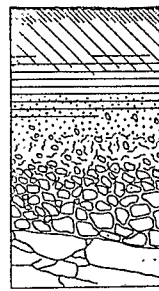


1984 x mhp 264
3

J. Y. LE BRUSQ
J. Y. LOYER

EVOLUTION DE LA SALINITE DES SOLS ET DES EAUX EN RELATION AVEC LA RIZICULTURE SUBMERGEE DANS LE DELTA DU FLEUVE SENEGAL

(Campagne 1981 - 1982)



MARS 1983

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER



CENTRE DE DAKAR - HANN



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: BX5955 Ex: 1



ÉVOLUTION DE LA SALINITÉ DES SOLS ET DES EAUX
EN RELATION AVEC LA RIZICULTURE SUBMERGÉE
DANS LE DELTA DU FLEUVE SÉNÉGAL

(CAMPAGNE 1981/1982)

9/11/89
7330

J.-Y. LE BRUSQ

J.-Y. LOYER

MARS 1983

INTRODUCTION

Nous avons exposé dans un précédent rapport (LE BRUSQ, LOYER ; Janvier 1982*) les conditions naturelles des sites étudiés, les buts et méthodes de l'étude et les résultats concernant la campagne 1980/1981.

Nous rappellerons simplement ici les données essentielles à la compréhension de ce texte :

- La salinité des sols, des nappes phréatiques superficielles et des eaux de drainage et d'irrigation a été suivie en divers sites de la vallée du Lampsar, durant la campagne agricole 1980/1981. Cette campagne était la première, utilisant les techniques de l'irrigation par submersion avec aménagement tertiaire sur des sols initialement plus ou moins salés, en présence d'une nappe salée peu profonde, sans qu'un drainage profond soit effectué et avec un simple réseau de colature des eaux superficielles.
- A l'issue de cette campagne, un dessalement d'environ 60 % pour les sols les plus salés, mais limité à la tranche 0-60 cm, a été constaté. En outre, un début d'alcalisation, avec élévation du pH (parfois jusqu'à 9,1 s'est manifesté. Ceci avait été attribué à la remontée des nappes près de la surface (- 10 cm parfois) pendant l'irrigation.
- Le bilan des sels à l'échelle du périmètre irrigué a fait ressortir une évacuation par les drains de colature d'environ 0,8 tonne/hectare de sodium, élément dominant sous forme de chlorure, le plus néfaste pour les sols et les cultures. Cependant, malgré l'apport d'eau douce, la salinité des nappes n'avait pratiquement pas varié, ce qui faisait craindre une resalinisation des sols pendant la saison sèche.

Aussi le suivi des sols et des eaux a été poursuivi durant la campagne 1981/1982, avec les mêmes méthodes et sur les mêmes sites que l'année précédente. Notons simplement que la superficie cultivée a été portée à 1642 hectare en 1981 (1980 : 596 ha) et que 2 nouvelles stations de pompage dans les drains superficiels ont été mises en service (Krankayé et Borbof).

I - EVOLUTION DE LA SALINITE ET DU pH DES SOLS

La description du dispositif expérimental de suivi de la salinité et du pH du sol dans quatre parcelles, représentatives des sols des cuvettes irriguées a été faite dans le rapport précédent. Nous donnons ici uniquement les résultats pour la campagne 1981/1982.

* Evolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le Delta du Fleuve Sénégal (Résultats de la campagne 1980/1981) ORSTOM/DAKAR.

1.1. Parcelle n° 1 : Sol initialement très salé (3 à 6 mmhos/cm sur extrait 1/5 avant la première mise en culture) - argileux sur 80 cm, puis sablo-argileux. Le dessalement de cette parcelle, limité aux 60 cm de surface lors de la première campagne, s'est poursuivi, et a atteint la profondeur (120 cm) (cf. Tableau 1 et Figure 1).

Profondeur (cm)	% de dessalement	
	1982/1981	1982/1980
0 - 20	- 50	- 92
20 - 40	- 69	- 90
40 - 60	- 72	- 78
60 - 80	- 66	- 67
80 - 100	- 72	- 69
100 - 120	- 69	- 63

Tableau 1 : Pourcentages de dessalement dans la parcelle n° 1

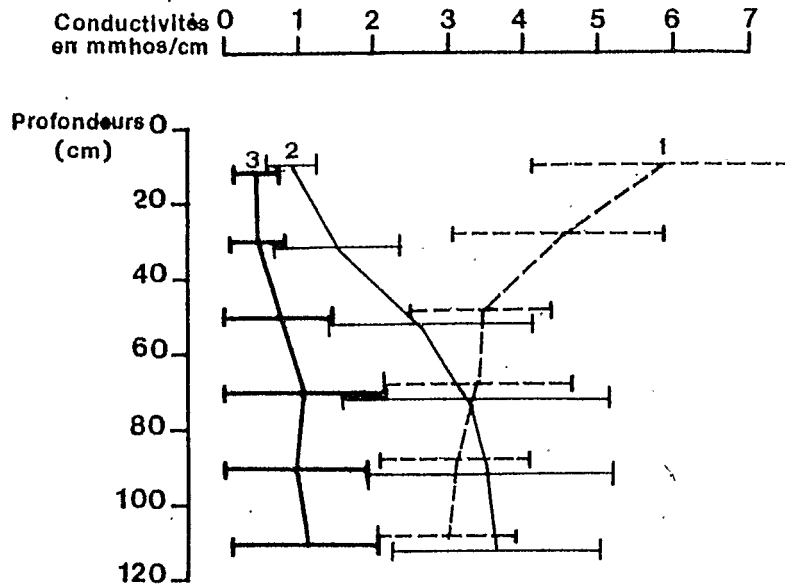
82/81 : en Janvier 1982 (après la 2ème campagne rizicole) par rapport à Janvier 1981 (après la 1ère campagne rizicole)

82/80 : en janvier 1982 par rapport à Août 1980 (avant à la 1ère mise en culture).

Le dessalement de cette parcelle en deux saisons de culture a donc été important, malgré une certaine resalinisation des horizons de surface entre Janvier et Juillet 1981 (arrêt de l'irrigation en saison sèche) (Tableau 2). Cette resalinisation est due à des remontées capillaires à partir des couches inférieures. Elle sera sans doute moins importante dans les années à venir lorsque les horizons profonds seront correctement dessalés.

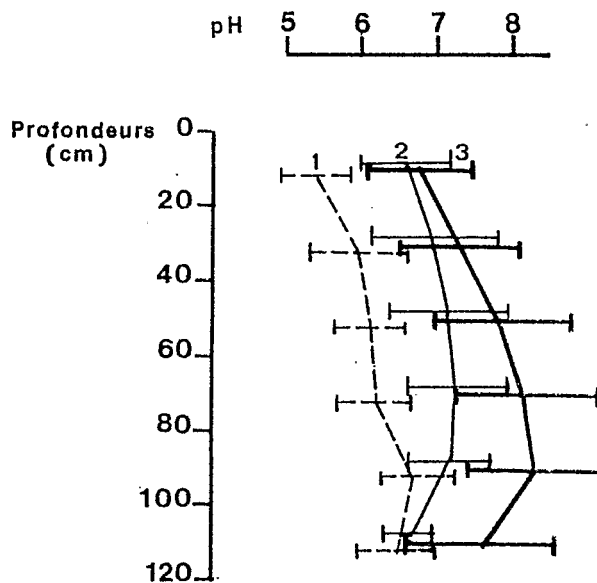
Profondeur (cm)	Janvier 1981	Juillet 1981	% de variation
0 - 20	0,86 mmhos/cm	1,52 mmhos/cm	+ 77 %
20 - 40	1,49 "	2,02 "	+ 36 %
40 - 60	2,77 "	2,44 "	- 12 %
60 - 80	3,35 "	3,03 "	- 9 %
80 - 100	3,58 "	2,95 "	- 18 %
100 - 120	3,66 "	2,90 "	- 21 %

Tableau 2 : Variation de la salinité du sol (conductivité de l'extrait 1/5) pendant la saison sèche dans la parcelle n° 1



Parcelle 1. 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 saisons de culture



Parcelle 1. Moyenne et intervalle de confiance à 5% du pH

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

Figure 1 : Variations du pH et de la conductivité dans la parcelle 1 (extraits 1/5)

Par ailleurs, les phénomènes d'alcalisation, qui concernaient 3 sondages sur 10 en 1981, en atteignaient 7 sur 10 en 1982, avec des pH maxima plus élevés (9,6 contre 9,1).

Les pronostics pessimistes concernant les risques d'alcalisation, que nous avions faits, ont donc été confirmés. L'évolution ultérieure dépendra des possibilités d'élimination du sodium par les eaux d'irrigation à S.A.R. bas (#1). Cette élimination sera cependant difficile en raison de la faible perméabilité des horizons alcalisés, de la faible profondeur des drains, dont certains se comblent progressivement et de la mauvaise élimination des eaux drainées par certaines stations d'exhaure. Ces problèmes concerneront sans doute toutes les parcelles dont la salinité était initialement élevée, avec une nappe phréatique de fort S.A.R. (30 à 40).

1.2. Parcelle 2 - Sol à texture argileuse sur 40 cm, puis sableuse. Initialement peu salé. (cf. tableau 3 et fig. 2).

Le dessalement qui n'avait concerné lors de la première campagne que la couche 0-60 cm, s'est cette fois poursuivi jusqu'en profondeur (0-120 cm). Il faut noter cependant que les horizons profonds situés à la limite sud de la parcelle, sur une bande d'environ 5 m le long de la piste, sont restés notablement salés (1,4 mmhos/cm, extrait 1/5).

Profondeur cm	% de variation des sels	
	1982/1981	1982/1980
0 - 20	+ 2	- 73
20 - 40	+ 22	- 51
40 - 60	- 6	- 64
60 - 80	- 61	- 26
80 - 100	- 63	- 21
100 - 120	- 32	- 33

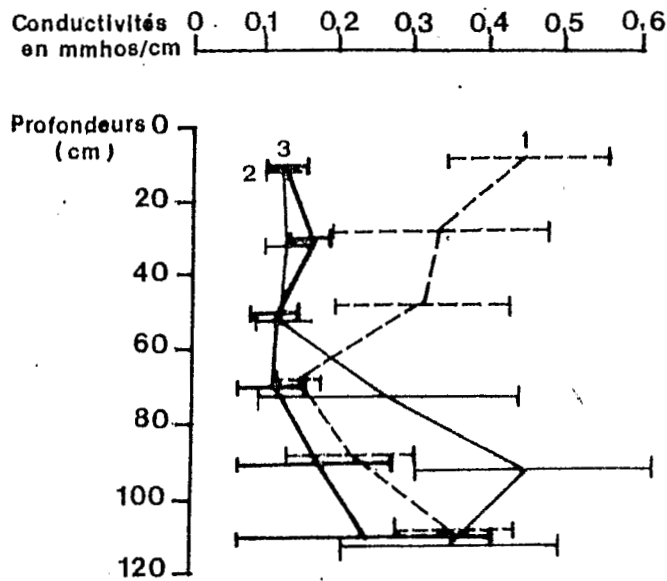
Tableau 3 : Pourcentages de variation des sels en Janvier 1982 par rapport à Janvier 1981 (82/81) et par rapport à l'état initial d'Août 1980 (82/80). Une valeur positive indique une augmentation de salinité.

On remarque aussi un ralentissement de la vitesse de dessalement de la couche 0-60 : la salinité en 1982 est peu différente de celle de 1981.

La resalinisation des horizons de surface (0-40 cm) durant la saison sèche a été relativement limitée (+ 39 %), en raison de la salinité initiale peu élevée du sol.

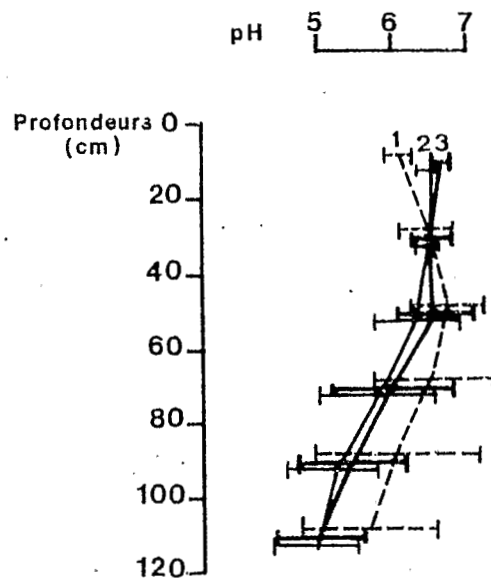
Le pH du sol a très peu varié entre Janvier 1981 et Janvier 1982. Les valeurs sont restées dans une gamme très acceptable (5 en profondeur, 6,7 en surface).

L'évolution du pH et de la salinité du sol de cette parcelle est donc satisfaisante.



Parcelle 2 : 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 saisons de culture



Parcelle 2 : Moyenne et intervalle de confiance à 5% du pH

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

Figure 2 : Variations du pH et de la conductivité dans la parcelle 2 (extraits 1/5)

1.3. Parcelle n° 3 : Sol à texture grossière sous 20 cm de matériau sablo-argileux. Salinité initiale faible (0,2 à 0,3 mmhos/cm E 1/5).

Le dessalement de cette parcelle, qui avait concerné la tranche 0-120 cm dès la première campagne, s'est poursuivi correctement (cf. Tableau 4 et Figure 3). Ceci est dû à la texture grossière du matériau. La resalinisation de la couche 0-20 cm, en saison sèche, a été importante en valeur relative (+ 99 %), mais est restée limitée en valeur absolue (0,25 mmhos/cm - extrait 1/5). Cependant, ceci montre bien la facilité avec laquelle les sels tendent à s'accumuler en surface dans ce type de sol à texture légère, sur les parties non irriguées. Nous avons pu observer sur des sols voisins, cultivés en maraîchage, des remontées importantes de sels sur les billons, alors que la salinité initiale était très faible...

Profondeur	% de dessalement	
	1982/1981	1982/1980
0 - 20 cm	- 50	- 82
20 - 40	- 58	- 71
40 - 60	- 37	- 69
60 - 80	- 41	- 64
80 - 100	- 47	- 64
100 - 120	- 38	- 73

Tableau 4 : Pourcentages de dessalement en Janvier 1982 par rapport à Janvier 1981 et par rapport à l'état initial (Août 1980).

Le pH sur extrait 1/5 a continué à augmenter, surtout en profondeur, mais en restant à un niveau correct (6-7). Ceci est probablement dû au faible pouvoir-tampon de ce sol sableux, et à des valeurs initialement basses du pH (4 en profondeur), par rapport à l'eau d'irrigation (7 à 7,5).

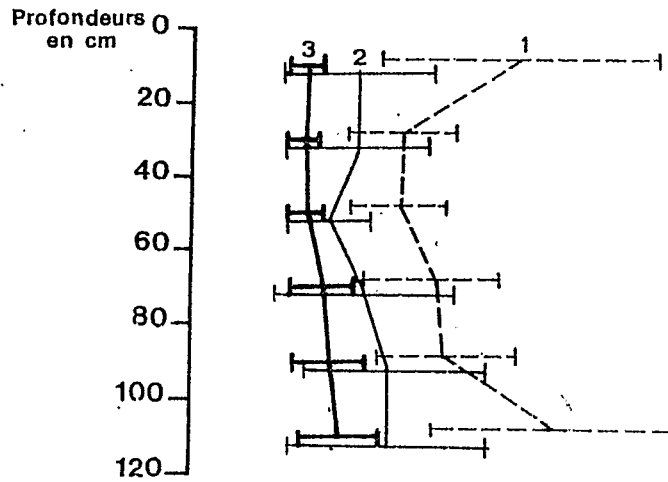
La salinité et le pH du sol de cette parcelle ont donc évolué favorablement.

1.4. Parcelle n° 4 : Sol très argileux - initialement acide et moyennement salé.

Dans cette parcelle, la couche 0-40 cm a subi un certain dessalement par rapport à 1981 et Août 1980 (cf. Tableau 5 et Figure 4) mais les horizons profonds n'ont pratiquement pas été dessalés, en raison de la très faible perméabilité du matériau et d'un comportement physique particulier lié à la présence de sulfures (consistance de beurre).

Il n'y a pas eu de resalinisation des horizons de surface durant la saison sèche 1981, en raison de la très faible perméabilité du sol, qui chute très rapidement avec la teneur en eau, empêchant ainsi les remontées capillaires.

Conductivités 0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5
en mmhoë/cm



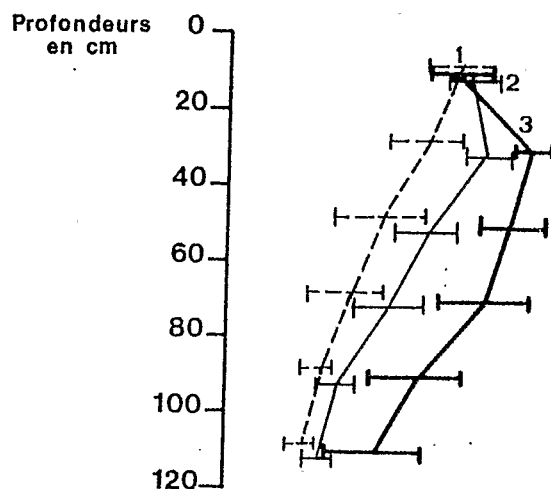
Parcelle 3 : Moyenne et intervalle de confiance à 5% de la conductivité

1 : 15/8/80 avant culture

2 : 21/1/81 après 1 saison de culture

3 : 21/1/82 après 2 saisons de culture

pH 4 5 6 7



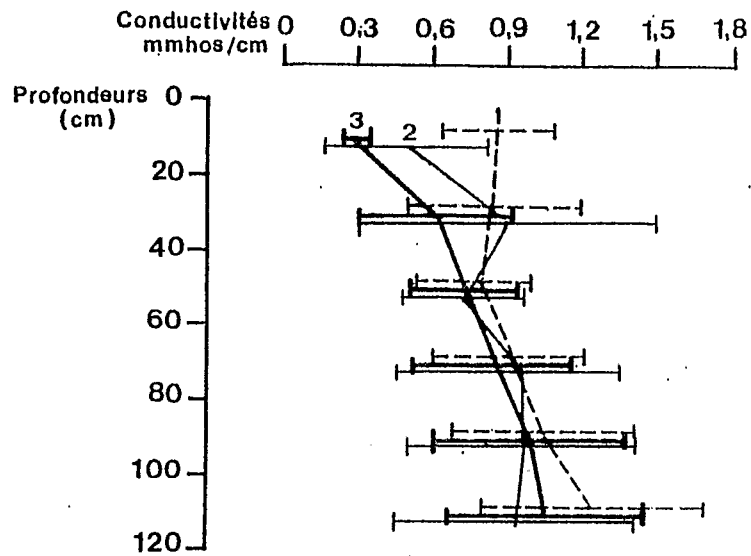
Parcelle 3 : Moyenne et intervalle de confiance à 5% du pH

1 : 15/8/80

2 : 21/1/81

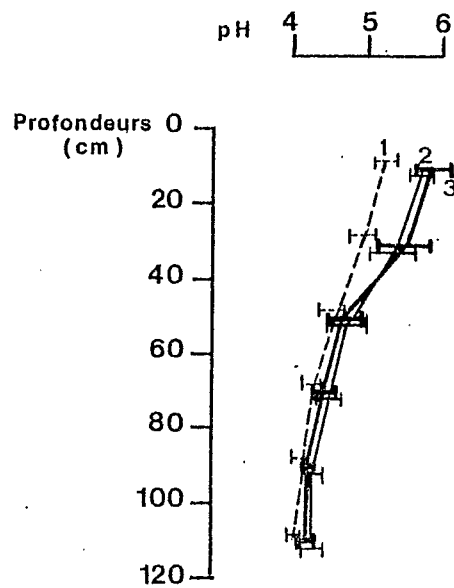
3 : 21/1/83

Figure 3 : Variations du pH et de la conductivité dans la parcelle 3 (extraits 1/5)



Parcelle 4 : Moyenne et intervalle de confiance à 5% de la conductivité

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



Parcelle 4 : Moyenne et intervalle de confiance à 5% du pH

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

Figure 4 : Variations du pH et de la conductivité dans la parcelle 4 (extraits 1/5)

Profondeur cm	% de variation des sels	
	1982/1981	1982/1980
0 - 20	- 43	- 66
20 - 40	- 30	- 26
40 - 60	0	- 4
60 - 80	- 5	- 7
80 - 100	+ 4	- 4
100 - 120	+ 14	- 14

Tableau 5 : Pourcentages de variation des sels en Janvier 1982 par rapport à Janvier 1981 et par rapport à Août 1980. Une valeur positive indique une augmentation de salinité.

Le pH a légèrement augmenté en surface par rapport à Janvier 1981, plus nettement par rapport à Août 1980. En profondeur, les variations de pH restent faibles.

Il apparaît donc que les variations des paramètres physico-chimiques des sols argileux et acides (parasulfatés acides) sont lentes, en raison de la faible perméabilité du matériau et de son pouvoir tampon important.

II - EVOLUTION DES NAPPES

Les données caractérisant les nappes (variations de profondeur, salinité totale, composition chimique) ont été sensiblement les mêmes que durant la campagne 1980/1981, avec cependant une baisse notable de la salinité.

Voici les points principaux observés :

2.1. Variations de profondeur :

Une remontée des nappes d'environ 0,6 m a été observée entre le 15 Juillet 1981 et la date de mise en eau des parcelles (11 et 31 Août à Tilène et N'Delle respectivement), passant de 1,8 à 1,2 m de profondeur environ. Cette remontée paraît importante par rapport aux précipitations durant cette période (243 mm). Après la mise en eau, le niveau des nappes est remonté entre 20 et 50 cm de la surface du sol, en 4 à 10 jours. Après l'arrêt de l'irrigation, la baisse de niveau, d'abord rapide en Janvier 1982, a été ensuite plus lente jusqu'en Juillet 1982. A cette date (1/7) les niveaux atteints étaient en moyenne moins bas (- 167 cm) qu'en Juillet 1981 (- 193 cm). Cependant, les variations de profondeur des nappes ont été sensiblement les mêmes qu'en 1980/1981.

2.2. Variations de salinité et de composition chimique :

De Janvier 1981 à Janvier 1982, la salinité moyenne des nappes a diminué de 28 % (conductivité moyenne passant de 31,3 à 22,5 mmhos/cm). Après une première saison de culture qui avait permis surtout le dessalement des sols, on assiste donc au début du dessalement des nappes, du moins de leur tranche superficielle, la seule qui soit analysée ici.

L'évolution de la composition chimique est indiquée dans le tableau 6.

	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	SAR	Conductivité
13/01/81	65,2	1,1	10,5	23,2	83	17	25,4	31,3
13/01/82	68,1	1,5	7,5	22,9	87	13	25,7	22,5

Tableau 6 : Pourcentages des cations et anions, S.A.R. et conductivité au 13/01/81 et au 13/01/82 dans les nappes (moyennes de 16 piézomètres).

On constate une augmentation des pourcentages d'ions monovalents et du chlore, tandis que calcium et sulfate diminuent. Ce fait, le S.A.R. moyen n'a que très peu varié, malgré la diminution de salinité des eaux. La nocivité de ces nappes pour le sol reste donc importante, par leur pouvoir alcalisant.

III - EVOLUTION DES EAUX DES DRAINS

L'évolution de la qualité des eaux dans 3 stations d'exhaure a été suivie grâce à des prélèvements réguliers d'eau dans la partie la plus aval des drains qui ont été ensuite analysés.

Les 3 stations sont :

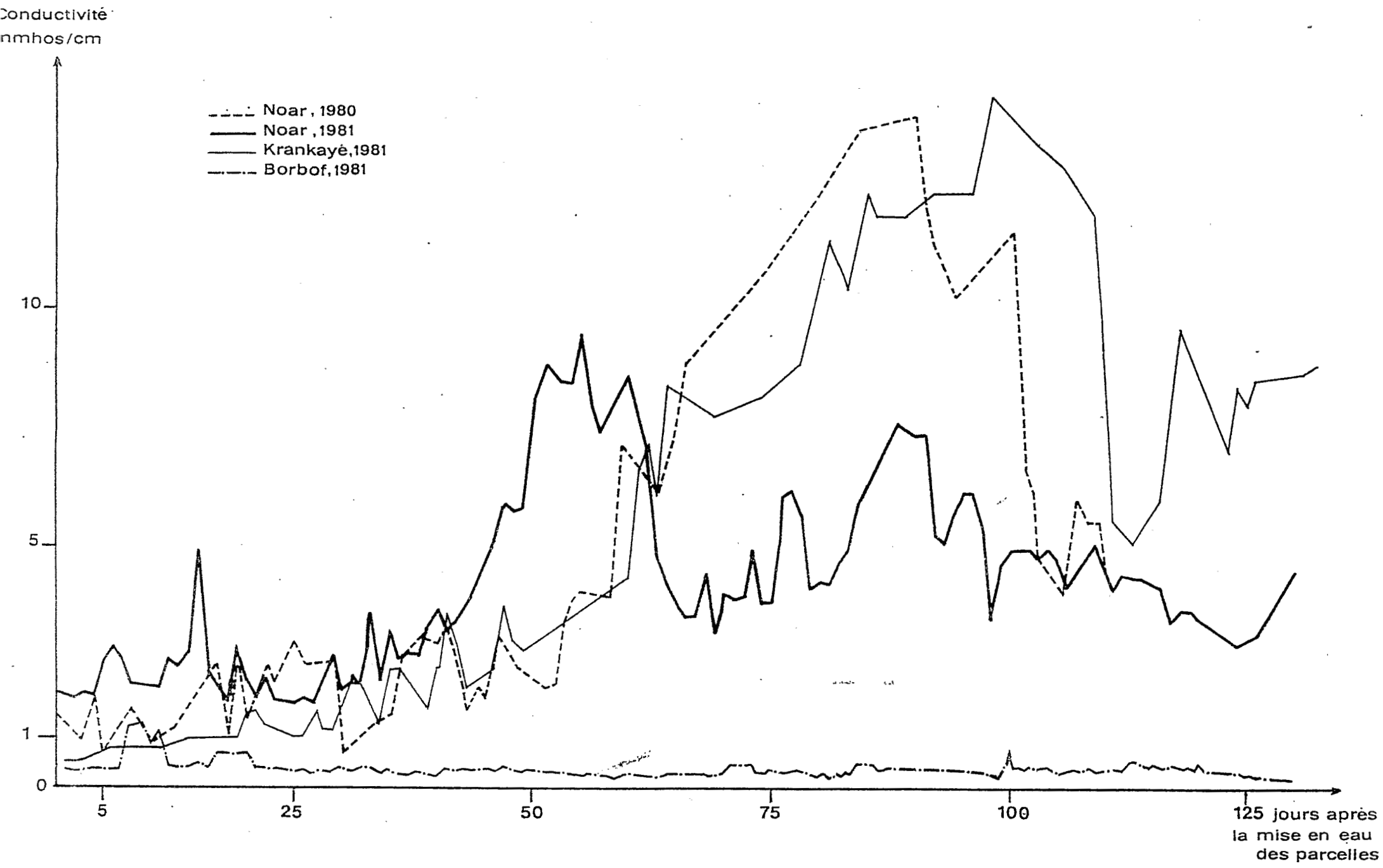
- Noar, qui collecte les eaux venant de 863 hectares en rive gauche.
- Krankayé, qui collecte les eaux venant de 644 hectares en rive droite.
- Borbof, qui collecte les eaux sur 153 hectares en rive droite.

3.1. Evolution de la conductivité

L'évolution de la conductivité des eaux drainées n'est pas la même selon la station d'exhaure considérée : (Figure 5).

- à Krankayé, l'évolution est similaire à ce qui avait été observé à Noar en 1980 : Après une première phase où la conductivité croît lentement de 0,5 à 4 mmhos/cm (jour 0 à 50), l'augmentation de la conductivité devient plus rapide et atteint 15 mmhos/cm au jour 100. Puis elle décroît rapidement vers 5 mmhos/cm et se stabilise vers 9 mmhos/cm en fin de campagne (130° jour). Cette phase de chute brutale correspond sans doute à l'arrivée des eaux de vidange superficielles des parcelles au stade de maturité du riz.
- A Noar, l'élevation de la conductivité est plus brutale (10 mmhos/cm au 55° jour), mais dure moins longtemps, la conductivité oscillant ensuite entre 3 et 7 mmhos jusqu'à la fin de la campagne, inférieure donc à celle observée à Krankayé en 1981 ou à Noar en 1980.
- à Borbof, la conductivité des eaux est restée basse, vers 0,4 mmhos/cm pendant toute la campagne. Il faut noter que la station de Borbof est placée juste à la limite d'une cuvette irriguée (Bifeche), où le drain principal est toujours resté à peu près plein. Dans ces conditions, les eaux drainées provenaient essentiellement de la vidange des parcelles, et non des nappes phréatiques salées.

Figure 5: Evolution de la conductivité des eaux drainées
aux stations de Noar, Krankayé, Borbof.



3.2. Evolution de la composition chimique

Les compositions chimiques des eaux évacuées à Noar et Krankayé d'une part, à Borbof d'autre part, présentent certaines différences liées à leurs origines :

- à Noar et Krankayé, les eaux 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 %).

- à Borbof, la proportion de bicarbonates est beaucoup plus importante (25 à 40 %) le rapport Cl/SO_4 varie de 1,6 à 8,5, le sodium représente 55 % des cations, le calcium 20 % et le magnésium 19 %.

Ceci, avec la conductivité plus faible des eaux drainées à Borbof, montre l'origine essentiellement superficielle (vidange des parcelles) de ces eaux.

Durant la campagne, les variations de composition des sels dissous dans les eaux drainées ont été très faibles (Figures 6 à 8), sauf à Borbof, où une augmentation des proportions de Na et Cl correspond à une augmentation passagère (du 7^e au 10^e jour) de la conductivité des eaux (cf. figure 6). Ceci est lié très probablement à l'arrivée d'eaux de nappes dans le drain.

	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
NOAR	67,7	1,3	10,8	20,2	81	17,8	1,2
KRANKAYE	64,4	1,6	10,6	23,4	85	14,3	0,7
BORBOF	55	6	20	19	55	12	33

Tableau 7 : Pourcentages des différents ions dans les eaux de drainage évacuées aux 3 stations d'exhaure (Σ cations = 100, Σ anions = 100)

IV - TENTATIVE DE BILAN DES EAUX ET DES SELS POUR L'ENSEMBLE DES CUVETTES IRRIGUEES DE LA VALLEE DU LAMPSAR.

On peut distinguer 3 groupes parmi les cuvettes du Lampsar :

- 1) - en rive gauche : Tilène, Pont-Gendarme, Ngomène, Ndiaye, Ndelle, Lampsar, soit 863 ha environ, utilisant la station d'exhaure de Noar.
- 2) - en rive droite : Ngao, Polo, Bodiène, soit 644 ha, utilisant la station d'exhaure de Krankayé.
- 3) - en rive droite, Bifèche (153 ha), drainé par la station de Borbof.

Ce sont donc 3 bilans séparés des sels et des eaux qui seront faits.

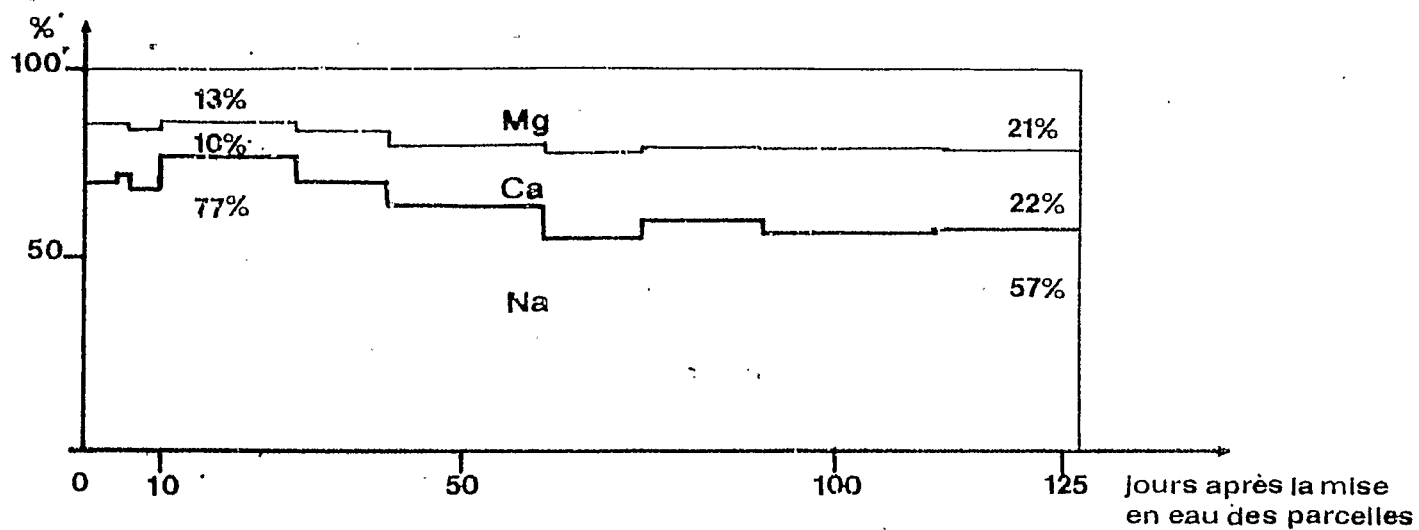


Figure 6 : Pourcentages des différents cations dans les eaux drainées à Borbof (Na + Ca + Mg = 100)

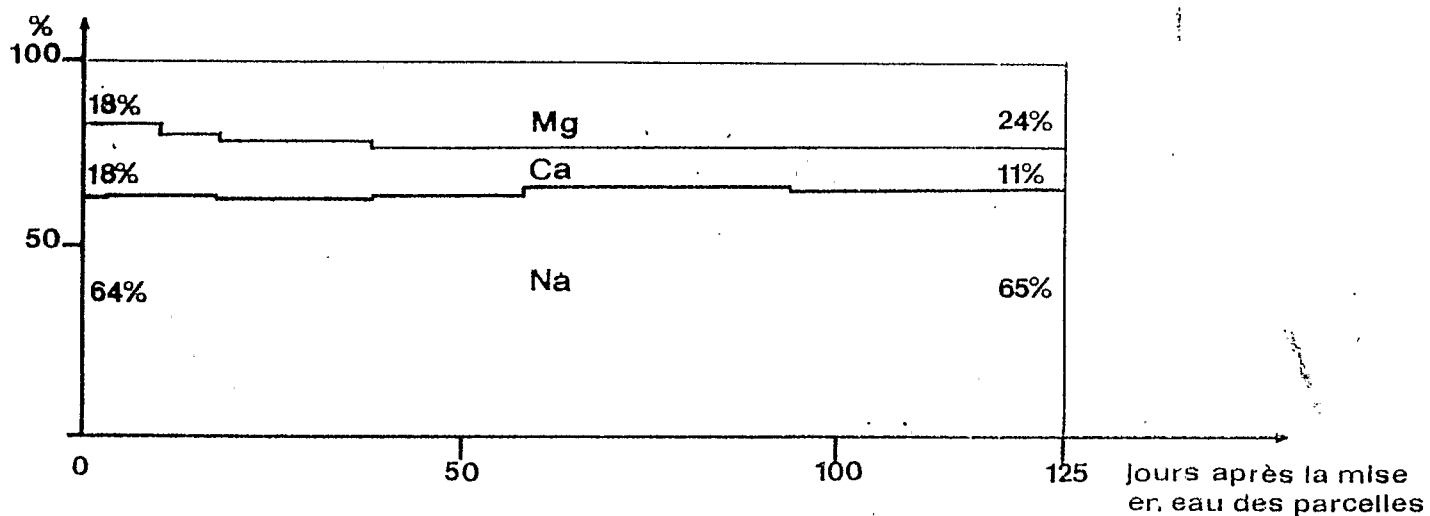


Figure 7 : Pourcentages des différents cations dans les eaux drainées à Krankayé

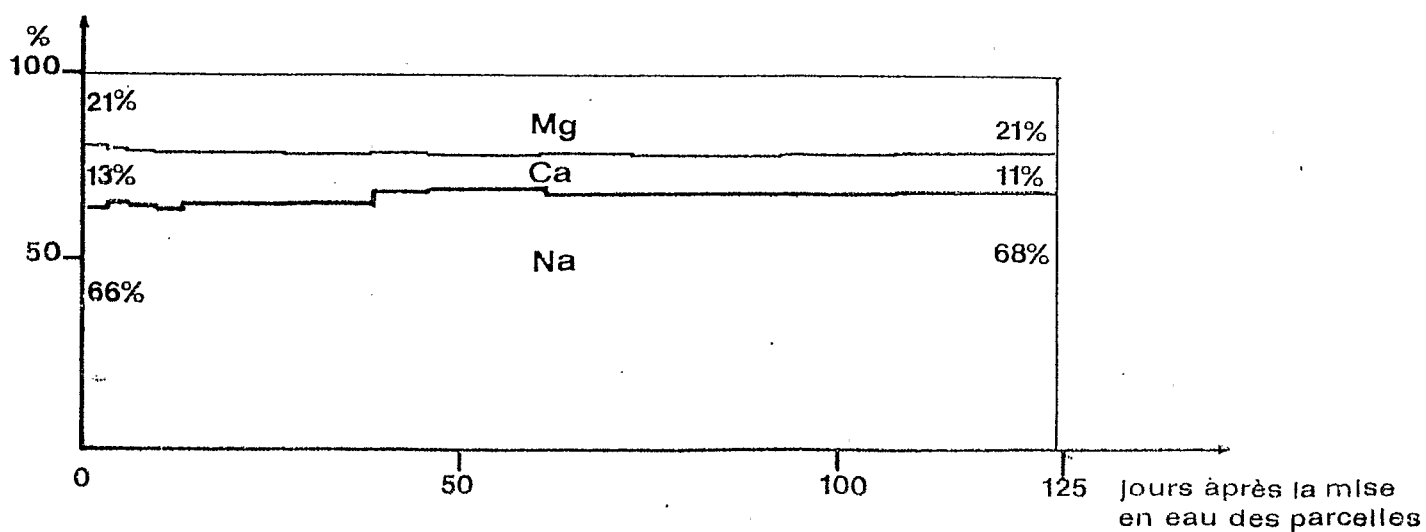


Figure 8 : Pourcentages des différents cations dans les eaux drainées à Noar

4.1. Bilan des eaux

Les apports enregistrés ou estimés aux différentes stations de pompage dans le Lampsar, et les évacuations mesurées aux trois stations d'exhaure correspondantes sont consignées dans les tableaux ci-dessous :

Cuvette	Volume pompé en m ³	Superficie cultivée en ha	Volume pompé en m ³ /ha
Tilène	1 080 700	106	10 195
Pont-Gendarme	1 761 480	170	10 361
Ngomène	2 267 360	200	11 336
Ndiaye	1 304 424	120	10 870
Ndelle	1 716 087*	159	10 793*
Lampsar	831 061*	177	10 793*
Ferme exp.	334 583*	31	10 793*
Total rive gauche	9 295 695	863	10 820
Exhaure de NOAR	2 314 980	863	2 682

Tableau 7a : Apports et évacuations en rive gauche du Lampsar
(* Estimation à partir de la moyenne de 5 stations)

Cuvette	Volume pompé en m ³	Superficie cultivée en ha	Volume pompé en m ³ /ha
Ngao	1 613 312	144	11 203
Polo	2 406 939*	223	10 793*
Mbodiène	2 989 661*	277	10 793*
Total partiel rive gauche	7 009 912	644	10 929
Exhaure de Krankayé	1 733 400	644	2 691

Tableau 7b : Apports et Evacuations en rive droite du Lampsar
(* Estimation à partir de la moyenne de 5 stations)

Cuvette	Volume pompé en m ³	Superficie cultivée en ha	Volume pompé en m ³ /ha
Bifeche (rive droite)	1 651 329*	153	10 793*
Exhaure de Borbaf	354 780	153	2 318

Tableau 7c : Apports et Evacuations en rive droite du Lampsar
(*Estimation à partir de la moyenne de 5 stations).

Au vu de ces résultats, il apparaît que :

- Pour les groupes de cuvettes 1 et 2, drainées par les stations d'exhaures de Noar et Krankayé, les bilans en sels sont négatifs, sauf pour les bicarbonates, et, ramenés à l'hectare, du même ordre de grandeur dans les 2 groupes. Les quantités éliminées à l'hectare sont supérieures à celles observées en 1980 à Noar (pour Na^+ , 1,4 t/ha au lieu de 0,85 t/ha). Ceci est à mettre au compte d'un volume drainé par hectare supérieur (2682 m^3/ha à Noar et 2691 m^3/ha à Krankayé en 1981, contre 1861 m^3/ha à Noar en 1980) et à une concentration supérieure des eaux drainées (2,47 g/l à Noar et 2,34 g/l à Krankayé en 1981 contre 2,08 g/l en 1980 à Noar).

Le bilan positif des bicarbonates incite à penser que la salure résiduelle dans les cuvettes tendra, à long terme, vers le type carbonaté, au lieu de chloruro-sulfaté actuellement.

- Pour la cuvette 3, drainée par la station de Borbof, les bilans de tous les sels sont positifs, particulièrement pour HCO_3 , SO_4 , Na et Ca, malgré un volume pompé à l'hectare important (2282/ha). Ceci est dû à une faible concentration en sels des eaux évacuées (0,26 g/l).

On ne saurait en déduire que la salinité des sols de la cuvette a augmenté, car les sels contenus au départ par les sols, ont été probablement lessivés vers la nappe en grande partie. mais cette expérience montre bien la nécessité d'un drainage profond pour éviter l'accumulation des sels dans les eaux et les nappes. Le bilan positif reste ici modeste, mais qu'en serait-il en cas de culture non submergée, avec un volume drainé plus faible, voire nul ? Cette accumulation prendrait sans doute au fil des années, un caractère néfaste.
