8 Genèse et évolution de la salinité des terres dans le delta du fleuve Sénégal

Ramatoulaye NDIAYE, Tegaye DIOP

Introduction

L'impact des changements climatiques sur l'environnement a été reconnu comme étant l'une des plus grandes menaces de l'existence future de l'humanité. L'Afrique de l'Ouest fait partie des zones les plus vulnérables à la variabilité du climat. L'analyse de l'impact de la variabilité du climat a démontré que les écosystèmes naturels et agro-économiques sont les secteurs les plus vulnérables. Des changements significatifs ont été observés depuis les années 1970 où une sécheresse sévère s'était abattue sur la zone sahélienne. Ces variations climatiques couplées aux actions anthropiques ont entraîné une évolution considérable de la salinité dans la zone du delta du fleuve Sénégal (DFS).

Pour la zone du DFS, plusieurs études ont mentionné que les sols sont affectés par deux types de salinités : une salinité primaire ou salinité naturelle (NaCl) liée au climat et qui s'est mise en place lors des phases d'alternance de transgression-régression de la mer, durant le Quaternaire ; et une salinité secondaire ou sodification des sols causée par les activités anthropiques.

La dégradation des sols due aux phénomènes de salinité avec une évolution vers la sodicité, est une des contraintes environnementales majeures dans le DFS avec des impacts négatifs sur la productivité agricole et le développement durable de ce secteur. L'extension des sols salins- sodiques à sodiques augmente de plus en plus dans les zones irriguées du delta. L'utilisation de ces types de sols pour l'agriculture augmente au fil du temps car ils représentent une ressource non négligeable surtout dans cette zone où des investissements importants ont été consentis en matière d'infrastructures hydro-agricoles pour permettre l'irrigation des terres en toutes saisons. Il est donc impératif que des solutions soient trouvées pour pérenniser leur productivité optimale.

La zone du delta du fleuve Sénégal

Le DFS occupe la partie ouest du bassin du fleuve Sénégal. Il est situé au nord-ouest du Sénégal dans la région de Saint-Louis, entre les latitudes 15°22'N et 16°08'N et les longitudes 140° et 170° O (Fig.1). La topographie de la zone est plane (élévation maximale de 1,4 m) avec une superficie estimée à 3 240 km^2.

Gestion de la salinité

Plusieurs techniques de gestion ont été mises en œuvre pour remédier à ce problème afin d'augmenter les rendements des cultures dans la région. La construction du barrage de Diama a permis d'arrêter la propagation en amont des eaux océaniques salines pour protéger les eaux d'irrigation. Un objectif majeur de ce programme d'aménagement du bassin du fleuve Sénégal, qui comprend aussi un grand barrage réservoir dans le haut bassin, le barrage de Manantali sur le Bafing, était d'aménager 300 000 à 400 000 ha de terres irriguées, pouvant porter deux récoltes par an ; aujourd'hui seulement un peu moins de 100 000 hectares de terres sont cultivés. Plusieurs zones irriguées ont été abandonnées au cours des années à cause de la salinisation. En 2012 une analyse faite dans les périmètres autogérés du delta montre que sur 6 248,68 ha aménagés pour les sept Unions membres de la Fédération des Périmètres Autogérés, 5 413,24 ha

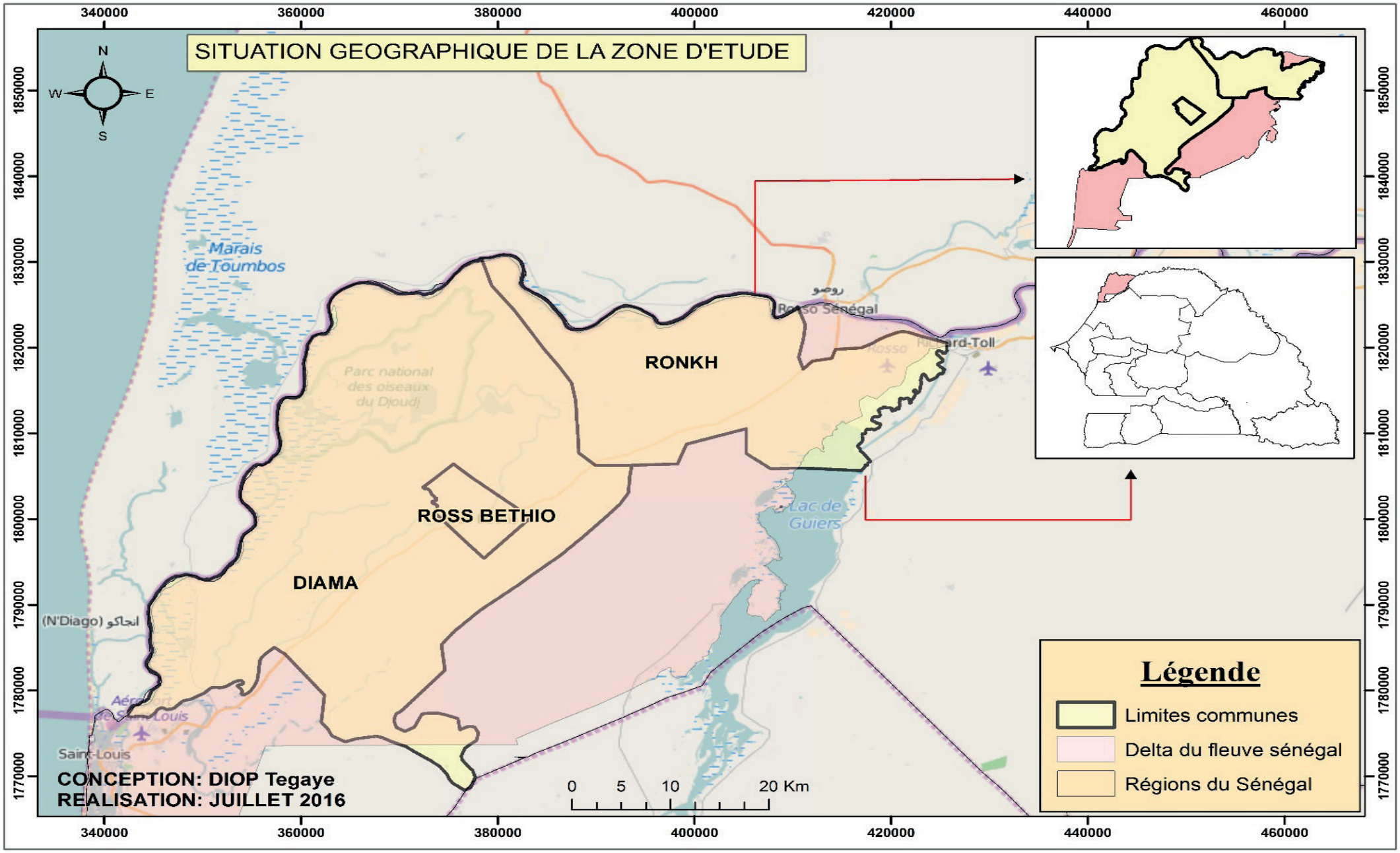


Figure 1: carte de la zone du delta du fleuve Sénégal

sont exploités. Ainsi, l'abandon des superficies exploitées s'élève à 13,37% du potentiel aménagé, soit 835,99 ha. Dans des conditions moyennes de la vallée, cette perte d'emblavure correspondrait à une offre additionnelle de 10 030 t de riz paddy pour une année. L'abandon des superficies exploitées s'explique principalement par les problèmes d'aménagement (39%) et de salinité (24%).

Une mauvaise gestion de l'irrigation crée fréquemment des problèmes de salinité, en particulier dans le Sahel semi-aride où l'utilisation d'une grande quantité d'eau d'irrigation est couplée à un mauvais drainage et des taux d'évaporation élevés (Stöckle, 2001). Plusieurs études ont rapporté que l'irrigation sans drainage adéquat peut augmenter le taux de sodium de la solution de sol résultante à une concentration de sodium dans le sol absorbé. Ce processus est à l'origine de la formation des sols sodiques. L'expansion des sols sodiques est liée à la gestion de l'eau et donc à l'action humaine. Une étude sur l'évolution de la salinité (Ndiaye, 2009) de la zone du delta a permis d'identifier la présence de sols salins sodiques à sodiques dans la zone du delta. La salinisation est un phénomène dynamique qui doit être surveillé régulièrement dans l'espace et le temps afin de détecter l'évolution qualitative et spatio-temporelle des Sols affectés par la Salinité (SAS) et aussi de mieux comprendre les relations entre les facteurs édaphiques et les pratiques de gestion des terres. Les Système d'information géographique (SIG) et les informations provenant de données satellitaires ont permis de déterminer l'étendue spatiale des différents types de SAS dans le delta du fleuve Sénégal.

Méthodologie

Les outils SIG permettent la détection des changements dans la distribution spatiale de la salinité lorsqu'ils sont combinés avec des procédés classiques de sondage et de la cartographie du sol.

Les sols ont été échantillonnés pendant la période décembre 2008 à janvier 2009 dans 20 endroits de la zone d'étude. Le choix des sites d'échantillonnage spécifiques a été basé sur l'observation in situ de la couverture végétale et de l'aspect des sols. La relation entre le sol et la végétation fournit des informations indirectes sur les caractéristiques chimiques du sol dans cet écosystème local (*Tamarix sp* est un indicateur de sel et *Typha australis* est un indicateur d'hydromorphie). La topographie locale a aussi orienté notre choix parce que les types de sols sont en corrélation avec la géomorphologie régionale. Sur les sols salés (NaCl) on observe des cristaux de sel blanchâtre en surface (photo1), les sols sodiques (photo 2 et 3) sont poudreux, déstructurés et présentent parfois un aspect huileux avec une coloration noirâtre. Cette approche permet l'identification en surface et la differenciation entre les types de sols touchés par la salinité. Sur le terrain, plusieurs points ont été sélectionnés et les coordonnées ont été obtenues avec un récepteur GPS et enregistrées avec une erreur de précision de ± 10 m. Selon cette méthode, des échantillons de sol recueillis dans la zone d'étude sont analysés au laboratoire. Le pH, la conductivité électrique, le Na+, la capacité d'échange cationique (CEC) sont les caractéristiques chimiques déterminées. Des données recueillies en novembre 2008 dans le Krankai et analysées par la SAED, ont été mises à notre disposition pour augmenter le nombre de sites disponibles. Une image Landsat de l'année 2001 a été utilisée pour la détection et la cartographie de l'extension spatiale des types de sols et les logiciels ERDAS, ArcGIS 9.3.1, ont été utilisés pour la visualisation, le traitement et la cartographie des données spatiales. Pour atteindre les objectifs de cette étude, il était nécessaire de choisir une technique de détection des changements appropriés afin de produire des résultats de qualité. À cet effet, la classification supervisée, les techniques d'analyse et de détection des changements et des statistiques zonales ont été réalisées.

Classification supervisée

La classification supervisée développe des règles pour attribuer des mesures de réflectance à chaque classe, en utilisant les paramètres sélectionnés. Dans cette étude, sept classes ont été définies : eau douce, eau saumâtre (qui comprenait également l'eau riche en sédiments), les eaux des axes hydrauliques (y compris les zones humides), les sols non salés, les sols salés, les sols salés-sodiques et les sols sodiques.

Eau douce, eau saumâtre et eau d'irrigation/zones humides ont été classées en sélectionnant sur l'image de larges zones homogènes. Les classes des sols salés, non salés, salés-sodiques et sodiques ont été déterminées sur la base des résultats d'analyses chimiques des sols recueillis lors des études de terrain (Tableau 1).

Photo 1- sol salé © Ramatoulaye Ndiaye

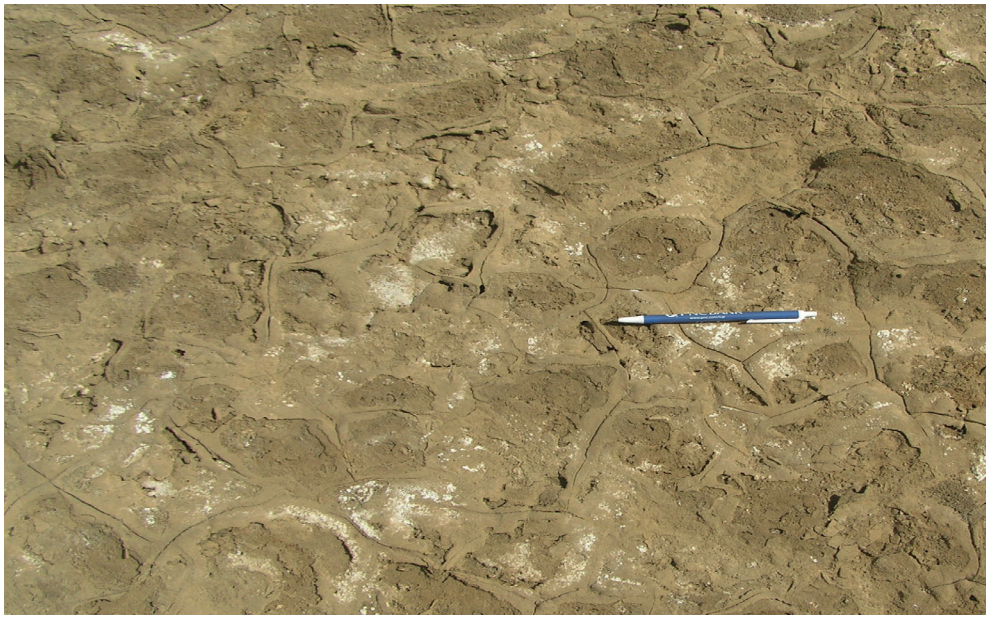


Photo 2- sol sodique © Ramatoulaye Ndiaye

Photo 3- sol sodique© Ramatoulaye Ndiaye

Classes de sols	EC (µS/m)	ESP (%)
Salés	>4000	<15
Sodiques	<4000	>15
Salés-sodiques	>4000	>15

Tableau.1 : Classification des sols affectés par la salinité (SAS)

Le pourcentage de sodium échangeable (ESP) fournit des informations sur le pourcentage des sites d'échanges occupés par les ions sodium. La limite de saturation acceptable pour le sodium est de 15%. La teneur en sodium supérieur à 15% entraine une dispersion des particules du sol, une mauvaise infiltration de l'eau, et la toxicité au Na^+ pour les plantes.

$$ESP = \frac{\text{Sodium Échangeable (meq/100g soil) X 100}}{\text{CEC du sol (meq/100g soil)}}$$

Résultats et discussion

Cette étude évalue l'importance de la classification supervisée pour cerner les caractéristiques de la couverture terrestre et le SIG a été utilisé pour traiter et cartographier les images et une statistique zonale a été effectuée sur les zones classées. Sept classes ont été définies à partir des données de terrain collectées en janvier 2009, combinées avec les données recueillies à partir du site Krankai, et avec des zones correspondant aux zones humides (généralement occupées par les espèces envahissantes). L'évaluation de l'exactitude des résultats de la classification a permis la sélection d'un meilleur processus qui minimise l'erreur de classification : Overall classification accuracy = 91%, Overall Kappa statistic = 0.88).

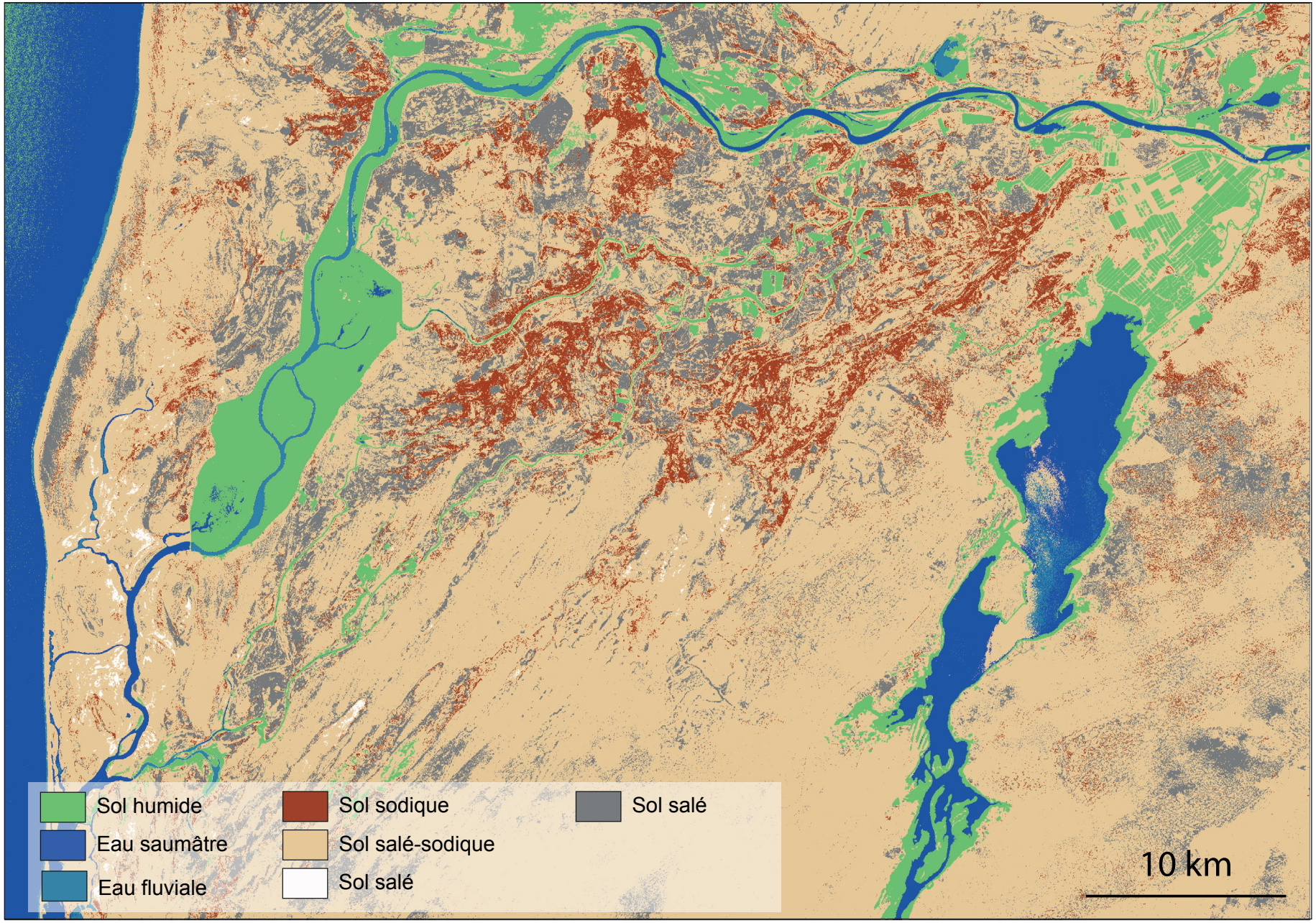
La distribution spatiale des différents types de sols affectés par la salinité (SAS)

En 2001, la plupart des zones sont occupées par la classe de sols salins-sodiques. Ces sols représentent 63% de la surface. La seconde classe la plus étendue correspond aux sols non salés (12%). La classe des sols non salés est surtout observée dans la zone occupée par des aménagements hydro-agricoles. Tandis que la plupart des sols sodiques sont répartis tout autour des aménagements rizicoles et gagnent petit à petit les terres agricoles. Les sols salés sont plus concentrés en aval du barrage dans la zone côtière où de petites tâches blanchâtres sont observées. Cette classe a un pourcentage insignifiant, mais occupe une étendue de 1 825,5 ha dans la zone. (voir planche cartographique).

Discussion

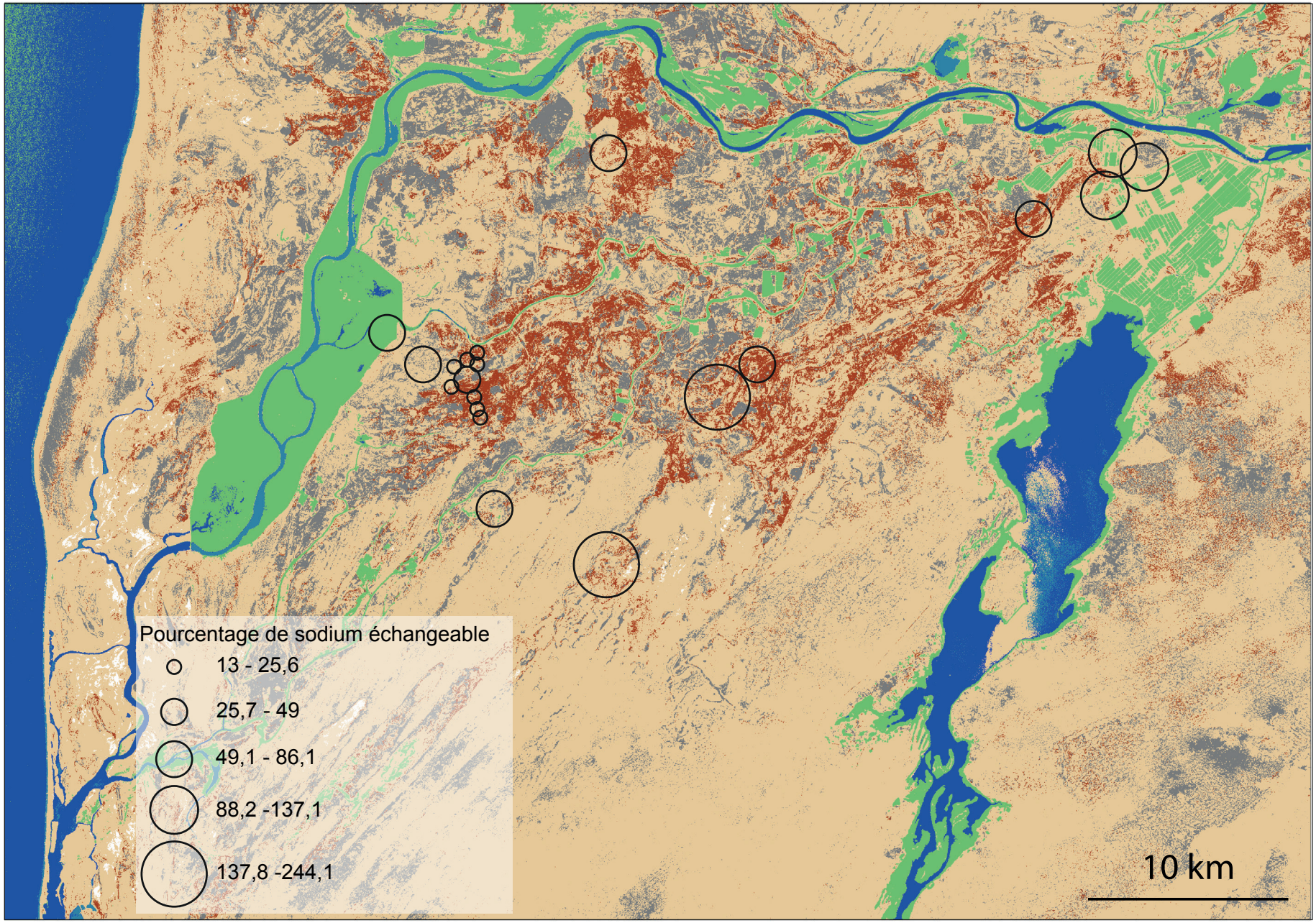
Si nous nous basons sur les résultats obtenus avec la classification supervisée, nous notons une forte relation entre la répartition spatiale des sols sodiques et salés sodiques et l'utilisation des terres dans le DFS. Selon Bui *et al*. (1998) les sols sodiques peuvent se produire sur une large gamme de climats, mais les zones avec un fort contraste de saison ont plus de chances pour la formation de sols sodiques. Parmi les conditions environnementales qui favorisent la genèse des sols sodiques, on trouve la présence d'eaux peu profondes, des sols salés et l'apparition d'une nappe perchée à 1 m de la surface (Bui *et al*., 1998). Toutes ces conditions sont observées dans le DFS et la montée des eaux souterraines a été exacerbée par la mobilisation de millions de mètres cubes d'eau dans le réservoir du barrage de Diama pour l'irrigation des terres. La percolation de cette eau dans la nappe aquifère, couplée avec le processus d'irrigation, se combinent pour favoriser la remontée de l'eau souterraine à la surface. Il a été signalé également que les sols sodiques se trouvent principalement dans la dépression argileuse et qu'un sol à forte teneur en argile dispersible est naturellement plus enclin à la sodification que ces sols ayant une teneur en argile plus faible (Moreau, 1996). La géomorphologie de la région d'étude a un paysage de dunes alternant avec des dépressions. Les dépressions sont occupées principalement par trois types d'unités de sol qui sont des sols vertic lourd : "hollalde" et "faux hollalde" (typic Xerofluvents) avec des teneurs en argile >50% et les "fondé" (typic

Classification des sols affectés par la salinité



Source : Échantillonnages de décembre 2008 à janvier 2009

Variation du pourcentage de sodium échangeable sur les sites échantillonnés en 2009



Source : Échantillonnages de décembre 2008 à janvier 2009

Xeropsamments) plus léger avec des teneurs en argile compris entre 30-50% (Ceuppens *et al.*).
Dans les zones irriguées, la salinité est présente depuis longtemps. Le riz, avec une certaine tolérance au sel, est principalement cultivé dans ces domaines. En outre, la gestion combine des méthodes de lixiviation et de drainage pour éliminer le sel de la zone racinaire du riz. Une quantité considérable d'eau est nécessaire pour satisfaire les exigences de la lixiviation. Généralement, les sols sodiques sont caractérisés par une couche imperméable à l'horizon B, ce qui facilite la capacité d'écoulement de l'eau pour laver l'horizon de surface. Ces sols sont vulnérables à l'érosion hydrique et, selon Moreau (1996), l'irrigation n'est pas recommandée dans les sols salins-sodiques où le sel soluble peut être remplacé par du sodium échangeable.

Conclusion

De nouvelles techniques qui peuvent quantifier les changements physiques et chimiques dans l'environnement sont nécessaires pour aider aux efforts de préservation de l'environnement. Télédétection et SIG ont été utilisés dans cette perspective en vue de contribuer à évaluer et à documenter les changements de la couverture terrestre dans le DFS en mettant l'accent sur les SAS. La classification supervisée conjointement avec des caractéristiques chimiques de la surface du sol tels que le pourcentage d'échange de sodium (ESP), la capacité d'échange cationique (CEC) et la conductivité électrique (CE), a permis de cartographier la distribution spatio-temporelle des différents types de SAS dans le DFS en utilisant des données Landsat. Les résultats indiquent que les sols salins-sodiques ont la plus grande étendue de la région mais ce type de sol est également remplacé au fil du temps par des sols sodiques. La répartition spatiale des sols sodiques est fortement liée à l'utilisation des terres, en raison de son expansion dans tous les domaines et autour des zones irriguées situées en amont du barrage de Diama. La gestion de l'eau dans le delta contribue à la salinisation secondaire qui remplace progressivement la salinisation naturelle. En comparaison avec l'évaluation quantitative traditionnelle de la gestion des terres, l'analyse du sol en utilisant des techniques de différenciation d'image est une alternative abordable pour détecter rapidement et faire une estimation de la variabilité des SAS. Les programmes de gestion des ressources naturelles, de planification et de surveillance dépendent des informations précises sur l'occupation des sols, de la végétation et des eaux de surface dans une région. La différentiation des SAS est une première étape vers la restauration des sols. Les stratégies de gestion pour l'amélioration des sols sont différentes pour chacun de ces types de sols salés et différentes techniques ont donc été développées pour récupérer ces SAS.

Références

Bui E.N., Krogh L., Lavado R.S., Nachtergaele F.O., Toth T., Fitzpatrick R.W., 1998. Distribution of sodic soils: the world scene. In *Sodic soils: distribution, properties, management and environmental consequences*, ed. M.E. Sumner and R. Naidu, 19-33. New York: Oxford University Press.

Ceuppens J., Wopereis M.C.S., 1999. Impact of non-drained irrigated rice cropping on soil salinization in Senegal River delta. *Geoderma* 97:125-140.

Moreau S.S., 1996. *Application of remote sensing and GIS to the mapping of saline/sodic soils and evaluation of sodification risks in the province of villarroel, central altiplano, Bolivia.* Paper presented at: 4th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, August 19-29, 1996.

Ndiaye R., 2009. Geographic Information Sciences (GIS): Contribution to Understanding Salt and Sodium Affected soils in the Senegal River Valley. Proquest/UMI.

Stockle C. O., 2001. *Environmental impact of irrigation: a review.* Washington; Washington State University: Pullman. Stockle, C. O. 2001. *Environmental impact of irrigation: a review.* Washington; Washington State University: Pullman.