

pour Paul

ÉPT - AUPELF

x mhp<sub>3</sub> 285

Colloque International

BARRAGES EN TERRE

ET

DÉVELOPPEMENT DES ZONES RURALES

EN

AFRIQUE

INFLUENCE DE L'INTENSIFICATION DES CYCLES DE RIZICULTURE SUR  
LES SOLS IRRIGUES DE LA BASSE VALLEE DU FLEUVE SENEGAL \*

J.-Y. LOYER et J.-Y. LE BRUSQ - Pédologues  
CENTRE ORSTOM DE DAKAR

11-16 avril 1983

THIES - SENEGAL

Fonds Documentaire ORSTOM



010005983

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B \* 5983 Ex : 1

INFLUENCE DE L'INTENSIFICATION DES CYCLES DE RIZICULTURE SUR  
LES SOLS IRRIGUES DE LA BASSE VALLEE DU FLEUVE SENEGAL \*

J.-Y. LOYER et J.-Y. LE BRUSQ - Pédologues  
CENTRE ORSTOM DE DAKAR

Le débit d'étiage très faible du Fleuve Sénégal et une pente insignifiante dans sa partie aval (0,05 % sur 400 km), font que chaque année le lit mineur et différents défluent sont envahis par une remontée d'eau de mer qui peut atteindre et dépasser PODOR soit 240 km en amont de l'embouchure. Ce phénomène n'autorisait traditionnellement sur la Basse Vallée que des "cultures de décrue" qui étaient pratiquées dans les cuvettes de décantation inondées naturellement par la crue annuelle du Fleuve.

Depuis 1965, la SAED (Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta) a entrepris la réalisation de différents types d'aménagements qui ont profondément modifié ce système d'exploitation traditionnel : la riziculture a été introduite et d'abord pratiquée sous "aménagement primaire" par irrigation gravitaire des cuvettes, sans contrôle du niveau de l'eau. Ultérieurement, la plupart des périmètres destinés à l'irrigation ont été endigués et ainsi protégés à la fois de l'invasion marine et de la crue. L'eau du Fleuve est pompée et distribuée dans la cuvette par un unique canal central qui en fin de riziculture sert à la vidange des eaux : "aménagement secondaire" c'est-à-dire irrigation gravitaire avec contrôle du niveau de l'eau par tranche altimétrique de 50 cm. Le cycle cultural débute selon le recul de la langue salée refoulée par la crue, généralement en Août pour se terminer en Décembre.

Plus récemment, la réalisation de canaux d'irrigation portés, a permis d'étendre considérablement la distribution de l'eau et les superficies cultivées. Chaque parcelle de 1 à 3 hectares a son propre canal d'amener d'eau et son canal de vidange : "aménagement tertiaire", les parcelles sont planées et la maîtrise de l'eau est totale. En fin de cycle les eaux excédentaires sont évacuées par un réseau de drains à ciel ouvert et pompées en dehors du périmètre par des stations d'exhaure. La conduite de l'irrigation en riziculture se fait par submersion permanente et sans drainage de profondeur dans les sols.

La constitution de réserves d'eau douce dans certains défluent a en outre permis d'étendre les spéculations agricoles à des cultures maraîchères de "contre saison" (pendant la saison sèche, période de remontée saline), en irrigation intermittente, toujours sans drainage de profondeur.

Aujourd'hui, des projets autrement plus grandioses sont en cours de réalisation depuis la conception du barrage de DIAMA qui intéressera le Delta et la Basse Vallée du Fleuve. Au plan agricole, il est destiné d'une part à empêcher la remontée saline et d'autre part à maintenir une importante réserve d'eau douce de quelques milliards de m<sup>3</sup> qui permettra d'assurer l'irrigation toute l'année. C'est dire que les terres qui, actuellement portent une seule campagne de culture par an, seront susceptibles de produire deux et même trois récoltes annuelles.

\* Communication au Colloque "Barrages en Terre et Développement des zones rurales en Afrique" Thiès (Sénégal) 1-14 Avril 1966.

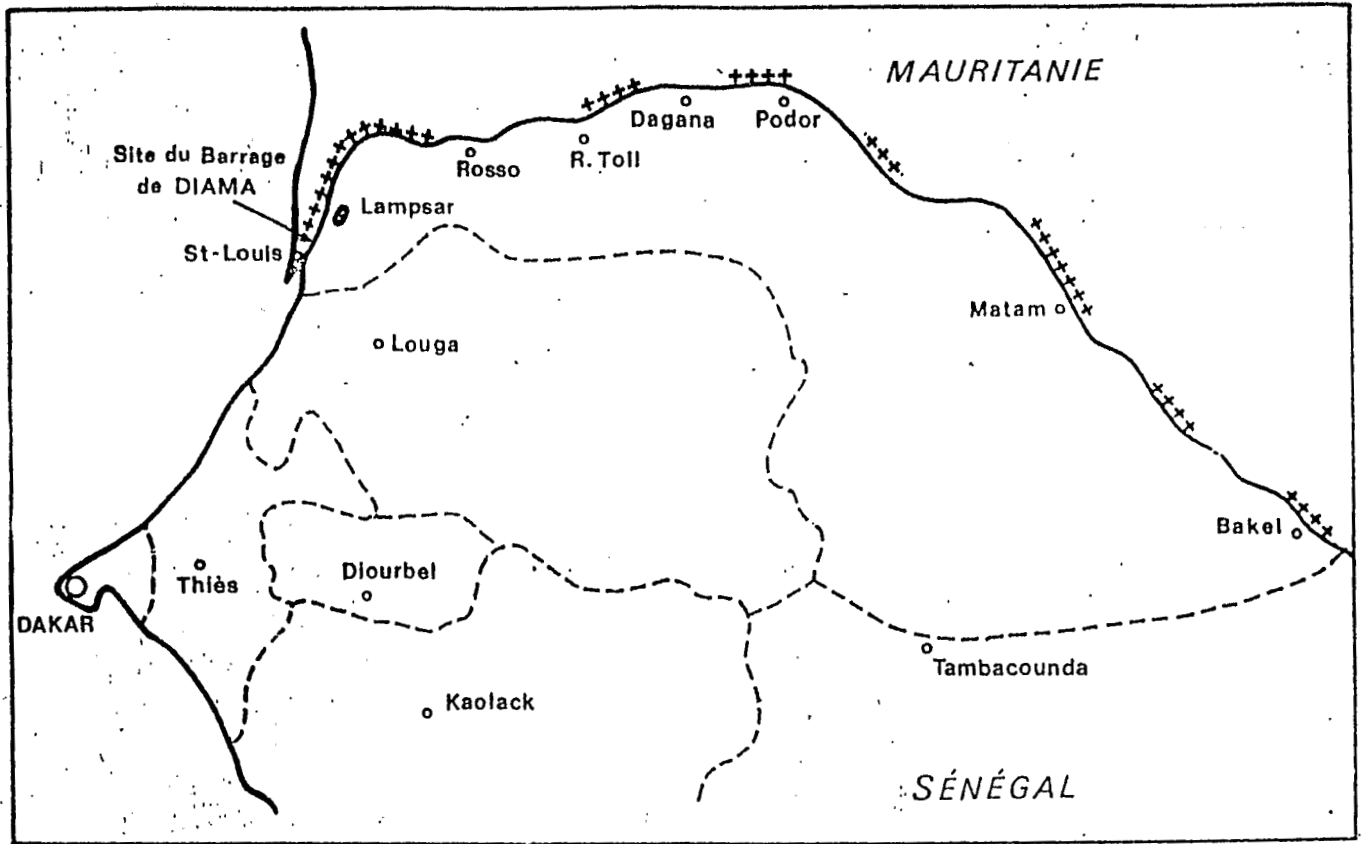


Fig.1 Carte de situation

BUT DE L'ETUDE -

Sur le plan pédologique, compte tenu de la nature des terres et du système d'irrigation pratiqué en riziculture, (submersion, sans drainage de profondeur), il est apparu important d'étudier l'impact de cette intensification des cycles culturels sur l'évolution prévisible des sols tant sur le plan physique que sur le plan chimique :

- au plan physique afin d'en déterminer l'incidence sur les propriétés hydrodynamiques des sols en particulier sur leur perméabilité et leur capacité de rétention pour l'eau.
- au plan chimique afin d'en définir l'influence sur la dynamique du sel, facteur important de la pédogénèse actuelle dans toute la Basse Vallée. D'origine lagunaire, lié à la présence d'un ancien golfe marin comblé par l'alluvionnement, ce sel est actuellement remis en mouvement par les eaux d'irrigation et redistribué dans les sols et dans les nappes, celles-ci étant peu profondes et très salées dans le Delta.

CHOIX DES SITES ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX -

Deux périmètres de culture ont été retenus, représentatifs des principaux types de sols alluviaux rencontrés dans la Basse Vallée (cf. carte de situation - Fig.1)

- L'un dans le delta en domaine salé, correspondant à la Vallée de Lampsar
- L'autre plus à l'amont sur une extension du périmètre de DAGANA.

L'un et l'autre présentaient entre autres intérêts celui d'être irrigués pour la première fois et donc de pouvoir être caractérisés avant leur mise en eau en 1980 puis suivis au cours de trois campagnes rizicoles successives (1980/1981/1982). Divers dispositifs expérimentaux y ont été installés :

- un réseau de tubes de pénétration pour sonde à neutrons, destinée à suivre les variations de l'humidité des sols sous diverses expériences d'infiltration sous lame d'eau permanente par le dispositif du Müntz géant permettant de suivre la cinétique d'infiltration puis de ressuyage de l'eau dans le sol. L'expérience a été répétée à chaque campagne sur les mêmes tubes.
- quatre parcelles de 50 m sur 50, représentatives des niveaux de salinité des divers types de sols et des positions géomorphologiques dans les cuvettes, ont été choisies ; sur chacune, 10 sondages répartis au hasard sont effectués avec prélèvement de chaque tranche de 20 cm de sol, avant et après chaque cycle, et au cours de la saison sèche. Les mesures effectuées permettent de connaître la salinité et le pH du sol à une date donnée en dix points différents, pour six profondeurs jusqu'à 120 cm ainsi que la balance ionique des principaux ions sur échantillon regroupés par profondeur sur les 10 sondages. L'ensemble de ces mesures permet une interprétation statistique des résultats.
- un réseau de seize piézomètres mis en place dans la vallée du Lampsar sur 3 séquences transversalement à la vallée, permet des mesures de hauteur et des prélèvements à intervalles réguliers pour la mesure de la conductivité du pH et de la composition ionique des nappes phréatiques. Au cours de la campagne rizicole de 1982, le dispositif a été affiné sur le site de Tilène par la mise en place d'une station de mesure automatique destinée à l'enregistrement continu des variations de la hauteur d'eau et de la teneur en sodium de la nappe.
- des prélèvements d'eau drainée effectués quotidiennement au niveau des 3 stations d'exhaure où aboutissent les drains principaux du périmètre ont permis de suivre l'évolution de la qualité des eaux drainées pendant les 3 campagnes culturales. Au cours de la campagne 1980, la station d'exhaure de NOAR a pu être équipée d'une centrale de mesure automatique qui a permis l'enregistrement continu de la teneur en sodium des eaux. La quantité d'eau évacuée étant connue, un bilan des eaux et des sels a pu être établi sur l'ensemble du périmètre.

#### PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

Bien que les résultats ne soient encore que partiels en raison des dépouillements en cours pour la dernière campagne de 1982, une certaine évolution se dégage déjà après 2 années de mesure :

##### 1 - Concernant les caractéristiques hydrodynamiques des sols (P. ZANTE)

En 1980 et 1982, soit après deux campagnes rizicoles, les teneurs en eau à la Capacité de Rétention du sol, n'ont pratiquement pas varié. Par contre, on constate une diminution d'environ 10 à 15 % de la teneur en eau à la Saturation Apparente. Il apparaît donc après 2 cycles de riziculture submergée une diminution de la macroporosité.

Ceci semble corroboré par les différences importantes des vitesses d'avancement du front d'humectation mesurées lors des cinétiques d'infiltration :

- en 1980, la vitesse moyenne de l'avancée du front était de 0,7 cm/heure dans la première phase de la cinétique pour se stabiliser ensuite à 0,07 cm/heure,
- en 1982, celle-ci était de 0,35 cm/heure pour se stabiliser ensuite à 0,07 cm/h.

Par contre, en 1982, les 50 premiers cm du profil avaient un état initial plus sec qu'en 1980; mais en profondeur le sol reste proche de la saturation apparente. Il semble donc que les inondations successives des sols pour la riziculture sans drainage, maintiennent en profondeur un niveau d'humidité proche de la saturation apparente et diminue fortement la macroporosité des horizons supérieurs des sols.

2.- Concernant la salure du sol

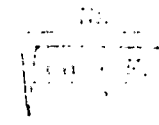
Pour les parcelles très salées, un dessalement après riziculture submergée s'est manifesté sur une profondeur allant de 60 cm la première année à 120 cm la seconde année ; si bien que malgré une résalinisation notable en saison sèche (due à l'arrêt des irrigations, au processus évaporatoire intense, et à la présence d'une nappe salée), le dessalement total des sols est possible sans drainage sur le premier mètre superficiel, en une à deux saisons, même de ceux à texture lourde, ceci, grâce à la présence d'une couche sableuse drainante à faible profondeur dans tout le Delta (< 2 m), et à la grande quantité d'eau apportée (10 000 m<sup>3</sup>/ha environ). En profondeur par contre, par suite de la présence d'une nappe très salée liée à la faible profondeur du drain ou à un rabattement insuffisant de la nappe par pompage, la salure résiduelle reste à un niveau élevé (Cf. fig. n° 2). Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux obtenus par MUTSAARS et VAN DER VELDEN en 1973 lors d'expériences de dessalement dans la cuvette de Boundoum avec utilisation de drains enterrés à 1,60 m : après percolation de 600 mm d'eau, un dessalement d'environ 95 % avait été obtenu sur un mètre de profondeur.

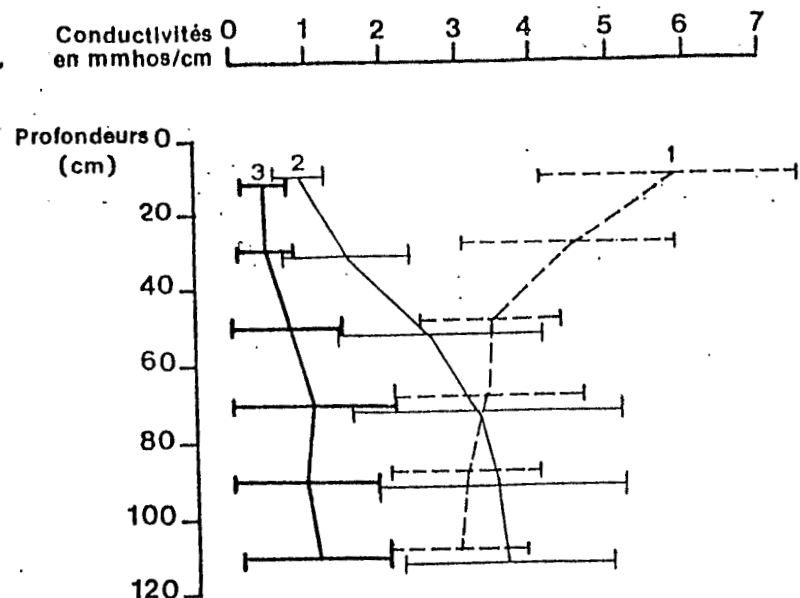
3 - Le pH du sol

Vous avons mesuré après dessalement de ces sols initialement très salés, une forte élévation du pH (jusqu'à 9,6) qui traduit probablement une alcalisation du complexe adsorbant (fixation de sodium) par les eaux de nappe dont le SAR\* est élevé. Des valeurs de 10 à 50 ont été mesurées, alors que des valeurs de 15 sont déjà considérées comme dangereuses. Ces nappes sont donc susceptibles de fixer du sodium sur les argiles et de dégrader la structure et la porosité du sol aboutissant à un milieu dégradé, imperméable, mal drainant, impropre à la culture (cf. Fig. 3).

En ce qui concerne les nappes phréatiques, on constate sous l'influence de la pression, une très forte remontée des eaux parfois jusqu'à la surface du sol. La première année, ces eaux de nappe sont restées globalement au même niveau de salinité et d'alcalinité qu'avant culture hormis quelques variations locales dues à la topographie ou à la présence de drains de colature. Par contre, après le second cycle rizicole, on assiste après dessalement des sols, à un début de dessalement des nappes, du moins dans leur tranche superficielle. Du point de vue de leur composition ionique, on constate corrélativement une augmentation des pourcentages de cations monovalents et du chlore tandis que calcium et sulfate diminuent. De ce fait, le SAR moyen n'a que très peu varié malgré la diminution de salinité des eaux. La nocivité de ces nappes pour le sol reste importante par leur fort pouvoir alcalisant.

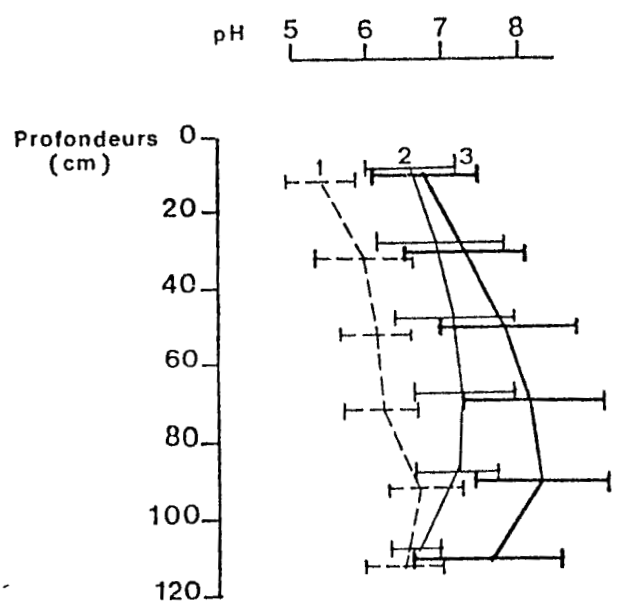
\* SAR = Sodium Adsorption Ratio





Moyenne et intervalle de confiance à 5% de la conductivité

- 1 : 15/8/80 avant culture
- 2 : 21/1/81 après 1 saison de culture
- 3 : 15/1/82 après 2 saison de culture



Moyenne et intervalle de confiance à 5% du pH

- 1 : 15/8/80
- 2 : 21/1/81
- 3 : 15/1/82

Figures 2 et 3 : Variations du pH et de la conductivité dans les sols sur extraits 1/5

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SAR	Conductivité mmhos/cm
Avant culture 20/08/1980	65,8	1,2	9,9	23,2	80,7	19,3	31,7	33,5
13/01/1981	65,2	1,1	10,5	23,2	83	17	25,4	31,3
13/01/1982	68,1	1,5	7,5	22,9	87	13	25,7	22,5

Variations de la composition des nappes avant et après le premier et le second cycle rizicole

5 - La qualité des eaux évacuées par les drains de colature, montre du point de vue de l'évolution de la salinité globale, une courbe à trois périodes (Cf. fig.4).

- une première phase jusqu'au 50ème jour de culture, où la conductivité reste faible avec de légères oscillations entre 0,5 et 4 mmhos/cm (influence des eaux de vidange des parcelles en début de cycle suite à la préirrigation).
- une phase d'augmentation rapide jusqu'au jour 90 environ où la conductivité atteint 15 mmhos (contamination par les eaux de nappes)
- une phase finale de chute brutale jusqu'à 9 mmhos qui correspond à l'arrivée des eaux de vidange de fin de cycle, à la maturité du riz.

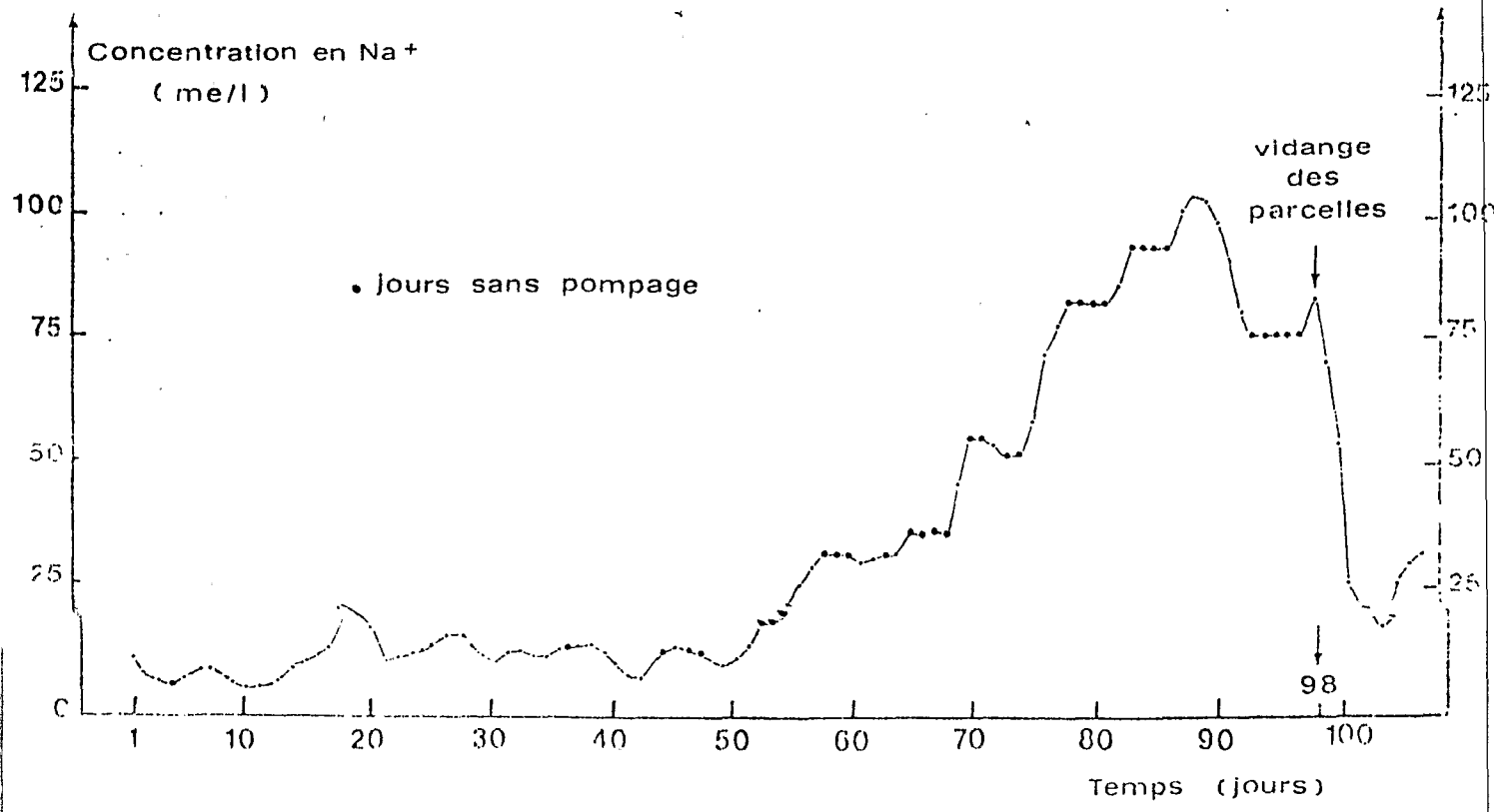


Fig 4 - Courbe d'évolution de la concentration en sodium dans les eaux évacuées pendant le cycle de riziculture  
(Na<sup>+</sup> exprime par la moyenne glissante d'ordre 3 jours)

Chimiquement, ces eaux drainées montrent peu de variations relatives au cours du cycle ; elles sont essentiellement chloruro-sulfatées ( $Cl/SO_4 > 5$ ), avec très peu de bicarbonates ( $< 2\%$  des anions). Parmi les cations, le Sodium domine largement (66 % en mé/l), le Magnésium vient ensuite (22 %), puis le Calcium (12 %).

### 6 - Bilan des Eaux

Sur un périmètre rizicole de 1 660 ha, l'apport en eau d'irrigation au cours d'une campagne a été de 18 millions de  $m^3$ , soit 10 850  $m^3/ha$  environ. L'évaporation mesurée sur bac est de l'ordre de 7 mm par jour ce qui, sur 100 jours environ de submersion, permet d'estimer les pertes en eau à 700 mm environ soit 7 000  $m^3/ha$ .

Les apports par précipitations sont généralement faibles, inférieurs à 100 mm ces dernières années à partir de fin Août, soit 1 000  $m^3/ha$  environ pendant le cycle. La quantité d'eau drainée et éliminée par les stations d'exhaure a été enregistrée et se monte à 2 400  $m^3/ha$  en moyenne.

Le bilan des eaux fait donc apparaître un excès d'eau de 2 450  $m^3/ha$  qui est stocké dans les sols en fin de riziculture.

	Apports par pompage	Apports par précipitations	Pertes par Evaporation	Exportation par exhaure	Bilan
$m^3/ha$	+ 10 850	+ 1 000	- 7 000	- 2400	+ 2 450
Bilan des eaux					

### 7 - Bilan des Sels

Les apports en sel par les eaux d'irrigation sont calculés à partir de la composition moyenne des eaux des défluent du Fleuve durant les périodes de culture de 1980 et 1981.

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Eaux d'irrigation en mg/l	17,4	4,7	5,1	10,0	30,2	37,6	24,3
Apport en kg/ha	183	50	55	108	327	408	263

L'eau d'irrigation qui contient 130 mg/l de sel environ apporte donc 1 400 kg de sel à l'hectare sous riziculture avec essentiellement des Sulfates, des Chlorures, des Bicarbonates et du Sodium.

Les eaux évacuées par les stations d'exhaure contiennent en moyenne 2,3 g/l de sel en sel ; la quantité de sel évacuée à l'hectare sous les conditions de fonctionnement des stations en 1980 et 1981 est de 5 500 kg de sel à l'hectare.

- Le bilan général des sels évacués est donc largement négatif puisque 4100 kg de sel sont évacués par hectare pour un cycle de riziculture.
- Sur le plan qualitatif, ce bilan est négatif pour l'ensemble des ions, sauf pour les bicarbonates, ce qui incite à penser que la salure résiduelle dans les cultures irriguées du delta tendrait à long terme vers un type carbonaté au lieu du type chloruro-sulfaté actuel.



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Eaux d'exhaure en mg/l	592	24	105	91	1 200	240	31
Exportation en kg/ha	1 420	57	252	218	2 886	587	75
Bilan en kg/ha	-1 232	- 7	- 197	- 110	-2 559	- 183	+188

Il faut néanmoins faire remarquer que ce bilan des sels, s'il s'avère négatif dans trois cas sur quatre observés, s'est montré positif pour une station et ce, pour tous les sels, malgré un volume d'eau évacué à l'hectare normal. Ceci est dû au mauvais calibrage des drains en profondeur et au mauvais positionnement des buses d'évacuation de la station d'exhaure qui n'a permis d'éliminer que les eaux superficielles peu chargées, alors que les sels contenus au départ dans les sols ont été en majeure partie lessivés et concentrés dans la nappe phréatique.

### CONCLUSIONS

La riziculture submergée pratiquée sur sols plus ou moins salés de la Basse Vallée du Fleuve, sans drainage de profondeur, provoque :

- un dessalement des sols rendu possible grâce à un important apport d'eau douce de bonne qualité, mais limité à leur partie superficielle, les sels restant piégés en profondeur ; ils sont recyclés au cours de la saison sèche par processus évaporatoire et concentrés en surface en particulier sur les parcelles maraîchères cultivées par irrigation intermittente.
- une remontée de la nappe phréatique qui a souvent une salinité élevée et un pouvoir alcalisant dangereux pour les propriétés physiques des sols ("alcalisation remontante") et se traduit par une forte remontée du pH en liaison avec la fixation de sodium sur le complexe adsorbant, phénomènes qui pourraient amener après quelques années à un abandon de la culture sur certaines parcelles.

L'intensification des cycles culturaux diminue en outre fortement la macroporosité des horizons supérieurs des sols.

A défaut de l'installation d'un réseau de drainage profond et de son entretien efficace, l'intensification de la riziculture telle quelle est actuellement pratiquée en domaine salé de la Basse Vallée, suite à la construction du barrage réservoir de DIAMA, nécessitera obligatoirement certaines précautions indispensables à la conservation des sols :

- Le niveau de l'eau dans les drains devra être maintenu aussi bas que possible par un entretien régulier de ceux-ci et un pompage permanent pendant et après le cycle cultural,
- Des mesures contre l'alcalisation (addition de chaux, de calcaire, de résidus phosphatés, ou de gypse) devront probablement être prises pour aider au dessalement et maintenir la qualité physique des sols ; elles nécessiteront des expérimentations préalables afin de cerner les inconvénients que peuvent présenter certains de ces amendements (apport de soufre dans le cas du gypse, augmentation du pH dans le cas de la chaux ou du calcaire).

- L'aménagement des drains principaux à l'aval des stations d'exhaure est indispensable pour conduire les eaux chargées dans des zones de réception stériles situées loin des périmètres de culture. Ceci n'est pas le cas actuellement et gêne, voire empêche totalement le pompage, le niveau d'eau en aval de certaines stations étant située au-dessus du niveau amont.

On estime à 250 000 hectares environ la superficie des terres affectées par le sel sur la rive sénégalaise de la Basse Vallée du Fleuve. Si elles doivent être mises en riziculture suite à la constitution de la réserve d'eau du barrage de DIAMA, ce sont 2,5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau qui y seront apportés, mais aussi 600 millions de m<sup>3</sup> d'eau qui devront en être évacuées. Cela nécessitera un réseau d'évacuation bien conçu, bien calibré et fonctionnel, principal garant de la conservation de ces terres.

---