

# Impacts environnementaux de la mise en valeur d'une zone inondable par irrigation

Evolution des sols et des eaux  
à l'Office du Niger (Mali)

**Serge Marlet**  
Pédologue

**Mamadou Kabirou N'Diaye**  
Pédologue

Les zones inondables sont un lieu privilégié d'intensification des systèmes de culture en relation avec un contrôle accru de la ressource en eau. Dans le delta intérieur du Niger, le potentiel hydraulique est considérable et représente une opportunité d'accroissement de la production agricole du Mali. Ce potentiel est estimé à un million d'hectares. Cependant, l'Office du Niger (Bonneval *et al.*, 2002) n'exploite actuellement que 56 675 ha de casiers aménagés (fig. 1), dont 5 000 ha de canne à sucre, et alimente environ 15 000 ha de « hors casiers » ainsi qu'un casier en maîtrise partielle de l'eau (submersion contrôlée) de 3 000 ha de l'« Opération Riz Ségou » (ORS). Depuis plus d'une dizaine d'années, la réhabilitation des aménagements, la libéralisation des filières et l'amélioration des pratiques culturales ont conduit à une amélioration spectaculaire des performances de la riziculture à l'Office du Niger. Les rendements moyens, initialement proche des 2 t ha<sup>-1</sup> de paddy, dépassent aujourd'hui les 5 t ha<sup>-1</sup>. Ces évolutions s'accompagnent de nombreux périls pour l'environnement dans et à proximité des zones aménagées (MDRE, 1999).



Figure 1  
Carte de l'Office du Niger.

Ces périls concernent à la fois les ressources naturelles en bois, les pâturages, la biodiversité, la gestion des ressources en eau du fleuve Niger (en quantité comme en qualité), la pression démographique, l'état sanitaire des populations, les systèmes de production et l'environnement aussi bien pour les systèmes irrigués que pour l'agriculture pluviale, l'élevage et la pêche. Dans ce contexte, l'évolution de la qualité des sols et des eaux est une des plus sérieuses menaces qui pèsent sur la durabilité des systèmes irrigués dans la mesure où la productivité du système de culture serait directement affectée.

L'évolution de la qualité des sols et des eaux est analysée à travers l'exemple des périmètres irrigués de l'Office du Niger (N'Diaye, 1987). Les performances du système hydraulique sont tout d'abord analysées car elles représentent un déterminant essentiel des bilans en eau et en sels à différentes échelles dans les périmètres irrigués. Puis l'impact de ces phénomènes sur l'évolution des sols et sur la productivité des systèmes irrigués est évalué.

## ■ Les performances du système hydraulique et ses conséquences sur les bilans en eau et en sels

La quantité d'eau prélevée annuellement dans le fleuve Niger est estimée à 2,56 milliards de m<sup>3</sup>, soit environ 35 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> si l'on considère l'ensemble des superficies irriguées à partir des eaux dérivées du barrage de Markala. Ces prélèvements représentent moins de 10 % des apports du fleuve Niger pendant la période de crue de juillet à décembre bien que les besoins en eau soient élevés pendant cette période de campagne rizicole. A l'inverse, ils représentent plus de 30 % des apports du fleuve (jusqu'à 50 % de février à mai) pendant l'étiage alors que les superficies cultivées sont marginales. La mise en eau des casiers rizicoles au cours du mois de juin représente la principale période de crise comme l'a illustré le retard de la crue en 1999 (Hassane et Kuper, 1999). La ressource reste globalement suffisante mais l'extension des superficies cultivées passe par une meilleure gestion de l'eau et une réduction des consommations, notamment en raison d'un débit d'équipement limité du réseau hydraulique primaire. L'Office du Niger s'est fixé comme objectif une consommation de 15 000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de riz cultivé en hivernage à l'échelle des arroseurs.

Les bilans en eau (Ouvry et Marlet, 1999) réalisés au niveau du système du Sahel (Fala de Molodo) et du casier Retail montrent que (fig. 2) :

– seulement 25 % des eaux dérivées du barrage de Markala sont effectivement utilisées par les cultures : l'évapotranspiration d'une

culture de riz pendant l'hivernage s'élève à environ  $10\,500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , soit  $5,7\text{ mm j}^{-1}$  en moyenne. En fonction d'apports pluviométriques moyens de  $3\,500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  au cours de la campagne, les besoins nets en eau d'irrigation sont proches de  $7\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ . Cependant, considérant les quantités nécessaires à la mise en eau des parcelles rizicoles, des besoins en eau de l'ordre de  $12\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , soit des besoins en eau d'irrigation de  $8\,500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , apparaissent comme une référence plus fiable, et par ailleurs conforme aux résultats obtenus sur d'autres périmètres du Sénégal ou de la Mauritanie ;

- 44 % sont perdus dans le réseau primaire par évaporation et infiltration sur les biefs « point A - point B », « point B - point C » du Fala de Molodo, mais aussi par déversement au point C des eaux qui viennent alimenter l'aval des zones aménagées, ces pertes sont d'autant plus élevées en proportion que les superficies aménagées sont limitées par rapport au potentiel aménageable ;

- 21 % sont perdus dans le système de drainage, essentiellement pendant la saison rizicole : au niveau du drain principal Niono-Grüber, les volumes drainés s'élèvent en moyenne à  $6\,870\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  au cours de cette saison ; au niveau des arroseurs suivis sur le distributeur Retail, les résultats sont équivalents ( $6\,700\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) avec toutefois une forte variabilité ; le drainage souterrain ne correspond qu'à environ  $120\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  et les drains sont principalement alimentés par la vidange des bassins rizicoles ( $2\,800\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) et par les pertes dans le système hydraulique ;

- 10 % sont perdus par infiltration dans les canaux, essentiellement pendant la contre-saison : en effet, la mise en eau du réseau hydraulique conduit à des consommations en eau de  $5\,850\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , très supérieures aux besoins en eau des cultures alors que la superficie cultivée ne représente qu'à peine 20 % des surfaces aménagées sur le distributeur Retail ; cette surconsommation s'explique par d'importantes pertes par infiltration dans les canaux, estimées à  $1,5\text{ mm j}^{-1}$ , qui viennent alimenter la nappe et un flux ascendant de remontées capillaires ; pendant la saison rizicole, les pertes sont limitées en raison d'une position élevée de la nappe.

En bilan global, les apports d'eau d'irrigation pour la saison rizicole s'élèvent à  $14\,700\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  à l'échelle du distributeur Retail et à  $13\,500\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  en moyenne sur les arroseurs étudiés ; l'objectif de  $15\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  fixé par l'Office du Niger à l'échelle de l'arroseur apparaît d'ores et déjà atteint, voire dépassé. A l'exclusion des pertes considérables dans le réseau primaire, les surconsommations en eau alimentant le système de drainage

interviennent principalement au niveau du réseau tertiaire (fig. 3). D'une part, les vidanges des bassins d'irrigation – volontaires ou accidentelles – contribuent efficacement à la désalinisation des sols cultivés. Ces vidanges correspondent à environ 45 % des eaux et à 73 % des sels évacués par le système de drainage, valeurs qui doivent être respectivement comparées aux 2 % des eaux et 9 % des sels issus du drainage souterrain.

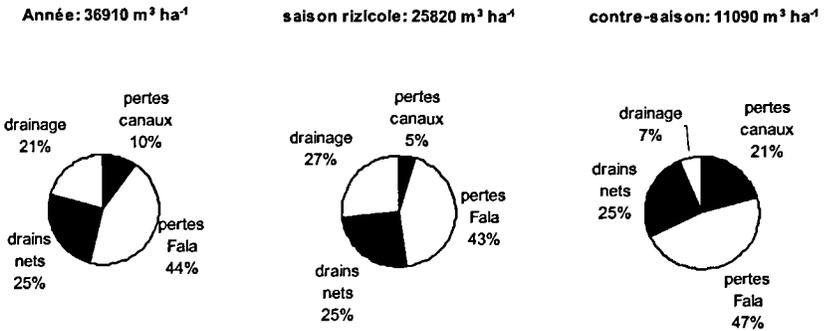


Figure 2  
Estimation des bilans de l'eau des périmètres desservis par le canal du Sahel (années 1996 à 1998).

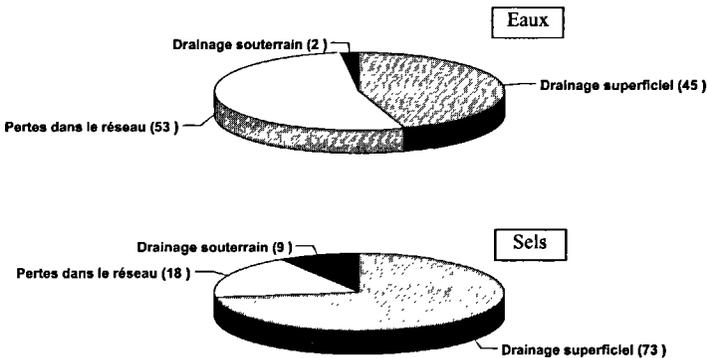


Figure 3  
Origine des eaux et des sels dans les eaux de drainage de l'Office du Niger (pourcentage des quantités d'eau ou de sels drainés pendant la saison rizicole).

D'autre part, des pertes dans le réseau hydraulique sont liées au passage direct de l'arroseur au drain d'arroseur par la rigole d'arroseur ou par débordement des déversoirs de sécurité. Ces volumes d'eau correspondent à 53 % des volumes drainés et représentent la principale opportunité d'accroissement des performances hydrauliques des aménagements.

En conséquence, le bilan des sels apparaît négatif pendant la saison rizicole en raison d'importantes sorties d'eau et de sels issues des vidanges des bassins d'irrigation. Pendant la contre-saison, les volumes drainés restent faibles et le bilan des sels apparaît positif (fig. 4). Les eaux d'irrigation alimentent non seulement les cultures mais aussi les nappes en raison du maintien en eau de la plus grande partie des infrastructures hydrauliques, notamment sur les formations les plus perméables. A l'échelle de l'année, le bilan des sels est proche de l'équilibre dans la situation actuelle de gestion des systèmes hydrauliques.

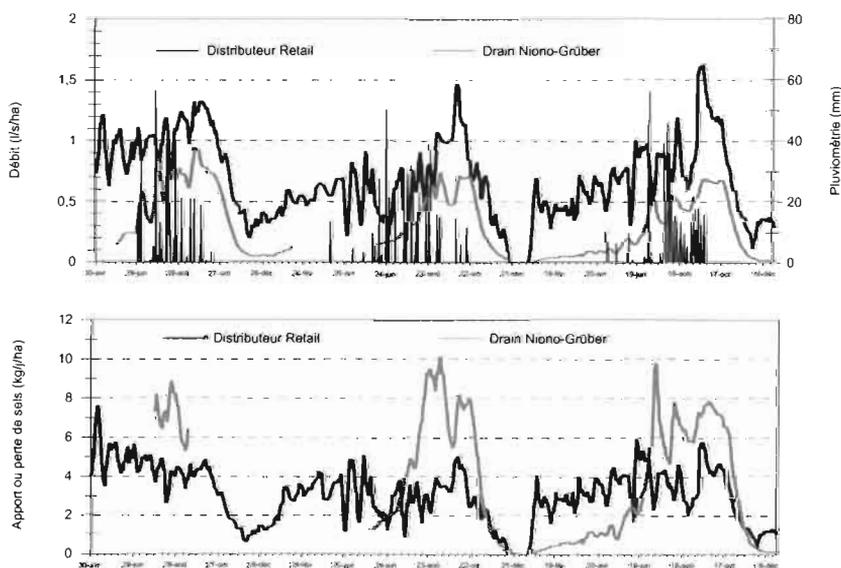


Figure 4  
Bilan en eau et en sels à l'échelle du casier Retail  
(débit d'eau ou quantité journalière de sels entrants  
dans le distributeur Retail et sortant au niveau du pk 9.8  
du drain principal Niono-Grüber).

## Evolution des sols et des eaux, productivité des systèmes irrigués

La complexité des sols de l'Office du Niger est héritée d'une part, des modalités de mise en place des matériaux dans un environnement deltaïque, et d'autre part, des modalités de gestion des systèmes de culture irriguée. L'environnement deltaïque a structuré le milieu sous la forme de vastes cuvettes argileuses séparées par des bourrelets sableux. Ces cuvettes ont pu ensuite être recouvertes de façon variable par des matériaux plus grossiers pour former de petites levées alluviales ou des zones d'épandage lors de la rupture périodique des berges ainsi formées. Sur cette structure de base, l'irrigation a orienté l'évolution des sols sous l'influence de l'intensité du drainage, de la qualité des eaux et du fonctionnement hydrologique.

Les eaux d'irrigation sont caractérisées par une alcalinité résiduelle positive et les sols évoluent dans un contexte d'alcalinisation (augmentation du pH) et de sodisation (dégradation des propriétés physiques) lorsqu'elles se concentrent (fig. 5).

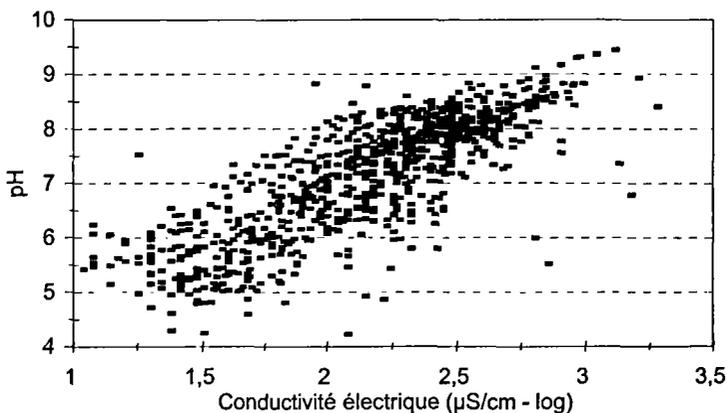


Figure 5  
Evolution des sols par alcalinisation  
(pH et conductivité électrique mesurés sur extraits 1 :2,5).

Les sols ne sont généralement pas salés. Au sein du Kala inférieur, les sols de la zone de Niono apparaissent les plus touchés et 30 % des superficies atteignent des valeurs critiques en terme d'alcalinité et de sodicité. Les périmètres du Kouroumari et plus encore du Macina semblent davantage épargnés par ces phénomènes d'alcalinisation des sols. Localement, certains sols montrent un faciès géochimique tendant vers la neutralité, différent des résultats attendus d'une concentration progressive des eaux d'irrigation. Ces différences pourraient être liées aux variations de faciès géochimique des eaux de nappe, elles-mêmes sous la dépendance d'une source de sels fossiles issus de l'aquifère sédimentaire. Ces eaux parfois salées sont vraisemblablement à l'origine des premières efflorescences de salants blancs qui ont pu alarmer de façon excessive les observateurs.

Les résultats obtenus permettent de formuler les hypothèses suivantes quant à l'évolution des sols des périmètres du Kala inférieur sous irrigation (Marlet et N'Diaye, 1998). Dans la période précédant la réhabilitation des périmètres, la gestion de l'irrigation et du drainage était déficiente. L'alcalinité et la sodicité des sols argileux moins perméables a augmenté. Les sols sableux ont été globalement épargnés par le phénomène. Les sols de la zone du Macina située dans le delta vif du fleuve Niger se distinguent nettement des sols du delta mort par un pH proche de la neutralité et une sodicité très modérée (tableau 1).

Tableau 1

Evolution moyenne des sols par alcalinisation et sodisation entre 1951 et 1980, d'après Dabin (1951) et Toujan (1980).

	pH		Sodium échangeable meq/100 g (ESP - %)	
	1951	1980	1951	1980
delta vif	4,95	6,07	0,21	0,30 (1,32)
delta mort : levées sableuses	5,99	7,02	0,28	0,36 (2,60)
delta mort : cuvettes argileuses	6,79	8,08	0,40	2,03 (7,48)

Ensuite, durant la période suivant la réhabilitation des aménagements hydrauliques, la maîtrise de l'irrigation et du drainage s'est sensiblement améliorée et les cultures se sont développées pendant la contre-saison. Les canaux d'irrigation restent désormais en eau sur la majeure 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 (fig. 6). Aujourd'hui, 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 avec la modification des modalités de gestion des périmètres. A l'inverse, la sodicité des sols sableux est souvent plus élevée en raison d'un moindre pouvoir tampon de ces sols. Elle favorise la dégradation des propriétés physiques des sols à partir d'une valeur seuil de l'ESP de 5 à 7 %.

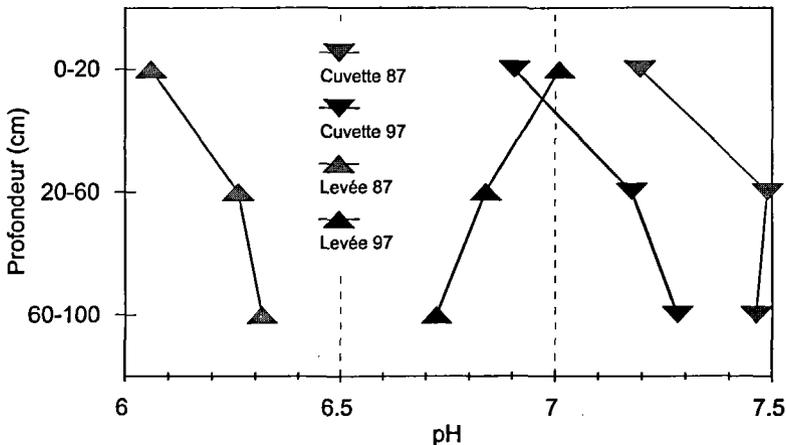


Figure 6  
Evolution de l'alcalinité des sols  
de la zone de Niono après réhabilitation.

La topographie joue aussi 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, incluses dans les aménagements ou hors casiers ; ou de points hauts relatifs à l'échelle de la rigole d'arroseur ou du bassin d'irrigation, souvent exondés, où viennent se redistribuer les sels apportés par les eaux d'irrigation.

Malgré les propriétés physico-chimiques défavorables des sols, leur impact sur les performances de la riziculture irriguée apparaît marginal ; environ 5 % des terres sont affectés par des symptômes de dégradation : tache d'infertilité, efflorescences. Les pratiques culturales apparaissent susceptibles de minimiser fortement l'impact des phénomènes d'alcalinisation des sols. Nous avons néanmoins observé localement un effet dépressif du pH sur la production rizicole pour des valeurs mesurées *in situ* supérieures à 7,5. Les parcelles maraîchères apparaissent plus sensibles à la dégradation et 20 % des terres seraient affectées. Les techniques de culture et d'irrigation apparaissent moins aptes à prévenir ou à contourner le problème posé par l'alcalinité des sols. En effet, la faiblesse du lessivage et la position élevée de la nappe phréatique alimentée en continu par les rigoles d'irrigation peuvent conduire à une concentration superficielle des sels préjudiciable aux cultures.

La structure spatiale de la salinité caractérisée par une concentration des sels dans la partie centrale des planches de culture et un fort gradient ascendant de salinité soulignent ces mécanismes. A ce stade, la dégradation des propriétés physico-chimiques des sols ne semble pas en mesure d'affecter de façon significative la production rizicole ; elle pourrait néanmoins contrarier le développement des cultures de diversification plus sensibles à ces contraintes.

Cependant, la dégradation rapide des sols de levée sableuse est préoccupante. Une attention particulière devra être portée au suivi et à la prévention de ce processus. C'est aussi vraisemblablement le cas des sols cultivés hors casiers qui cumulent un certain nombre de contraintes liées à l'absence ou l'insuffisance de drainage, de planage ou de maîtrise de l'eau, sans parler des périmètres installés au fil des canaux... de drainage.

## Conclusion

La gestion de l'irrigation et du drainage est fondamentale car elle conditionne le fonctionnement hydrologique des sols influençant directement la concentration des sels. Les évolutions les plus préoccupantes relevées sur les sols sableux, les points hauts ou les secteurs maraîchers en sont la conséquence directe. Des méthodes de prévention ou de réhabilitation efficaces pourront être identifiées par 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).

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

- à 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 ;
- et enfin, à la réutilisation des eaux de drainage.

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

## Bibliographie

Bonneval P., Kuper M.,  
Tonneau J.-P., 2002 –  
*L'Office du Niger, grenier à riz  
du Mali. Succès économiques,  
transitions culturelles et politiques  
de développement.*  
Paris, Cirad-Karthala, 251 p.

Hassane A., Kuper M., 1999 –  
*Impact de la disponibilité en eau  
du fleuve Niger sur la gestion de l'eau  
dans le périmètre irrigué de l'Office  
du Niger au Mali : le cas  
de l'étiage 1999.* Insah-IRD,  
Etudes et rapports Gihrex, ER43,  
IRD, Bamako, Mali, 65 p.

Marlet S., N'Diaye M. K., 1998 –  
*Evolution temporelle et variabilité  
spatiale des indicateurs  
de la dégradation des sols par  
alcalinisation et sodisation à l'Office  
du Niger.* IER/PSI Mali, Etudes et  
travaux n° 6, 52 p.

MDRE, 1999 –  
*Etude environnementale de la zone  
de l'Office du Niger.* Bamako (Mali).  
Ministère du développement rural et  
de l'eau, rapport de synthèse, 63 p.

N'Diaye M. K., 1987 –  
*Evaluation de la fertilité des sols  
à l'Office du Niger (Mali). Contribution  
à la recherche des causes  
et des origines de la dégradation  
des sols dans le Kouroumari.*  
Thèse doct., Inst. national  
polytechnique de Toulouse, 134 p.

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).* IER/PSI Mali,  
Etudes et travaux n° 8, 30 p.