digues de retenues (de capacité de mille à 20 mille m^3). Soit un potentiel d'eaux de surface de 2,5 milliards de m^3 /an totalement mobilisés en l'an 2 000.

Ces retenues diverses implantées sur le lit des cours d'eau présentent aussi des effets néfastes :

- elles induisent des étiages très bas, voire nuls (1 m^3 /sec. pour la basse Moulouya par exemple, C. MATHIEU, 1979), qui favorisent les entrées marines. Notons que ce phénomène a même été constaté en Asie du Sud Est, sous des climats pourtant nettement plus humides.

- elles conduisent à des stockages importants de limons fertiles autrefois utiles aux terres agricoles (exemple du Nil).

Les atterrissement dans les barrages peuvent être très importants au moment des crues. On a estimé par exemple que le Fleuve Jaune transportait régulièrement quelques 600 g/l de débits solides (B. POUYAUD, comm. personnelle).

L'oued Medjerdah lors des épisodes brutaux de 1973 a transporté 100 g/l de sédiments pendant seulement six jours de crues qui ont égalé l'écoulement annuel normal (près d'un milliards de m^3). Des barrages comme celui sur l'oued Kebir en Tunisie, sont totalement comblés par 25 millions de m^3 d'alluvions. Une étude a montré dans ce même pays (J. CLAUDE et R. CHARTIER, 1977) que le taux des apports solides dans les différents réservoirs représentait entre 0,8 et plus de 3 % des apports liquides, et que la durée de vie de ces barrages pouvait s'estimer entre 30 et 120 ans selon les cas.

- Le problème de l'évaporation de ces plans d'eau ne se présente pas de la même façon selon le régime climatique, méditerranéen ou tropical sec : sur le barrage Mellègue en Tunisie, H. DOSSEUR et al (1984) ont estimé que l'accroissement de salinité des eaux sur une année, passait de 1,8 à 1,94 g/l avec une évaporation estimée à 3,5 % des apports liquides. Par contre sur des retenues tropicales de faible profondeur comme celle de Diama sur le fleuve Sénégal (500 km² de superficie), ou celle du lac de Guiers, on a estimé que les pertes totales (évaporation, infiltration) constituaient 79 % de la consommation ; c'est dire qu'elle représentent 375 des 500 millions de m^3 stockés (J.-Y. GAC, 1985).

Le climat et la géométrie de ces réservoirs influencent donc considérablement cette évaporation ; une étude récente au Brésil a montré, outre l'influence de la forme de la retenue, qu'il y avait tout intérêt à consommer chaque année la totalité de l'eau des *açudes* plutôt que de la laisser se concentrer et provoquer un accroissement progressif de la salinité année après année (A. LARAQUE, 1991).

A partir de ces réserves d'eau, on a parfois aussi recours à de longues **adductions par canaux** qui

conduisent les eaux jusqu'aux sites d'utilisation : le Canal Medjerdah - Cap Bon en Tunisie, par exemple, qui véhicule sur 120 km quelques 1 390 mille m³ par jour, dont 400 mille sont destinés à l'irrigation. Un projet similaire, le "Canal du Cayor" projeté au Sénégal, conduira sur 250 km les eaux du fleuve jusqu'à Dakar avec un écoulement de 1,5 million de m³/jour, dont 700 mille seront réservés à l'irrigation en cours de trajet, l'autre moitié étant prévue pour l'alimentation urbaine et la recharge des nappes profondes. Si, bien sûr, on doit admettre sur ces grands canaux quelques pertes par évaporation, celles par infiltration peuvent être empêchées par l'utilisation de revêtements ou de béton. Par contre, en ce qui concerne certains réseaux de distribution plus en aval, réalisés par des canaux de terre, on y a mesuré des pertes importantes par infiltration pouvant atteindre 25 % en fin de réseau primaire sur la vallée de l'Euphrate (G. BOUTEYRE, 1991).

LES EAUX SOUTERRAINES

Dans beaucoup de cas, pour satisfaire une demande toujours croissante et une disponibilité parfois insuffisante ou mal exploitée, le recours aux eaux de **grands aquifères souterrains**, non renouvelables, est souvent devenu obligatoire. Les problèmes qui se posent alors sont aussi d'ordres quantitatif et qualitatif. Si le volume du réservoir de ces aquifères fossiles est à peu près connu -quelques 3 000 milliards de m³ pour la nappe sénégal-mauritanienne- leur taux de remplissage l'est très mal, d'autant plus qu'il s'agit souvent de nappe en charge (M. AUDIBERT, 1966). La tendance actuelle conduit à un abaissement de ces nappes profondes où chacun puise de façon incontrôlée. Mais encore, cette surexploitation a par ailleurs des conséquences néfastes au plan de la qualité des eaux :

- la nappe sénégal-mauritanienne, du fait de son abaissement est contaminée **latéralement** par des pénétrations marines. Dans sa partie ouest (région du Sine-Saloum), les eaux atteignent et dépassent même 4g/l. Celles de la partie est de la nappe, en contact avec le socle éruptif, sont, elles, parfaitement douces (J.-Y. LE BRUSQ, 1985). Il en est de même des grands aquifères tuniso-lybiens ou d'Arabie qui ont une bordure maritime.

- **verticalement** également il a été constaté une dégradation de ces eaux due à leur stratification saline ; leur sur-exploitation conduit à des soutirages d'eaux de plus en plus chargées. La nappe de la Comarca Lagunera du Nord Mexique par exemple, dont l'abaissement depuis 1963 est de l'ordre de 1,5 mètre par an en moyenne, a vu sa conductivité multipliée par 2 en 25 ans, atteignant localement 6 dS.m⁻¹. Les niveaux aquifères profonds y sont en outre affectés par la présence d'arsenic, en quantité croissante ces dernières années, et pouvant atteindre jusqu'à 0,5 mg/l.

LES EAUX MARGINALES

Dans les conditions de pénurie qui tendent à s'instaurer; le recours aux eaux marginales aux plans quantitatif et qualitatif, devient donc de plus en plus fréquent en régime de cultures irriguées.

Il peut s'agir d'eaux **superficielles naturellement salées** en relation avec la géochimie des bassins versants originels : les eaux de la Moulouya au Maroc dont la charge soluble atteint 0,7 g/l avec un faciès magnésien dû aux matériaux du Haut Atlas (A. RUELLAN, 1963). Les eaux de l'oued Tessa sur la Medjerdah qui traversent les massifs de Trias des hautes plaines tunisiennes ou celles de l'une des branches du Zéroud en Tunisie centrale, influencées par les marnes salées et gypseuses, sont salées originellement. L'oued Medjerdah lui-même, avant la régulation de ses écoulements par les barrages, n voyait sa charge en

sel passer de 1,3 à 4,7 dS.m⁻¹ en période sèche (CRUEZI, 1969).

Il peut s'agir aussi d'eaux superficielles salinisées par de nombreux rejets qui y sont effectués d'amont en aval. Les exemples sont nombreux de concentration graduelle d'eaux, dont les flux transfrontaliers pénalisent plus ou moins gravement les périmètres irrigués des pays situés en aval : le Rhin, l'Euphrate et le Rio Grande pour ne citer qu'eux.

Localement parfois certaines eaux de drainage sont même directement utilisées par les paysans qui installent des parcelles de culture en bordure des grands périmètres.

Parmi ces eaux marginales, les eaux résiduaires des grandes cités, appelées *aguas negras* au Mexique, riches en matières organiques, sont très prisées pour l'irrigation. Il faut savoir qu'elles contiennent beaucoup d'autres matières, toxiques, que ce soient des métaux lourds ou, pour ce qui nous concerne, des sels, nitrates, phosphates, chlorures... des mesures ponctuelles effectuées dans ces eaux de la banlieue de Mexico, ont montré que certaines atteignaient des conductivités de 10 dS.m⁻¹. Parfois ces eaux usées sont traitées et épurées avant irrigation comme certaines utilisées dans la banlieue nord de Tunis, mais ce n'est malheureusement pas toujours le cas.

Les eaux des nappes phréatiques superficielles doivent aussi à plusieurs égards être considérées comme marginales. Il s'agit en effet de nappes fragiles alimentées par les pluies saisonnières et souvent en équilibre instable avec un front marin. Elles sont facilement contaminables en particulier lorsqu'elles sont soutirées de façon trop intense au moyen de pompes. Leur utilisation rationnelle et prudente par les petits moyens des paysans, avait jusqu'ici permis le maintien de cet équilibre. Il se trouve que beaucoup d'entre elles sont aujourd'hui salinisées par contamination marine, et des périmètres sont en conséquence abandonnés (Sahel sfaxien de Tunisie, Niayes du Sénégal...)

On connaît les conséquences de l'utilisation incontrôlée de ces eaux sur la salinisation et l'alcalinisation des sols (J.-Y. LOYER, 1991), voir figures 1 et 2. Sachant déjà que des eaux de bonne qualité comme celles du fleuve Sénégal qui titrent 50 mg/l de sels, apportent pour une dose d'irrigation de 10 000 m³ d'eau, 500 kg de sel à l'hectare, on imagine les apports de ces eaux marginales. Ils ont été calculés par exemple pour la basse Moulouya (C. MATHIEU, 1979) et exprimés pour les différents ions : avec seulement 5 000 m³ d'irrigation par hectares, ces eaux à 700 mg/l apportent en kg :

Calcium	230	Chlorures	675
Magnesium	310	Sulfates	1365
Sodium	425	Carbonates	670
Potassium	17	Bicarbonates	670

LES SOLUTIONS

Parmi les solutions préconisables pour une meilleure gestion des systèmes de production par irrigation, la première vise à privilégier toutes méthodes favorables à une économie d'eaux de qualités.

Dans les conditions des irrigations, certaines conclusions émises par le projet CRUEZI en Tunisie méritent d'être reprises, comme la nécessité d'adapter les informations ponctuelles obtenues sur lysimètres qui surestiment les besoins réels des cultures aux champs. Au Nord Mexique, 30 000 m³ d'eau à l'hectares sont utilisés pour la culture des luzernes alors que 24 000 suffiraient, 23 000 m³ pour la vigne contre 12 500 m³ nécessaires...

Limiter ce gaspillage des eaux douces en adaptant les quantités aux besoins réels des plantes et aux caractéristiques hydrodynamiques des sols sont des recommandations maintes fois répétées.

Sous conditions salines, la conduite des irrigations et des lessivages doit tenir compte des conditions climatiques différentes en domaine méditerranéen et tropical sec. Sous les premières on peut en particulier profiter au maximum des pluies hivernales pour lessiver les sols déjà bien humectés. Lorsque ces précipitations tombent en saison chaude, la situation est nettement moins favorable.

Concernant la fraction de lessivage, les normes habituellement définies et calculées par différentes méthodes (J.-D. RHOADES, 1974 et V. VALLES et al, 1988), sont souvent excédentaires ; elles ont en effet pour but de lessiver la totalité des sels profondément dans les sols ; cette pratique, outre les importantes quantités d'eau qu'elle nécessite, oblige ensuite à évacuer l'excès d'eau par drainage. La tendance actuelle serait de maintenir ces sels à une certaine profondeur, donc d'utiliser moins d'eau et ainsi de limiter les quantités à drainer. La FAO préconise 300 mm pour lessiver 30 cm de sol et enlever 80 % des sels (FAO, 1985). Notre expérience sur les sols argileux en régime tropical a montré que 600 mm en submersion, lessivaient 80/90 cm de sols à 90 % (J.-Y. LOYER, 1990). L'objectif étant de tenir compte au plus juste des deux composantes du lessivage et de l'ETR*. Sur les périmètres de la basse Moulouya, C. MATHIEU (1979) a constaté une accumulation saline localisée entre 45 et 65 cm de profondeur dans les sols, après 13 années d'irrigation, ce qui est une profondeur insuffisante. Il a été par ailleurs montré, et ceci a été appliqué en Irak, que l'efficacité d'un lessivage global, par un important apport d'eau en continu, n'était pas la meilleure solution et que des apports fractionnés avaient, à quantités égales, une meilleure efficacité (G. BOUTEYRE, 1991).

La mise en oeuvre de techniques d'irrigation particulièrement bien adaptées aux climats et aux sols est également un moyen efficace d'économiser l'eau, bien que celles-ci obligent parfois à des équipements onéreux. L'aspersion utilise un tiers de moins d'eau qu'un apport gravitaire ; pratiquée en irrigation nocturne, ou en irrigation localisée par petits asperseurs sous fruitiers, elle est encore plus efficace. Elle oblige néanmoins à une certaine prudence lorsque des risques d'intoxication des plantes par le feuillage existent, en conditions salines à partir de 4 g/l pour les agrumes par exemple. La micro-irrigation ou irrigation localisée peut aussi être mise en pratique lorsque la charge en fer ou en calcium le permet. Le principe de l'irrigation souterraine par tubes micro-poreux, identique au système antique des gargoulettes enterrées, permet aussi de limiter les pertes par évaporation et les remontées capillaires salines.

S'agissant des eaux saumâtres, l'utilisation de mélange d'eaux est un moyen qui est parfois préconisé pour abaisser la salinité des eaux les plus chargées, mais en contre-partie augmente celle des eaux les plus douces. Pratiquée sur de grands bassins comme celui de la Medjerdah où les eaux douces proviennent de sous-bassins hétérogènes plus ou moins salés, (celles de la rive droite par rapport à celles de la rive gauche, ou celles de l'oued Tessa, comparées à celles de l'oued Mellègue) ; cette technique, gérée par des programmes adéquats limite l'amplitude des variations annuelles de salinité (entre 1 et 3 g/l).

Néanmoins, il vaut mieux mettre en pratique une utilisation alternée d'eaux de différentes qualités sur des cultures de diverses tolérances, ou bien sur une même plante selon le stade de croissance et de sensibilité, en prenant le maximum de précautions à la germination et, surtout, à la levée. Sachant par ailleurs que l'utilisation alternée d'eaux salées et d'eaux douces peut provoquer une hydrolyse sodique et une dégradation physique des sols, ce risque doit être pris en compte.

Certaines eaux de drainage éliminées peuvent encore être de très bonne qualité et mériteraient d'être

* ETR = EvapoTranspiration Réelle

recyclées (J.-D. RHOADES, 1988). Si cette pratique est courante dans les périmètres de la vallée du Nil où quelques milliards de m³ d'eau de drainage sont réutilisées chaque année, ce n'est cependant pas toujours le cas et la plupart du temps ces eaux sont évacuées à perte. Même si toutes les eaux de tous les périmètres et pendant toute la durée du cycle cultural ne sont pas de bonne qualité, cet aspect mériterait, dans la conjoncture actuelle, une attention particulière. Nous avons mesuré par un dispositif d'enregistrement en continu, la conductivité des eaux de six périmètres rizicoles du Delta du fleuve Sénégal (J.-Y. LOYER, 1990). Les résultats (fig. 3) montrent que pour deux des périmètres, la conductivité des eaux drainées ne dépasse pas 1 dS.m⁻¹ durant les 125 jours du cycle ; elles pourraient être en totalité recyclées. Pour les deux autres périmètres, les eaux d'exhaure pourraient être réutilisées sur des cultures tolérantes pendant seulement les 50 premiers jours du cycle. Les deux derniers périmètres évacuent par contre des eaux non réutilisables.

Afin d'améliorer la qualité de certaines eaux salines, des rééquilibrages peuvent être envisagés directement dans les réservoirs ou les canaux. En Camargue, dans le Sud de la France, un "Permeator" mobile avait été testé par J. SERVANT pour enrichir en sulfates les eaux d'irrigation destinées, après combinaison au calcium du sol, à faciliter l'élimination du sodium des sols alcalins. L'acide sulfurique était produit à partir de soufre oxydé dans une chaudière en SO₂ à travers la sortie de laquelle transitaient les eaux du canal d'irrigation.

Des essais ont été mis en oeuvre au Sénégal pour redresser le déséquilibre des eaux de la nappe maestrichienne (J.-Y. LE BRUSQ, 1985) : on constate, après ajout de gypse jusqu'à saturation, une baisse de pH, une augmentation de conductivité, une forte augmentation du calcium, une baisse de l'alcalinité totale (voir Tableau suivant). Les baisses du SAR* et de l'alcalinité résiduelle sont spectaculaires. L'augmentation de conductivité pourrait être facilement maîtrisée en jouant sur les doses d'irrigation.

* SAR = Sodium Adsorption Ratio

Tableau 1 : Essai de rééquilibrage des eaux de la nappe du Maestrichien au Sénégal
(d'après J.-Y. LE BRUSQ, 1985)

Eau	pH	EC dS.m ⁻¹	Alc.tot. mé.l ⁻¹
avec gypse	8,86	1,83	6,56
sans gypse	8,21	3,70	5,28

Eau	SO ₄ mé.l ⁻¹	Ca mé.l ⁻¹	Mg mé.l ⁻¹
avec gypse	5,45	0,2	0,31
sans gypse	36,45	29,5	0,31

Eau	Na mé.l ⁻¹	SAR	alc.rés. mé.l ⁻¹
avec gypse	22	43,50	6,05
sans gypse	19	4,9	-24,5

Les eaux fortement sulfatées sodiques de la région Lagunera au Mexique sont pauvres en calcium et présentent un certain risque de salinisation puis d'alcalinisation des sols irrigués. Des essais sont en cours à l'ORSTOM (J.L. GONZALEZ BARRIOS), pour tenter de rééquilibrer ces eaux directement dans les réservoirs, à partir de produits locaux divers (gypse, acide sulfurique, acide sulfurique plus sciures de marbres...)

CONCLUSION

Les techniques modernes fournissent aujourd'hui des moyens de contrôle efficaces de tous ces paramètres, il paraît donc important de les mettre en oeuvre et de généraliser leur utilisation :

- au niveau des eaux, l'utilisation des électrodes spécifiques, pour la mesure, et l'enregistrement automatique des données ; le pilotage des réseaux d'adduction d'eau et d'irrigation par télétransmission, télécontrôle (P. JOURDES, 1987), le stockage des très nombreuses données analytiques existant dans tous les pays, dans des banques de données sur la qualité des eaux qui peuvent être utilisées pour diverses finalités : agriculture, alimentation, industries...

- au niveau des sols et des périmètres irrigués, la mise en place de réseaux de surveillance de l'évolution de la salinité par des méthodes globales, rapide et in situ (Conductivimétrie Electromagnétique par exemple). Ce diagnostic périodique doit permettre de piloter au plus juste les apports d'eau en relation avec l'intensité

et la profondeur du front salin.

Enfin, dans tous les cas, le contrôle du niveau des nappes phréatiques et son maintien au delà d'une profondeur critique, s'avèrent toujours indispensables. C'est en effet la cause principale de la dégradation saline ou alcaline de 20 à 25 millions d'hectares de terre par irrigation et faute de drainage, et cela au rythme de 120 000 hectares par an environ selon la FAO.

Bibliographie

AUDIBERT M., 1966

Etude hydrogéologique de la nappe profonde du Sénégal, "nappe maestrichienne". BRGM, Dakar

BOUTEYRE G., 1991

Une calamité pour l'agriculture en zone aride : la salinisation des terres irriguées. ORSTOM - RZA, Paris

BOUTEYRE G. et LOYER, 1991

Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. ORSTOM, Paris

CAMAIL M., MAHAMANE M., PUCCI M., RIGAUD J.-P., 1987

Analyses chimiques des eaux du fleuve Niger. Hydrol.continent., vol. 2,

CLAUDE J. et CHARTIER R., 1977

Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie, campagne 1975. Cah. ORSTOM sér. Hydrol. vol.XIV n°1

CLAUDE J. FRANCILLON G. et LOYER J.-Y., 1977

Les alluvions déposées par l'oued Medjerdah lors de la crue exceptionnelle de mars 1983. Cah. ORSTOM sér. Hydrol. vol.XIV n°1

CRUEZI, 1969

Séminaire sur l'irrigation à l'eau saumâtre. Tunis, octobre 1969

DOSSEUR H., CHAPERON P. et MONIOD F., 1984

Aménagement des ressources en eau du Nord de la Tunisie. ORSTOM - EGTH, Tunis

F.A.O., 1985

Water Quality for Agriculture. FAO, Rome, vol. 29, rev. 1

GAC J.-Y., KANE A., 1985

Les flux continentaux particuliers et dissous à l'embouchure du fleuve Sénégal. ORSTOM, Dakar

JOURDES P., 1987

Télétransmission; télécontrôle, télégestion des réseaux d'adduction d'eau et d'irrigation. L'eau, l'industrie, les nuisances, n°110, Mai 1987

KANWAR J.S., 1982

Managing Soils Resources to Meet the Challenges to Mankind : Presidential Address. 12th International Congress of Soil Science, New Delhi

LARAQUE A., 1991

Comportements hydrochimiques des açudes du Nordeste brésilien semi-aride. Evolutions et prévisions pour un usage en irrigation. Thèse USTL, Montpellier II

LOYER J.-Y., 1990

Les sols salés de la vallée du Fleuve Sénégal. Caractérisation, organisation et évolution sous cultures. ORSTOM, Paris

LE BRUSQ J.-Y., 1985

Utilisation des eaux de nappe du Maestrichien et de l'Eocène pour l'irrigation des cultures maraîchères. Possibilités et contraintes. ORSTOM, Dakar

MATHIEU C., 1979

Les eaux de la Moulouya. O.R.M.V.A.M. Maroc

PNUD, Rép. du Sénégal, 1985

L'eau et la lutte contre la désertification. Séminaire national sur la désertification
St Louis, Oct. 1985

RHOADES J.-D., 1974

Drainage for Salinity Control in Drainage for Agriculture. in Van Schilfaarde J. Ed.:
Am. Soc. Agro. Monography, 17 : 433-462

RHOADES J.-D., 1988

Reuse of Drainage Water for Irrigation. Results of Imperial Valley Study. *Hilgardia* vol.56, n0 5, Oct. 1988

RUELLAN A., 1963

Etude pédologique de la plaine de Zebra. O.N.I., Berkane

VALLES V., BOURGEAT F. GUIRESSE M., 1988

Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. *Cah. ORSTOM sér.Pédol.* Vol. XXIV n¹/₂ 2

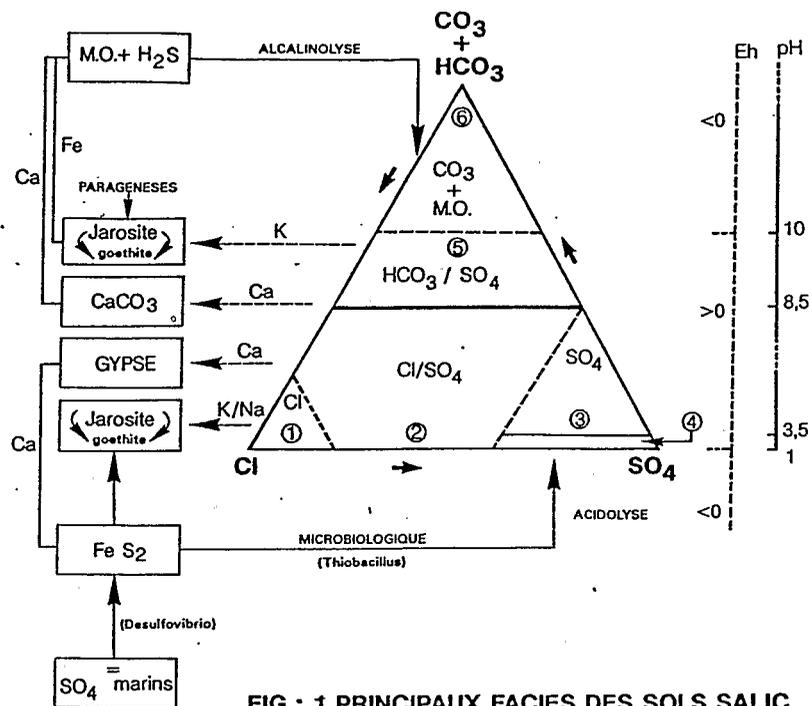


FIG : 1 PRINCIPAUX FACIES DES SOLS SALIC

- ① CHLORURÉ ACIDIFIÉ
- ② CHLORURO-SULFATÉ NEUTRE
- ③ SULFATÉ NEUTRE
- ④ SULFATÉ ACIDE
- ⑤ BICARBONATO-SULFATÉ ALCALIN
- ⑥ CARBONATÉ BASIQUE

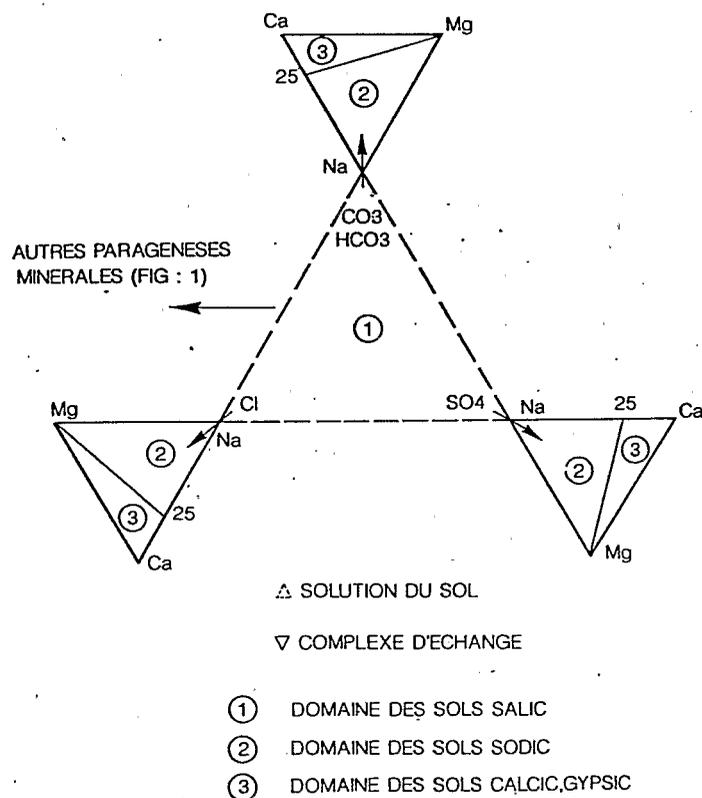


FIG : 2 SCHEMA DES EVOLUTIONS POSSIBLES DES SOLS SALIC APRES DESSALEMENT

Fig-3 - DELTA DU FLEUVE SENEGAL
Evolution de la conductivité des eaux évacuées
aux stations d'exhaure au cours du cycle rizicole

