



HAL
open science

Maîtrise de l'irrigation et du drainage en riziculture irriguée et désalcalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali) : modèle, hypothèse et arguments

Mamadou Kabirou N'Diaye, Serge Marlet, Mohamed Dicko

► To cite this version:

Mamadou Kabirou N'Diaye, Serge Marlet, Mohamed Dicko. Maîtrise de l'irrigation et du drainage en riziculture irriguée et désalcalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali) : modèle, hypothèse et arguments. Atelier du PCSI (Programme Commun Systèmes Irrigués) sur une Maîtrise des Impacts Environnementaux de l'Irrigation, 2001, Montpellier, France. 14 p. cirad-00179876

HAL Id: cirad-00179876

<http://hal.cirad.fr/cirad-00179876>

Submitted on 16 Oct 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Maitrise de l'irrigation et du drainage en riziculture irriguée et désalcalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali) : modèle, hypothèses et arguments

Mamadou Kabirou N'DIAYE*, Serge MARLET**, Mohamed DICKO*

* Coordinateur régional PSI, IER, BP258, Bamako, Mali - Kabirou.Ndiaye@ier.ml

** Animateur équipe SOLEMI, CIRAD-AMIS, programme Agronomie, TA 40/01, 34032 Montpellier cedex 1, France - serge.marlet@cirad.fr

Résumé

Maîtrise de l'irrigation et du drainage en riziculture irriguée et désalcalinisation des sols à l'Office du Niger (Mali) : Modèle, hypothèses et arguments. En riziculture irriguée, la submersion induit des modifications importantes dans les propriétés chimiques des sols du fait de la faiblesse des échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Dans ces conditions, la pression partielle en CO₂ augmente tandis que la pression partielle en O₂ et le potentiel redox diminuent. L'augmentation de la pCO₂ conduit à une diminution du pH, une dissolution de minéraux, principalement la calcite, et une augmentation de l'alcalinité dans la solution du sol. La diminution du potentiel redox est liée à une réduction du Fer (III) qui s'accompagne aussi d'une production d'alcalinité dans la solution du sol. Cette réduction du Fer est supposée prendre place : dans la structure de minéraux argileux ferrifères, accompagné d'une augmentation de la capacité d'échange cationique ; et dans une structure cristalline naturelle, une rouille verte Fe(II)-Fe(III), accompagné d'une décroissance de leur capacité d'échange anionique. Ces processus sont mis en évidence à travers deux expérimentations menées sur le terrain et au laboratoire. Les bilans d'eau et de sels ont été évalués à différentes échelles dans les périmètres irrigués pendant la saison rizicole, mais aussi pendant la contre-saison ou cours de laquelle se développent les cultures maraîchères. En conséquence, les canaux restent en eau pendant la contre-saison sur la majeure partie du périmètre et contribuent à la recharge de la nappe ; le drainage est très faible et le bilan des sels apparaît positif pendant la contre-saison. Pendant la saison rizicole, des volumes d'eau important transitent par le système de drainage et le bilan des sels apparaît négatif. Les sels évacués sont principalement issus de la solution du sol par diffusion puis de la vidange des bassins d'irrigation. Le bilan en sels apparaît globalement proche de l'équilibre. L'étude de la variabilité spatiale des propriétés des sols permet d'illustrer l'influence de ces mécanismes. Les eaux sont caractérisées par une alcalinité résiduelle positive et l'alcalinité et le pH de la solution du sol s'élève lorsqu'elle se concentre. Les points hauts apparaissent plus salés et surtout plus alcalins en raison d'une moindre maîtrise de l'irrigation et du drainage. Dans les zones basses, le faciès géochimique peu alcalin est interprété comme la conséquence d'une désalcalinisation des horizons superficiels liée à la mobilisation d'alcalinité pendant les périodes de submersion puis son évacuation par le réseau de drainage superficiel.

Introduction

Le développement des périmètres irrigués de l'Office du Niger date des années 40. La nappe se situait alors à une profondeur de 45 mètres et les sols étaient généralement considérés comme légèrement acides et ni salés, ni alcalins (Dabin, 1951). Avec la mise en valeur des périmètres, le niveau de la nappe s'est élevé rapidement pour atteindre une position sub-affleurante depuis les années 70. L'eau du fleuve Niger est peu salée ; Aussi les

risques ont-ils été considérés comme faibles jusqu'à ce que des phénomènes d'alcalinisation des sols soient formellement identifiés (Bertrand *et al.*, 1993). Les eaux sont en effet caractérisées par une alcalinité résiduelle positive et sa concentration conduit à une augmentation de l'alcalinité et de la sodicité des sols (Al Droubi *et al.*, 1980). Ces phénomènes sont généralement lents en raison de la faible minéralité des eaux mais aussi des équilibres entre la solution du sol et la matrice solide à travers différents mécanismes d'échanges cationiques et de précipitations de minéraux qui interviennent pour tamponner l'évolution de l'alcalinité (Marlet *et al.*, 1998). L'engorgement et l'alcalinisation des sols ont favorisé la disparition de la culture du coton au bénéfice exclusif du riz pendant la saison pluvieuse.

A partir des années 1990, les périmètres de l'Office du Niger ont connu de profondes évolutions sous l'influence conjointe de réhabilitations des infrastructures hydrauliques, d'une intensification des systèmes de culture rizicole en relation avec la généralisation du repiquage, de la libéralisation des filières commerciales et d'un désengagement progressif de l'état au profit d'organisations paysannes. L'amélioration de la maîtrise de l'irrigation et du drainage qui en découle a conduit à une augmentation spectaculaire des rendements et apparaît en mesure de prévenir efficacement les phénomènes de dégradation des propriétés physico-chimiques des sols observés localement, ou d'en minimiser les effets.

Les travaux menés par le Pôle régional de recherche sur les Systèmes Irrigués en Afrique de l'Ouest (PSI-CORAF) entre 1996 et 1999 ont porté sur une meilleure compréhension des mécanismes d'alcalinisation des sols dans les périmètres irrigués. Dans cet article, les résultats portant sur le fonctionnement biogéochimique des sols, les bilans en eau et en sels à l'échelle des aménagements et leurs conséquences sur l'évolution temporelle et la variabilité spatiale de l'alcalinité des sols seront successivement présentés. Sur la base de ces résultats, un modèle de fonctionnement sera ensuite présenté.

Fonctionnement biogéochimique des sols sous l'influence de la submersion

Les expérimentations ont été conduites sur une parcelle de l'arroiseur N1-2D-3g du distributeur Retail. Après une caractérisation initiale de la variabilité spatiale de la parcelle, le site expérimental a été localisé sur la partie la plus alcaline du site d'étude. Le suivi a porté plus spécifiquement sur l'horizon 0-20 cm (pH de 9.44 et teneur en sables totaux de 69.1%). Au laboratoire, un échantillon de sol remanié a été préalablement saturé, puis couvert d'une lame d'eau de 10 cm d'épaisseur et protégé de l'évaporation ; 4 répétitions ont été mises en place. Le potentiel redox (Eh) ont été suivi de façon continue (fig. 1a). Après 19, 48, 82 et 128 jours de submersion, la solution du sol et la lame d'eau superficielle ont été prélevées pour analyse ; seuls les résultats portant sur la mesure de la conductivité électrique (fig. 1d), la teneur en chlorure et l'alcalinité (fig. 1b) seront présentés. Des échantillons de sol ont été prélevés simultanément pour la mesure de la capacité d'échange cationique (fig. 1c) par la méthode du chlorure de cobalthéxamine sous atmosphère d'azote afin d'éviter toute oxydation. Un suivi *in situ* du fonctionnement du sol a été mis en œuvre au cours de la saison de culture 1998. Le pH et le potentiel redox (Eh) ont été mesurés 3 fois par semaine (fig. 2a). La solution du sol et la lame d'eau superficielle ont été prélevées à une fréquence hebdomadaire pour analyse ; seuls les résultats portant sur la teneur en chlorure (fig.2d) et l'alcalinité (fig. 2c) seront présentés. La pression partielle en CO₂ (fig. 2b) a été calculée à l'aide du modèle GYPSOL (Vallès et Bourgeat, 1988) à partir du pH et de la composition de la solution du sol.

Résultats expérimentaux au laboratoire

Sous submersion, on observe une décroissance progressive du potentiel redox de +350 mV à -250 mV au cours de l'expérimentation. Après une première phase de latence, des conditions anaérobies se développent rapidement et le potentiel redox apparaît contrôlé

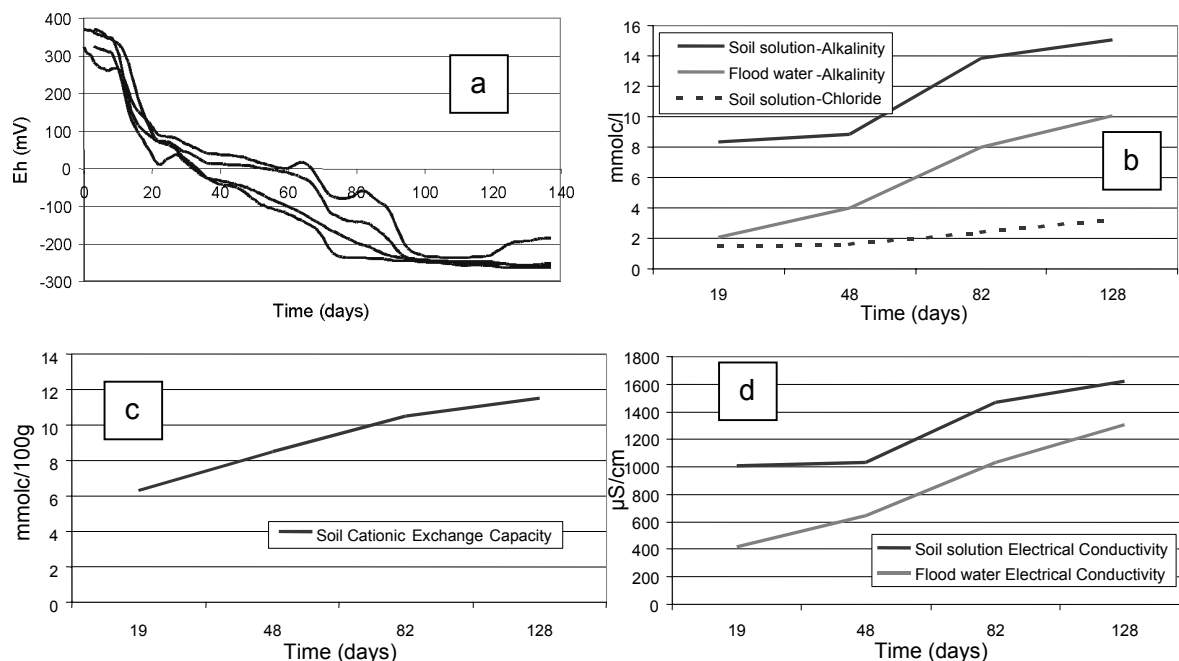
successivement par la réduction du Fer (-150 à -200 mV) à partir du vingtième jour après submersion, puis par la réduction du soufre (-450 mV) à partir du jour 80 environ (fig.1a).

Dans la solution du sol, ces processus conduisent à une production d'alcalinité associée à la réduction du Fer, et dans une moindre mesure du soufre. Dans le même temps, aucune augmentation significative de la teneur du Fer en solution n'a pu être observée. La réduction du Fer est supposée prendre place :

- Dans la structure de minéraux argileux ferrifère, mais aussi d'oxy-hydroxydes de Fer qui recouvre partiellement les minéraux argileux et se dissolvent suite à la réduction du Fer (Favre, 2000). Ces processus induisent une augmentation de la Capacité d'Echange Cationique des sols qui double par rapport à sa valeur initiale (fig.1c);
- Dans la structure cristalline de rouilles vertes (Génin *et al.*, 1998 ; Feder, 2001). Un excès en charge positive leur confère une capacité d'échange anionique variable en relation avec les variations du ratio Fe(II):Fe(III) entre 1:3 et 2:3 en fonction des conditions d'oxydoréduction. En conséquence, une diminution de la Capacité d'Echange Anionique est attendue avec la réduction du Fer. Les anions sont alors désorbés et leur molarité augmente dans la solution du sol comme cela a été noté pour les chlorures au cours de l'expérimentation (fig.1b)

Dans la lame d'eau superficielle, la diffusion des sels depuis la solution du sol conduit à une augmentation progressive de la conductivité électrique (fig.1d) et de l'alcalinité (fig.1b) qui tendent vers un équilibre à long terme.

Figure 1. Evolution des propriétés du sol sous l'influence de la submersion en réacteur fermé au laboratoire : a) Evolution du potentiel redox – b) Evolution de l'alcalinité et de la molarité en chlorure dans la solution du sol et la lame d'eau superficielle – c) Evolution de la capacité d'échange cationique – d) Evolution de la conductivité électrique de la solution du sol et de la lame d'eau superficielle

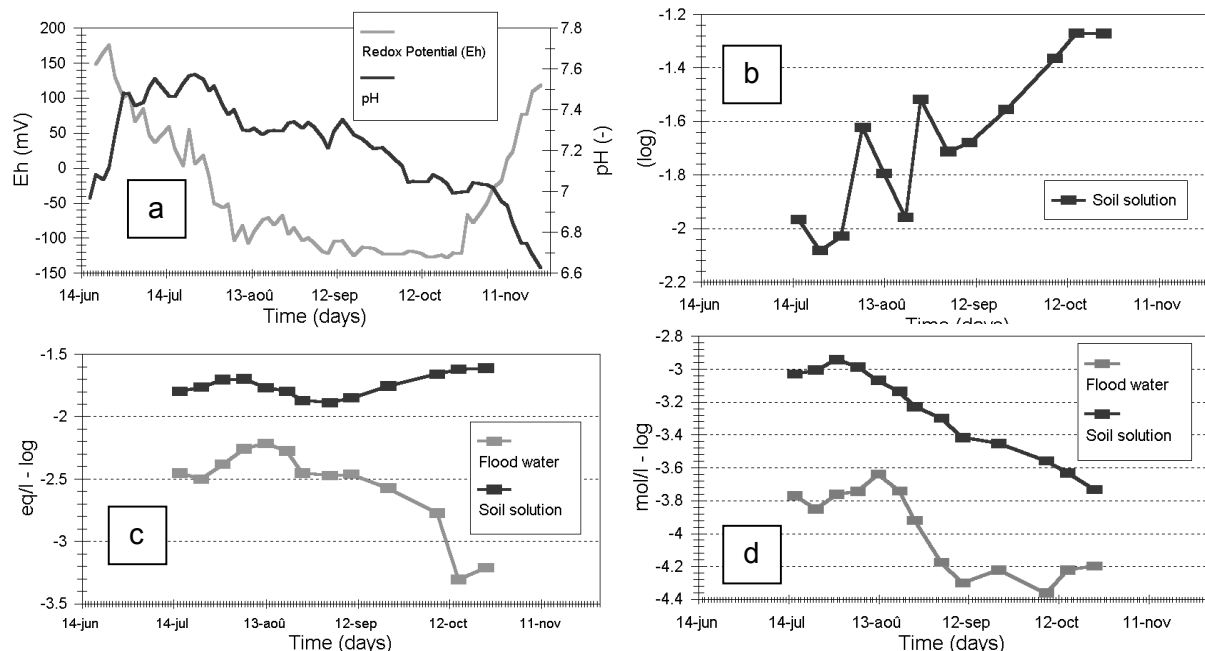


Résultats expérimentaux au champ

La saison de culture apparaît subdivisée en 3 périodes en relation avec la gestion de l'eau et l'évolution des propriétés chimiques des sols (fig. 2a) :

- De la mi-juin à la mi-juillet, le sol a été successivement irrigué et labouré et aucune lame d'eau n'a été maintenue en surface. On observe une légère décroissance du potentiel redox et une augmentation du pH ; cette augmentation du pH est attribuée conjointement à une dissolution des minéraux alcalins associée à une production d'alcalinité et une consommation de CO_2 dans la solution du sol sous l'influence de la pluie ou des irrigations ; et une concentration de la solution du sol et une augmentation de l'alcalinité sous l'influence de l'évaporation pendant les périodes sèches.
- A partir de la mi-juillet, une lame d'eau est mise en place et le riz est planté. On observe une décroissance rapide du potentiel redox qui atteint un plancher après un mois de submersion. Ce comportement est attribué à la réduction du Fer. Dans le même temps, le pH diminue sous l'influence d'une augmentation de la pression partielle en CO_2 (fig. 2b) tandis que l'alcalinité demeure élevée en solution (fig. 2c).
- A la fin du mois d'octobre, la parcelle de culture a été vidangée pour la récolte. On observe une augmentation rapide du potentiel redox associé à une diminution du pH. Cette diminution est attribuée à une oxydation du Fer qui consomme de l'alcalinité dans la solution du sol. Ce processus apparaît dominant par rapport à un dégazage du CO_2 qui aurait pour conséquence une augmentation du pH.

Figure 2. Evolution des propriétés du sol au champ au cours de la saison rizicole 1999 : a) Evolution du potentiel redox et pH – b) Evolution de la pression partielle en CO_2 – c) Evolution de l'alcalinité dans la solution du sol et la lame d'eau superficielle – d) Evolution de la molarité en chlorure dans la solution du sol et la lame d'eau superficielle



Le prélèvement et l'analyse de la solution ont été limités à la période de submersion. Les principaux résultats montrent :

- Une diminution de la molarité en chlorure dans la solution du sol et la lame d'eau superficielle. Ce résultat se différencie des évolutions observées en réacteur fermé où une augmentation progressive de la molarité en chlorure était observée. Ce

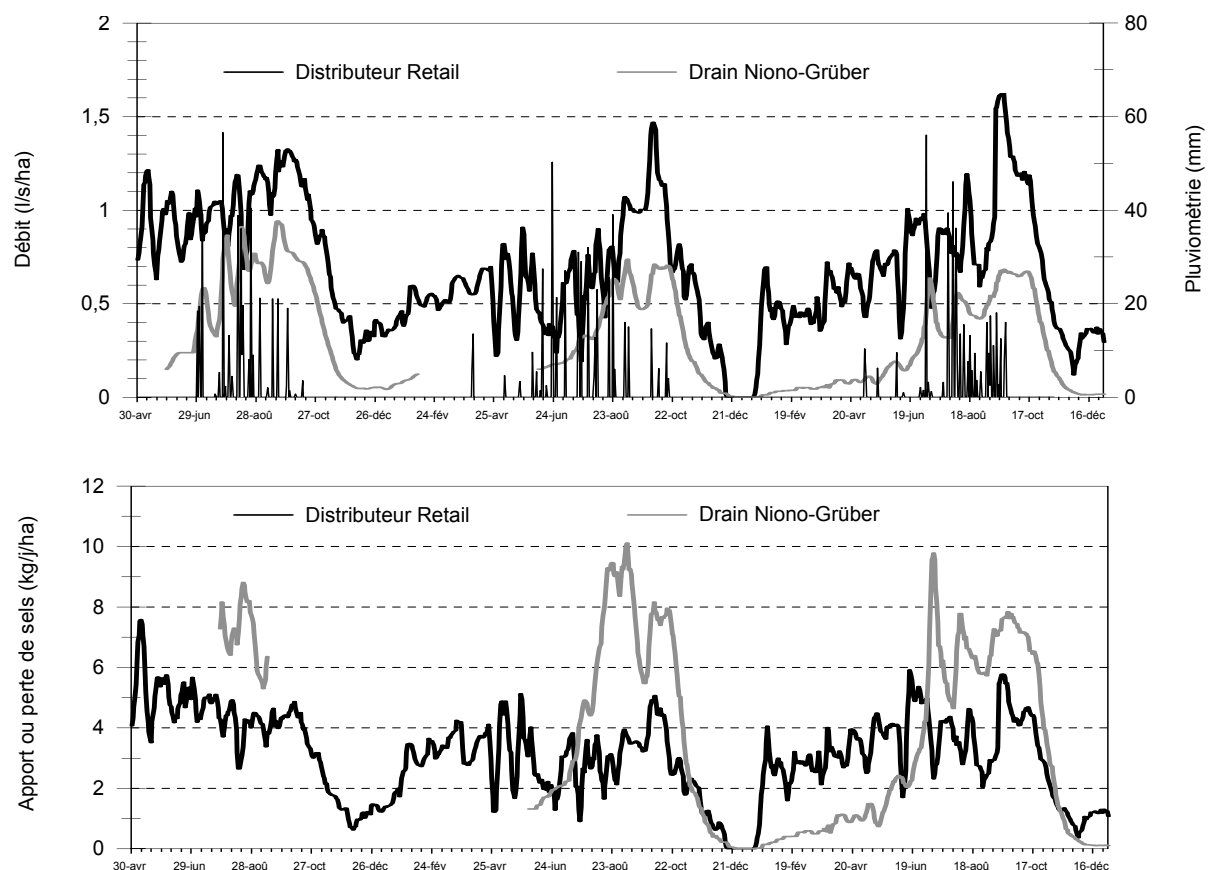
comportement est attribué à un renouvellement régulier de la lame d'eau superficielle sous l'influence de l'irrigation et de la vidange des bassins d'irrigation et à une diffusion continue des solutés de la solution du sol vers la lame d'eau superficielle.

- Une stabilité, voire une tendance à l'augmentation de l'alcalinité dans la solution du sol pendant la seconde partie du cycle malgré l'existence de phénomènes de diffusion vers la lame d'eau superficielle. Ce comportement est attribué à une production continue d'alcalinité associée aux périodes de réduction du Fer comme cela a été mis en évidence en réacteur fermé.

Bilan en eau et en sels à l'échelle des aménagements

Les bilans en eau et en sels ont été évalués du mois de mai 1996 à la fin de l'année 1998. Les flux entrants ont été mesurés à l'entrée du distributeur Retail qui dessert une superficie de 4275 hectares. Les flux sortants ont été mesurés au PK9.8 du drain Niono-Grüber qui recueille les eaux de drainage issues d'une superficie de 4200 hectares. Les quantités de sel ont été évaluées à partir de la mesure de la conductivité électrique sur la base d'un taux de conversion moyen de 1.09 mg/l de sel par $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductivité électrique (Marlet et al., 1998 ; Ouvry et Marlet, 1999).

Figure 3. Bilan en eau et en sels à l'échelle du casier Retail (débit d'eau ou quantité journalière de sels entrants dans le distributeur Retail et sortant au niveau du pK9.8 du drain principal Niono-Grüber)

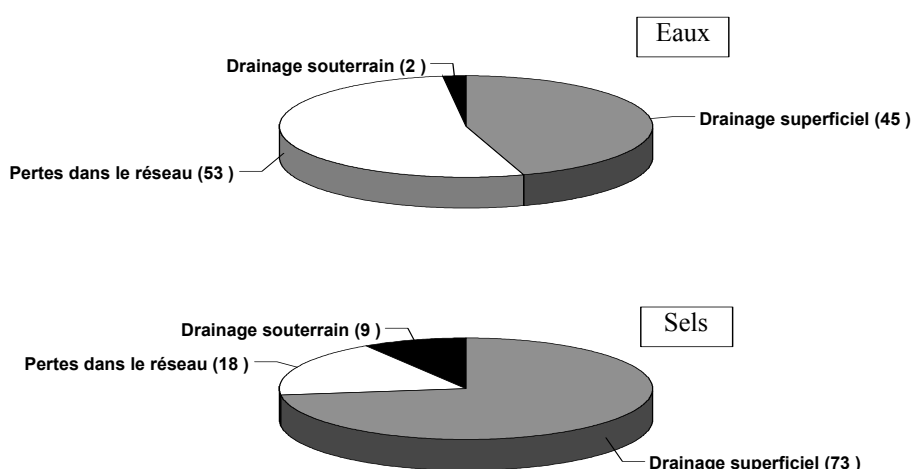


Pendant la saison rizicole, les flux moyens s'élèvent à environ $14500 \text{ m}^3/\text{ha}$ à l'échelle du distributeur Retail et à $6900 \text{ m}^3/\text{ha}$ à l'échelle du drain Niono-Grüber. Ces pertes interviennent principalement au niveau du réseau tertiaire comme la conséquence de (fig. 4) :

- Vidanges (*flushing*), volontaires ou accidentelles, des bassins d'irrigation, d'une part. Ils contribuent efficacement à la désalinisation des sols irrigués par diffusion. Ces vidanges correspondent à environ 45% des eaux et à 73% des sels évacués par le système de drainage. Ces valeurs doivent être comparées aux 2% des eaux et aux 9% des sels issus du drainage souterrain de la nappe (Marlet, 2000) ;
- Pertes dans le réseau hydraulique, d'autre part. Elles correspondent à 53% des volumes drainés et représentent la principale opportunité d'accroissement des performances hydrauliques des aménagements.

En conséquence, le bilan des sels montrent une désalinisation des sols pendant la saison rizicole en raison d'importantes sorties d'eau et de sels issues des vidanges des casiers rizicoles (fig.3).

Figure 4. Origine des eaux et des sels dans les eaux de drainage (% des quantités d'eau ou de sels drainés pendant la saison rizicole)



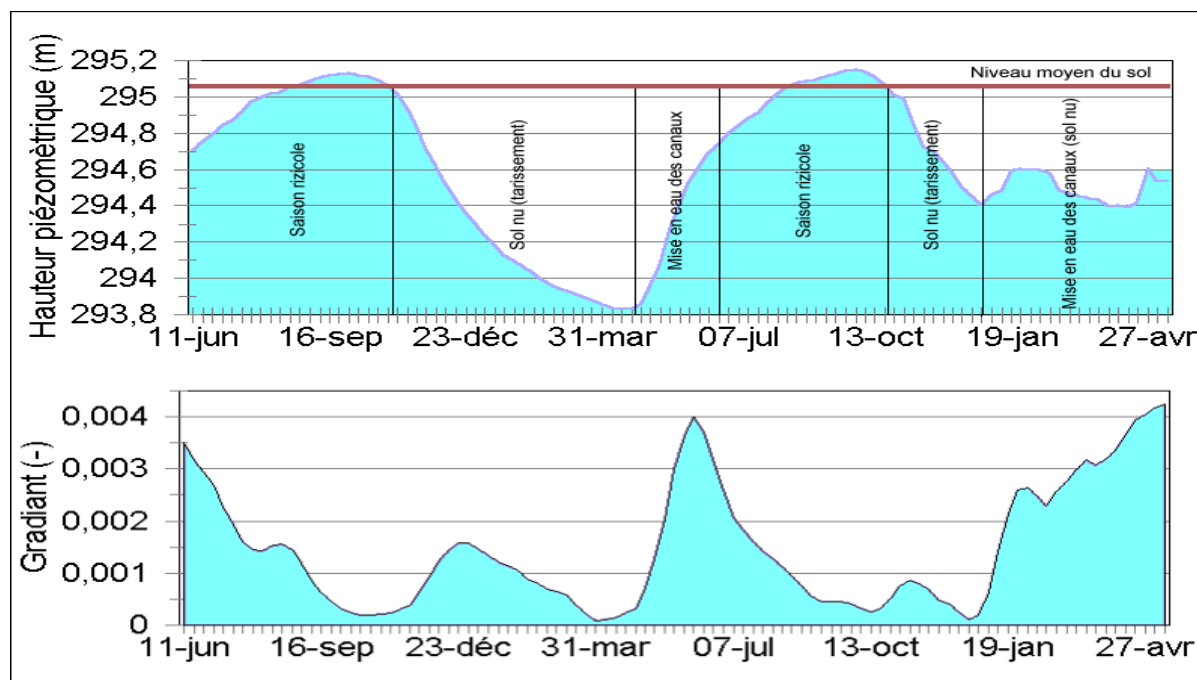
Pendant la contre-saison, les résultats montrent une tendance à l'accumulation de sels en raison de volumes drainés faibles et du maintien à un niveau élevé des volumes entrants dans le distributeur Retail (fig.3). La consommation en eau sur le périmètre s'élève en moyenne à environ 3.5 mm/j alors que moins de 20% de la superficie est utilisé pour des cultures de contre-saison : maraîchage et riz. Ce phénomène est principalement attribué à d'importantes pertes par infiltration dans les canaux d'irrigation. A l'exemple de la dynamique de la nappe observée sur l'arroiseur N1-2D-3g (fig. 5), les pertes ont lieu principalement au cours de trois périodes :

- A la mise en eau du système hydraulique au début de la saison rizicole quand la remontée de la nappe précède généralement la mise en eau des casiers rizicoles. La remontée de la nappe de ralentit ensuite progressivement jusqu'à l'affleurement de la nappe pendant toute la fin de la saison rizicole ;
- Après la vidange des bassins rizicoles quand les canaux d'irrigation contribuent à soutenir la nappe dont le tarissement se poursuit sous l'influence de l'évaporation ; et ;
- Pendant la contre-saison lorsque les canaux sont maintenus en eau pour la pratique de cultures de contre-saison et diverses activités sociales. Les canaux alimentent alors la nappe qui s'établit proche de la surface (50 à 60 cm environ), y compris dans les secteurs non cultivés. Ce flux a été évalué à une lame d'eau équivalente d'environ 1 mm/j. Il varie en fonction des périodes de l'année et de la perméabilité des matériaux : Lamme d'eau supérieure à 1.5 mm/j sur les formations sableuses mais inférieure à 0.5 mm/j sur les formations argileuses.

Le bilan annuel des sels apparaît proche de l'équilibre. Il serait globalement excédentaire sur les formations sableuses les plus perméables, en raison d'une forte recharge de la nappe

par le système hydraulique mais aussi d'une maîtrise insuffisante de l'irrigation et du drainage sur les points hauts (levées sableuses). Il serait globalement déficitaire sur les cuvettes argileuses sous l'influence des vidanges dans la mesure où la réhabilitation des infrastructures hydrauliques permet un fonctionnement correct du système de drainage.

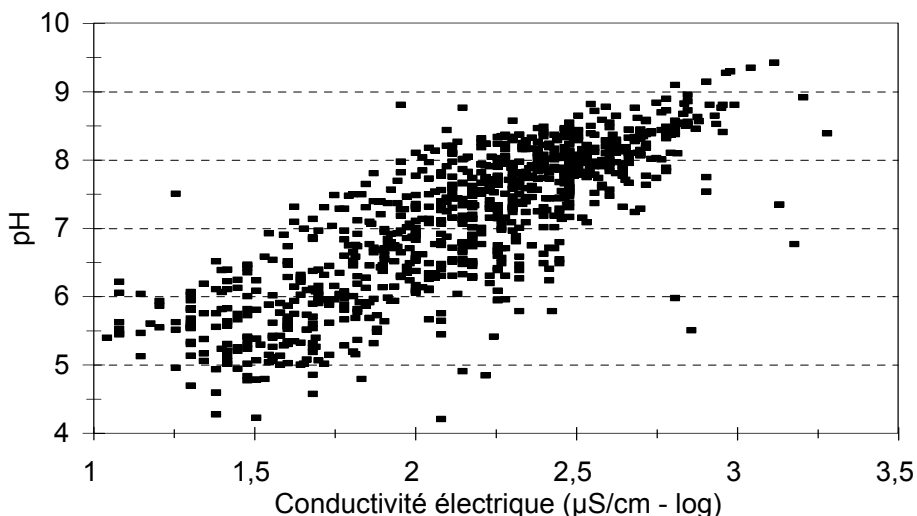
Figure 5. Dynamique de la nappe sur l'arroiseur N1-2D-3g de juin 1997 à avril 1999 : Evolution de la hauteur de la nappe et du gradient hydraulique moyen de l'arroiseur au centre de la parcelle



Variabilité spatiale et évolution temporelle de l'alcalinité

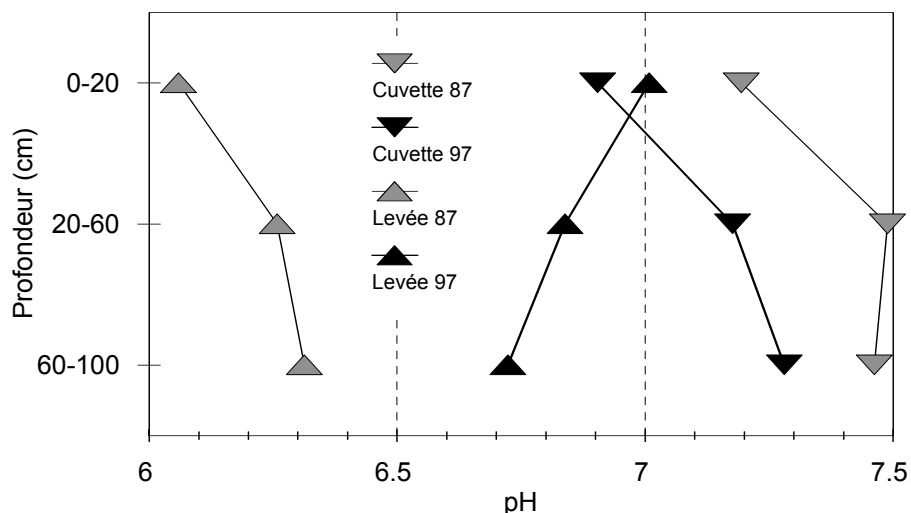
En raison de la qualité des eaux d'irrigation caractérisées par une alcalinité résiduelle positive, les sols évoluent dans un contexte d'alcalinisation lorsque la solution se concentre. Le pH et la conductivité électrique, mais aussi la texture et la topographie, ont été mesurée sur 343 profils de sol sur 7 arroseurs de la zone de Niono à trois profondeurs : 0-20, 20-60 et 60-100 cm. Cette tendance à l'alcalinisation des sols est illustrée par l'augmentation concomitante de la conductivité électrique et du pH qui peut atteindre des valeurs supérieures à 9 (fig. 6).

Figure 6. Alcalinisation des sols de l'Office du Niger : Relation entre la conductivité électrique et le pH mesuré sur suspension (1 :2.5) au laboratoire



L'évolution des sols a connu deux phases en fonction de l'évolution des modalités de gestion de l'irrigation. Ces évolutions ont pu être mises en évidence par la comparaison de 40 profils de sol de la zone de Niono dont la conductivité électrique et le pH ont été mesurés sur les mêmes sites en 1987 suite à la réhabilitation, puis en 1997 (fig. 7) (Marlet et N'Diaye, 1998). Pendant la période précédant la réhabilitation des périmètres, la gestion de l'irrigation et du drainage était déficiente et l'alcalinité et la sodicité des sols argileux, moins perméables et au drainage déficient, a augmenté. Les sols sableux semblent avoir été efficacement lessivés, notamment avant la remontée de la nappe consécutive aux infiltrations dans ces sols et les canaux d'irrigation. Pendant la période suivant la réhabilitation, la maîtrise de l'irrigation et du drainage s'est améliorée et les cultures se sont développées pendant la contre-saison. Les canaux d'irrigation restent en eau en permanence sur une grande partie du périmètre, contribuent à la recharge de la nappe sur les formations les plus perméables et alimentent un flux important de remontées capillaires. Dans cette période récente, le pH, la conductivité électrique et la sodicité des sols sableux ont rapidement augmenté tandis que ces indicateurs diminuaient sur les sols argileux. Ces évolutions sont particulièrement sensibles dans l'horizon superficiel tandis que les propriétés des horizons profonds restent partiellement héritées des évolutions antérieures. A l'heure actuelle, la salinité et l'alcalinité des sols argileux demeurent plus élevées que celles des sols sableux bien que cette tendance soit en train de s'inverser. La sodicité des sols sableux est souvent plus élevée en raison d'une moindre Capacité d'Echange Cationique (CEC). 30% des sols peuvent être considéré comme alcalins et sodiques ; ils ne sont pas salés.

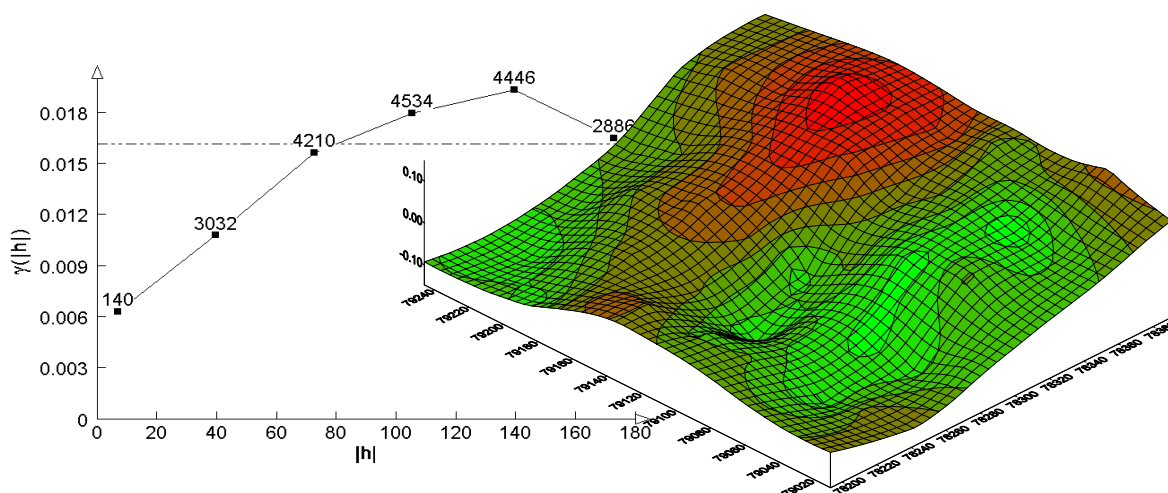
Figure 7. Evolution du pH des sols de la zone de Niono de 1987 à 1997 après réhabilitation : comparaison entre levées sableuses et cuvettes argileuses



Une analyse géostatistique a été réalisée à partir des 343 profils caractérisés sur 7 arroseurs de la zone de Niono : topographie et mesure de la teneur en sables totaux, du pH et de la conductivité électrique pour les horizons 0-20, 20-60 et 60-100 cm (Marlet et Ndiaye, 1998). Parmi les différents résultats obtenus, on observe notamment une forte corrélation spatiale entre la topographie et le faciès géochimique du sol (fig.8) caractérisé par les résidus de la régression linéaire entre le pH et la conductivité électrique ('résidus pH vs log(CE)')(fig.6). Cette corrélation spatiale a été illustrée sur l'arroseur N1-2D-3g par la superposition des cartes krigées représentant la topographie et la variabilité spatiale du faciès géochimique sur la zone d'étude (fig.8). Ces mêmes résultats mettent aussi en évidence des corrélations spatiales de moindre intensité entre la topographie et la conductivité électrique et le pH, respectivement. Ces résultats montrent que :

- Les sels se concentrent préférentiellement sur les parties hautes des parcelles rizicoles où l'influence du drainage superficielle (*flushing*) est moins importante ;
- Le faciès géochimique des sols est moins alcalins dans les parties basses des parcelles rizicoles où les processus biogéochimiques induits par la submersion conduisent à une neutralisation de l'alcalinité.

Figure 8. Semi-variogramme croisé entre la topographie (mètre) et les résidus de la régression linéaire entre la conductivité électrique (log) et le pH. Exemple de l'arroseur N1-2D-3g (topographie en relief et résidus pH vs log(CE) en contours)



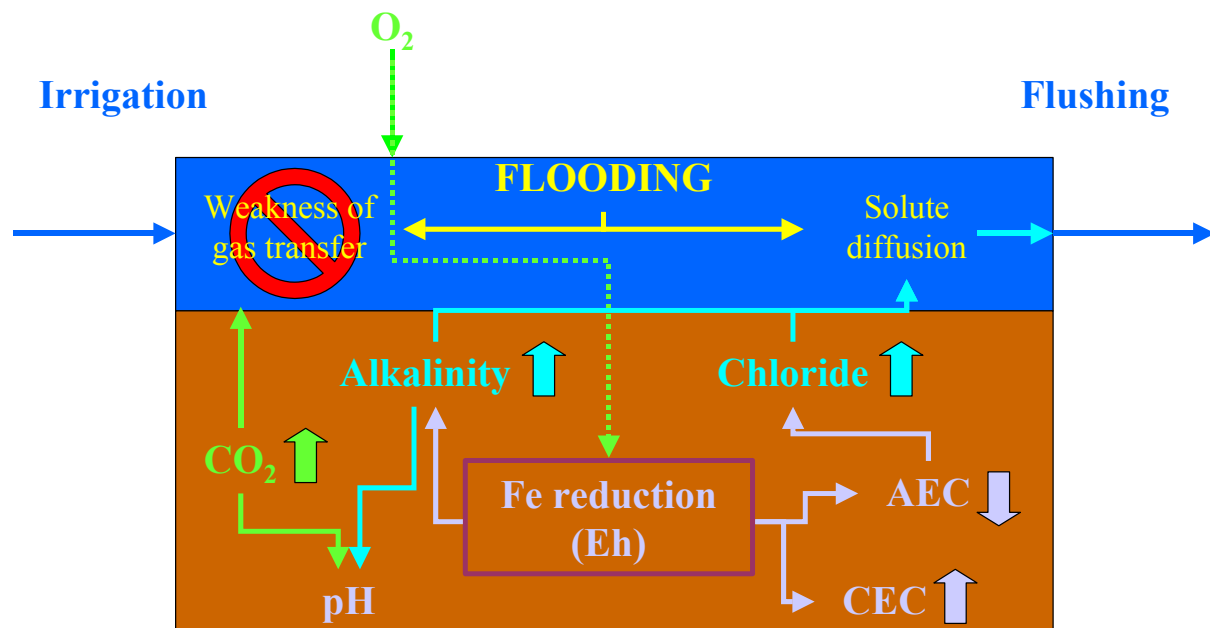
La topographie joue un grand rôle dans la distribution des sels à différentes échelles, les points hauts apparaissant, aux yeux du chercheur comme à ceux du paysan, comme les plus sensibles à la dégradation. Il s'agit de zones marginales difficilement irrigables, inclus dans les aménagements ou hors casiers ; ou de points hauts relatifs à l'échelle de l'arroseur ou du bassin d'irrigation, régulièrement exondés, où viennent se concentrer les sels apportés par les eaux d'irrigation.

Proposition d'un modèle de fonctionnement

Dans les systèmes de riziculture irriguée sous submersion, les bilans d'alcalinité apparaissent influencées par un ensemble de mécanismes.

La qualité des eaux d'irrigation conduit à une alcalinisation des sols lorsqu'elle se concentre. Cette concentration est la résultante de différents mécanismes hydrologiques où l'irrigation, le drainage superficiel, l'écoulement souterrain de la nappe, mais aussi les remontées capillaires à partir de la nappe pendant la contre-saison, interviennent conjointement. Les dysfonctionnements du réseau de drainage ont joué un rôle prédominant avant la réhabilitation en favorisant la concentration des sels dans les cuvettes argileuses. Suite à la réhabilitation des infrastructures hydrauliques, l'efficacité du réseau de drainage a été sensiblement améliorée tandis que les canaux d'irrigation sont maintenus en eau pendant la plus grande partie de l'année. L'évolution des sols apparaît principalement influencée par les pertes dans les canaux d'irrigation, la recharge de la nappe et les flux de remontées capillaires ; les formations sableuses les plus perméables sont désormais les plus affectées. Dans le même temps, la submersion induit un ensemble de processus biogéochimiques. Dans un premier temps, la submersion continue conduit à une réduction du Fer et une production d'alcalinité dans la solution du sol. L'existence d'assecs sur les points hauts où la maîtrise de l'eau est insuffisante est susceptible de réduire fortement l'intensité de ces processus. Dans un second temps, l'alcalinité et les autres solutés diffusent progressivement de la solution du sol vers la lame d'eau superficielle. Sous l'influence d'une recharge continue de la nappe par les canaux d'irrigation, ce phénomène de diffusion pourrait être accentué par un flux convectif ascendant dont l'intensité n'a pas pu être caractérisée dans le cadre de ces travaux. Dans un troisième temps, la vidange des casiers rizicoles permet d'évacuer l'alcalinité et les autres solutés vers le réseau de drainage. Enfin, la réoxydation du Fer neutralise de l'alcalinité dans la solution du sol.

Figure 9. Représentation schématique du fonctionnement biogéochimique des sols rizicoles sous l'influence de la submersion



Conclusion

Ces mécanismes agissent comme un processus de désalcalinisation des sols qui s'oppose à un apport continu d'alcalinité par les eaux d'irrigation. La riziculture irriguée apparaît ainsi comme une culture particulièrement bien adaptée à la mise en valeur des sols alcalins. La maîtrise de l'irrigation et du drainage est fondamentale car elle conditionne ces mécanismes. Les évolutions les plus préoccupantes relevées sur les sols sableux, les points hauts ou les secteurs maraîchers en sont la conséquence directe. C'est donc dans une adaptation des modalités de gestion de l'eau (irrigation et drainage) et des techniques qui lui sont associées (travail du sol et planage par exemple) que des méthodes de prévention ou de réhabilitation efficace pourront être identifiées.

Les perspectives d'évolution des modalités de gestion des périmètres dans un contexte d'accroissement des superficies sont marquées par une aggravation des facteurs de risque liés :

- A une diminution attendue des volumes d'eau disponibles ;
- Au développement des cultures de contre-saison augmentant la recharge de la nappe dont le niveau reste en permanence proche de la surface ;
- Au développement d'aménagements sommaires ne répondant pas à des normes satisfaisantes concernant le planage et le réseau de drainage ;
- A la réutilisation des eaux de drainage.

Ces perspectives plaident pour qu'un dispositif pérenne de suivi de l'évolution des sols en relation avec les performances de l'irrigation, du drainage et des systèmes de culture (notion d'observatoire) soit mis en place et intégré dans le dispositif de suivi-évaluation de l'Office du Niger.

Bibliographie

- AL DROUBI A., FRITZ B., GAC J.Y., TARDY Y., 1980. Generalized residual alkalinity concept : application to prediction of the chemical evolution of natural waters by evaporation. *Am. J. Sci.*, 280 : 560-572
- BERTRAND R., KEITA B., NDIAYE M.K., 1993. La dégradation des sols des grandes vallées sud-sahariennes (cas de l'Office du Niger). *Cahiers agriculture*, 2 : 318-329.
- DABIN B., 1951. Contribution à l'étude des sols du delta central nigérien. *L'agronomie tropicale*, 6 (11-12) : 606-637
- FAVRE F., 2000. Interactions entre oxydoréduction et dynamiques salines dans un vertisol irrigué par submersion. *PhD thesis*, Ecole polytechnique de Lausanne.
- FEDER, F., 2001. Dynamics of oxydoreduction processes in hydromorphic soils. In situ monitoring of soil solution chemistry and solid iron species. *PhD thesis*, université d'Aix-Marseille III.
- GENIN J.M.R., BOURRIE G., TROLARD F., ABDELMOUNA M., JAFFREZIC A., REFAIT P., MAITRE V., HUMBERT B., HERBILLON A., 1998. Thermodynamic equilibria in aqueous suspensions of synthetic and natural Fe(II)-Fe(III) green rusts : occurrence of the mineral in hydromorphic soils. *Environmental science & technology*, 32(8) : 1058-1068
- MARLET S., VALLES V., LAFOLIE F., CONDOM N., 1998. Hydrogeochemical modeling: a suitable approach to predict the effect of irrigation on soil salinity, sodicity and alkalinity. In: 16th ISSS world congress, August 1998, Montpellier, France.
- MARLET S., NDIAYE M.K., 1998. Evolution temporelle et variabilité spatiale des indicateurs de la dégradation des sols par alcalinisation et sodisation à l'Office du Niger. PSI-Mali : Etudes et travaux n°6, IER, Bamako
- MARLET S., TANGARA B., OUVRY F., 1998. Bilan des eaux et des sels à l'échelle des périmètres de l'Office du Niger. PSI-Mali : Etudes et travaux n°7, IER, Bamako
- MARLET S., 2000. Evolution des sols sous irrigation. In : J.C. Legoupil, C. Dancette, P. Godon, I.M. Maïga et K.M. Ndiaye (eds). Pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone soudano-sahélienne. Synthèse des résultats du pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués. Ed. WECARD-CORAF, ISSN 0851-0296 p. 420-433. Actes du séminaire, Dakar (Sénégal) du 30 novembre au 3 décembre 1999
- OUVRY F., MARLET S., 1999. Suivi de l'irrigation et du drainage, étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono, Mali). PSI-Mali : Etudes et travaux n°8, IER, Bamako
- VALLES V., BOURGEAT F., 1988. Geochemical determination of the gypsum requirements of cultivated sodic soils. I. Development of the thermodynamic model GYPSOL simulating the irrigation water-soil chemical interactions. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 2 : 165-177