

Colloque GEOFCAN (21-22 septembre 1999, BRGM, Orléans, France)
Thème I
Reconnaissance structurale des milieux peu anthropisés
Terres agricoles, sous-sols naturels...

Cartographie de la salinité dans la vallée du Sénégal. Succès d'une démarche ascendante

Laurent BARBIÉRO¹, Caroline LAPERROUSAZ²

¹ IRD (ex-ORSTOM), BP 1386, Dakar, Sénégal.

² ENSA, 65 rue de St Briec, 35000 Rennes, France.

ABSTRACT

In the Senegal middle valley, the salt distribution is not related to the present faint topography. This lack of logic is one of the major constraints for establishment of new irrigated areas. The salt distribution is here studied to better understand its variability, and to describe its structure and spatial arrangement. Saline areas are delineated measuring the electromagnetic soil conductivity (EM). The kriged map is compared to the aerial photograph. The salinity is distributed as stripes in the SW-NE direction, fringing a former creek on the southern bank. The stripe is intersected by an actual creek bed, indicating that the salt distribution is ancient and does not result from a recent remobilization of the marine salt incorporated in the soil. The relationship between salt distribution and the former geomorphology allows us to survey the whole N'Galenka region using the EM measurements on selected transects.

Key words: Salinity, Electromagnetic induction, Irrigation schemes, Senegal.

INTRODUCTION

La vallée du fleuve Sénégal est le siège de nombreux aménagements hydroagricoles depuis la construction de deux barrages, le barrage réservoir de Manantali au Mali, et le barrage anti sel de Diama dans le delta. Cependant, dans la région de Podor, les paysans désertent les périmètres après quelques années de culture, là où des efflorescences salines apparaissent localement en abondance. L'aménagement de ces périmètres se caractérise principalement par une absence d'étude d'impact à l'origine, ou de suivi de l'environnement (Boivin *et al.*, 1995). Aussi, les efflorescences de sel proviennent-elles d'une salinisation secondaire, liée à une mauvaise gestion de l'irrigation sur des sols peu perméables ou correspondent-elles à une simple expression d'un sol initialement salé ? La connaissance au préalable de la répartition de la salinité est une condition nécessaire au maintien d'une agriculture irriguée durable dans cet environnement.

Un obstacle s'est dressé lors des premières prospections. La répartition du sel n'est corrélée ni à la répartition des sols, ni aux unités géomorphologiques actuelles

ni à la topographie. Cette particularité du site est le principal obstacle au choix de nouvelles zones à aménager. Le but de cette étude est de comprendre la logique de répartition de la salinité dans cet environnement, pour en faciliter la cartographie à l'échelle régionale.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Site

La vallée du fleuve Sénégal a subi une invasion marine récente (5 000 ans B.P.) jusqu'à la hauteur de Boghé. Les sels se sont déposés dans les sédiments au cours de cette transgression (Michel, 1973). Une mangrove s'est installée dans le domaine fluvio-marin, et a suivi le retrait des eaux. Aujourd'hui, des traces d'acidité et de salinité sont observées jusqu'à 300 km de l'embouchure. L'étude a été réalisée le long du marigot N'Galenka 16°26 à 16°30 nord et 14°50 à 15°05 ouest, un ancien défluent du Doué et affluent du Sénégal. Les 48 périmètres hydroagricoles en cours d'aménagement dans ce secteur couvrent une surface totale de 1 200 ha.

Fonds Documentaire IRD



010024108

Fonds Documentaire IRD
Cote : B*24108 Ex: 1

Matériel

Les mesures de conductivité électromagnétique ont été réalisées avec un conductimètre portable EM38 (Geonics, Ltd). La calibration entre la réponse du conductimètre et la quantité de sel, la texture, la teneur en eau et le faciès chimique fait l'objet d'une étude parallèle (Laperrousaz et Barbiéro, 1999)

Démarche

La démarche adoptée est une démarche ascendante. Une zone saline (70 ha, fig. 1) a été délimitée et géoréférencée avec précision. La morphologie des zones salées a été relevée en détail par des mesures EM suivant une grille régulière de 25 m. Perpendiculairement aux contours de la zone saline, quelques transects en mode vertical et horizontal sont réalisés avec des mesures rapprochées à 2 m. Une carte détaillée de la répartition du sel sur la zone est confectionnée après optimisation du krigeage (GEOSTAT PC, Boivin, 1989). Elle est comparée aux structures géomorphologiques identifiables sur les photographies aériennes (Geotronics, 1980). 11 transects de mesure de conductivité électromagnétique sont ensuite réalisés sur l'ensemble du secteur N'Galenka (20 km). Ces transects sont disposés à l'aide de la photographie aérienne de manière à recouper les structures soupçonnées être salées.

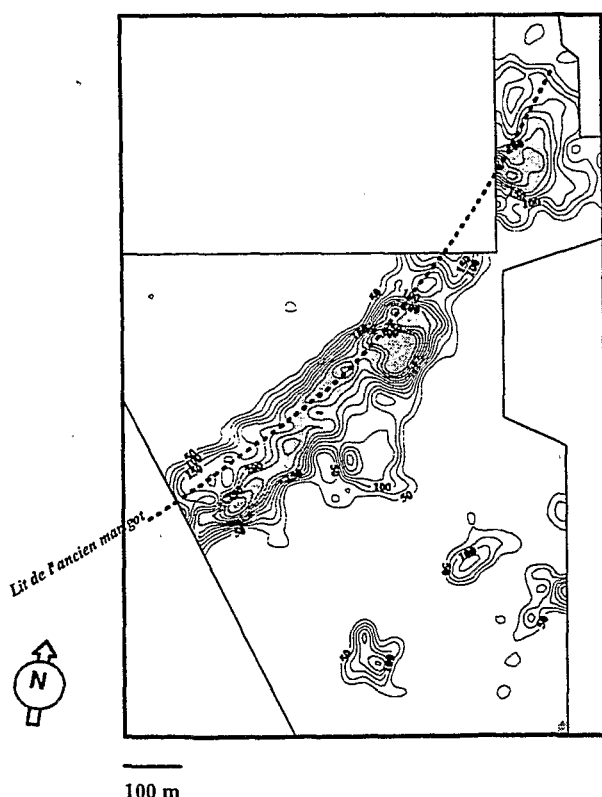


Fig. 1 - Répartition de la salinité sur la zone prospectée.

RÉSULTATS

La spatialisation des données confirme une forte hétérogénéité en terme de salinité sur la zone. La partie salée se présente sous la forme d'une bande de direction NE-SW d'une largeur d'environ 100 m et d'une longueur dépassant la zone prospectée.

Dans le détail, cette bande est en réalité composée de deux bandes parallèles espacées d'une trentaine de mètres, où la salinité est plus forte. La bande située au sud est d'une salinité plus forte que la bande située au nord. Le contour nord de la zone salée est abrupt, alors que le contour sud est plus diffus. De surcroît, on peut déceler que la bande nord est topographiquement en légère dépression (-5 à -10 cm) alors que la bande sud est positionnée sur une légère hauteur (environ +10 cm). Une nette asymétrie est donc relevée dans la répartition de la salinité au sein même de la zone salée. Toutes ces caractéristiques, identifiées sur cette zone, ont été observées sur d'autres sites et paraissent représentatives de la morphologie de nombreuses zones salées dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal (Gascuel-Odoux et Boivin, 1994; Laval, 1996; Barbiéro *et al.*, 1998). Elles devront être prises en considération dans tout modèle visant à expliquer l'origine de la répartition de la salinité dans la vallée.

Le cours actuel du N'Galenka recoupe la zone salée. La répartition du sel trouve donc son origine dans des processus anciens et ne correspond pas à une mobilisation récente ou actuelle des sels marins déposés dans les sédiments. Parmi les deux bandes parallèles composant la zone salée, la bande nord correspond au lit d'un ancien marigot, alors que la bande sud est située sur sa rive sud.

De manière globale, une forme peut être décelée sur la photographie aérienne en relation avec la salinité de la zone, alors que les indices sont très peu visibles sur le terrain. La répartition de la salinité semble liée à une géomorphologie ancienne et non à la géomorphologie actuelle. Les images aériennes peuvent servir de support pour une cartographie de l'ensemble du secteur qui sera prochainement aménagée.

Les transects qui ont servi de base à la carte de répartition de la salinité sont présentés sur la figure 2. La zone salée identifiée sur la prospection détaillée du secteur 6 est continue au nord de l'actuel N'Galenka sur les secteurs 5 et 4. Elle est recoupée par les dépôts récents du marigot entre les secteurs 3 et 4, tout comme on l'observe sur la grande boucle du secteur 6; ces dépôts récents ne sont pas salés. De l'autre côté du méandre, la zone salée se prolonge vers l'aval jusque dans le secteur 2. A ce niveau, l'ensemble est recoupé par d'autres dépôts venant du nord, au sein desquels on décèle également des zones salées très allongées.

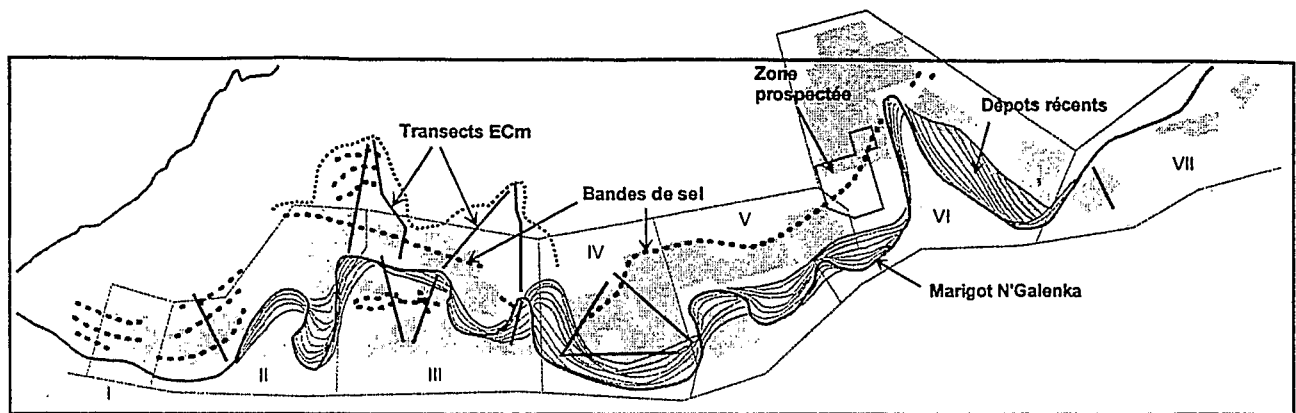


Fig. 2 - Schéma d'aménagement du secteur N'Galenka, localisation de la zone prospectée en détail, des transects Ecm et des bandes de sels.

CONCLUSION

L'agriculture traditionnelle de la vallée du fleuve Sénégal a été réorientée vers une agriculture irriguée dans les anciennes plaines d'inondation. De nombreux périmètres sont en cours d'aménagement mais la présence très localisée des sels est un obstacle majeur à l'implantation d'une agriculture irriguée durable. La répartition de ce sel semble complexe et n'est pas décelable d'emblée, sur le terrain. Notre étude de répartition de la salinité par une prospection électromagnétique permet de définir les caractéristiques géométriques de la salinité et l'arrangement spatiale de son intensité sur une zone test d'environ 70 ha. Un maillage suffisamment serré et une forte densité de mesures permettent de ré-

vélér que les zones salées sont composées principalement de deux bandes salées parallèles et d'arrangement nettement asymétrique. Une relation entre la répartition du sel et l'ancienne géomorphologie de la zone a été décelée par comparaison de la carte krigée et de l'image aérienne. Les deux bandes de sel correspondent au lit et à la rive sud d'un ancien marigot. Des transects positionnés de manière à recouper l'ancienne géomorphologie du site permet une cartographie régionale rapide (8 000 ha). Le document ainsi établi permet de prévoir les villages et les agriculteurs les plus pénalisés dans la distribution des périmètres. Il constitue un état initial, ce qui fait généralement défaut dans ce genre d'aménagement, et peut aider pour l'implantation de suivi de la salinité. □

Bibliographie

- Barbiéro L., Hammecker C., Boivin P. (1998) - Aeolian origin of some saline soil stripes in the Senegal middle valley. Morphological and geochemical considerations. - Proceedings of the 16th ISSS World Congress, August 20-26, Montpellier.
- Boivin P., Dia I., Lericollais A., Poussin J.C., Santoir C., Seck S.M. (1995) - Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. - Colloques et séminaires, ORSTOM Ed., Paris.
- Gascuel-Odoux C., Boivin P. (1994) - Variability of variograms and spatial estimates due to soil sampling: a case study. - *Geoderma* 62, 165-182.
- GEOTRONICS (1980) - Couverture aérienne, mission Teledyne Geotronics (USA). Photographies Infra-rouge fausses couleurs. 1/50 000.
- Laperrousaz C., Barbiéro L. (1999) - *Colloque GEOFCAN, 20 et 21 septembre 1999*. Géophysique des sols et des formations superficielles, 20-21 septembre 1999, Orléans, France. BRGM, INRA, IRD, UPMC.
- Laval F. (1996) - Rapport d'activités. Travaux d'expérimentation ORSTOM-FED dans la moyenne vallée du Fleuve Sénégal. Région de Podor. - ORSTOM de Dakar Fann.
- Michel P. (1973) - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. - *Mém. ORSTOM* 63, 752 p.

SOMMAIRE / CONTENTS

EDITORIAL - Alain COLLEAU	3
--	---

DOSSIER / THEMATIC SECTION

COLLOQUE GEOFCAN (21-22 septembre 1999, BRGM, Orléans, France)

THÈME I - RECONNAISSANCE STRUCTURALE DES MILIEUX PEU ANTHROPOSÉS. TERRES AGRICOLES, SOUS-SOLS NATURELS

• Cartographie de la salinité dans la vallée du Sénégal. Succès d'une démarche ascendante. - L. BARBIÉRO, C. LAPERROUSAZ	5
• Les images satellitaires RADAR. Utilisation en cartographie géologique et exploration minière (Guyane, Côte-d'Ivoire). - M. BILLA, A. BOURGUIGNON, C. KING, J.-L. FEYBESSE	8
• Paramétrisation du potentiel de ruissellement des bassins versants au moyen de la Télédétection et des Systèmes d'Informations Géographiques. Application à des bassins versants du Pays de Caux. - E. BLANCHARD, C. KING, Y. LE BISSENAIS, A. BOURGUIGNON, J.-F. DESPRATS, V. SOUCHIÈRE, T. SOUADI, P. MAURIZOT, N. LENÔTRE	12
• Apports du radar géologique à l'étude de la dynamique sédimentaire à l'Holocène récent dans la plaine interdunaire de Merdimont (Pas-de-Calais). - J.-C. GOURRY, C. VINCHON	16
• Analyse des structures superficielles des sols par imagerie radar : cas de la Dune du Pyla. - G. GRANDJEAN, P. PAILLOU, N. BACHDADI, P. DUBOIS, M. DAVIDSON, J. ACHACHE	20
• Mesures géophysiques appliquées à l'étude de l'hétérogénéité des matériaux d'une zone humide alluviale (Seine amont-Aube). - R. GUÉRIN, H. BENDJOUDI, C. PINET, S. LORENZATI, X. GARRIGUE	23
• Étude d'un aquifère salé de l'Altiplano bolivien par prospection TDEM. - R. GUÉRIN, M. DESCLOITRES, A. COUDRAIN-RIESEN, A. TALBI, E. RAMIREZ, R. GALLAIRE	26
• Déformations quaternaires de subsurface. Les apports de la géophysique. - A. HOLLIER-LAROUSSE, M. CUSHING, P. BENOIT, J.-M. GRISONI	29
• Typologie des courbes de sondages électriques verticaux pour la reconnaissance des formations superficielles en milieu de socle cristallin du Burkina Faso. - Y. KOUSSOUBÉ, A. NINDAOUA SAVADOGO	33
• Étude du toit de la nappe de Beauce à Villamblain par résistivité électrique. - D. MICHOT, A. DORIGNY, Y. BENDERITTER, Y. ALBOUY	36
• Application de la méthode électrique multi-électrode à l'étude des relations entre organisations surfaciques et internes des sols sahéliens (Burkina Faso). - H. ROBAIN, C. CAMERLYNCK, R. GUÉRIN, O. RIBOLZI	40
• Apport des données du radar-imageur SIR.C pour la reconnaissance des formations de surface en Tunisie présaharienne. - A. SIMONIN, P.-F. BUROLLET, A. FOURNET, J.-F. PARROT, B. SIMON	43
• Implantation de forages d'eau au Cambodge : apport de l'utilisation combinée des méthodes électriques (1D et 2D), TDEM et RMP. - J.-M. VOUILAMOZ, J. BERNARD, M. DESCLOITRES, P. FOURCASSIER, L. ROMAGNY	48
• Caractérisation multi-paramètres des horizons de subsurface (0-100 m) en contexte de socle altéré. - R. WYNS, J.-C. GOURRY, J.-M. BALTASSAT, F. LEBERT	51

THÈME II - RECONNAISSANCE DES STRUCTURES ANTHROPIQUES (SITES URBAINS, INDUSTRIELS...)

• Apports de l'électromagnétisme dans les études d'assainissement des communes rurales. - J.-M. BATTAREL, J. MUESSER	55
• Application de la méthode SASW dans le cadre du microzonage sismique du district d'Annecy (France). - H. FABRIOL, A. BITRI, J.-M. BALTASSAT, B. LEBRUN	58
• Détection de cavités souterraines par couplage de mesures gravimétriques et sismiques (ondes de Rayleigh). - D. LEPAROUX, G. GRANDJEAN, A. BITRI, N. DEBÉGLIA, F. LE JEUNE	62
• Reconnaissance spatiale d'un méandre : la Haute-Ile à Neuilly-sur-Marne (77) : prospection géophysique couplée au GPS différentiel. - D. VERGNAUD, C. CAMERLYNCK, Y. LEJEUNE	66

THÈME III - MONITORING GÉOPHYSIQUE (POLLUTION, RISQUE NATUREL)

• Reconnaissance des surfaces de rupture dans les formations superficielles instables par mesures électriques. - T. LEBOURG, M. FRAPPA, C. SIRIEUX	69
--	----

THÈME IV - MÉTHODOLOGIE

• Traitement de données géotechniques sur CD-rom. - J.-L. MARI, C. LAFFONT	73
• Estimation quantitative de la salinité d'un bas-fond par conductivimétrie électromagnétique : application aux sols salés de Basse-Casamance (Sénégal). - J.-P. MONTOROI	77

GEOINFO

• OUVRAGES RÉCENTS / RECENT BOOKS	81
• THÈSES RÉCENTES / RECENT THESES	84
• IGCP450, un nouveau projet IGCP en métallogénie	90
• SYMPOSIA ET CONGRÈS / SYMPOSIA AND CONGRESSES Annonces / Future events	91
• Bulletin d'abonnement à PANGAEA / PANGAEA subscription form	94
• Liste des documents en vente au CIFEG / On sale at CIFEG	95
• Bon de commande des publications CIFEG / Order form	97

EDITORIAL

Alain COLLEAU
Directeur du CIFEG

Favoriser les échanges et la coopération entre pays industrialisés et pays en développement en matière de sciences de la Terre, assurer des actions d'information, de documentation ou de formation dans ces domaines ..., ces objectifs assignés au Cifeg depuis sa création en 1981 restent d'actualité.

Pour cette édition de PANGEA, la *section thématique* met l'accent sur les nouvelles techniques – en géophysique et télédétection appliquées – de reconnaissance de la structure du sous-sol et le suivi de son fonctionnement, selon les axes principaux suivants :

- reconnaissance structurale des milieux peu anthropisés. Terres agricoles, sous-sols naturels. Aquifère, ruissellement.
- reconnaissance des structures anthropiques (sites urbains, industriels, ...). Assainissement. Sismicité.
- monitoring géophysique (pollution, risques naturels).

Ce numéro est basé sur la sélection d'articles (21) choisis dans les Actes du 2^e Colloque de Géophysique des sols et des formations superficielles "GEOFCAN", qui s'est déroulé en France, au BRGM (21-22 septembre 1999) à l'initiative du BRGM, de l'INRA, de l'IRD et de l'Université Pierre & Marie Curie.

Les critères de choix des articles sont fondés, pour l'essentiel, non seulement sur l'apport de ces technologies au service de la connaissance des ressources en eau, de la pollution ou des risques naturels, mais aussi et surtout, sur la relative légèreté de leur mise en œuvre, les rendant ainsi accessibles aux pays en développement. Huit études ont eu comme terrain d'expérimentation ces pays.

Ces articles sont publiés avec l'aimable autorisation de leurs auteurs, que nous remercions de l'intérêt qu'ils ont manifesté pour la diffusion des résultats de leurs travaux vers les pays en développement que le Cifeg assure par l'intermédiaire du bulletin PANGEA.

Cette importante *section thématique* est complétée par les rubriques usuelles de *GeoInfo* (sélection de thèses et ouvrages reçus et consultables au Cifeg, annonces de colloques et symposiums).

Enfin, signalons ici une initiative qui conforte l'engagement de l'équipe du Cifeg dans la voie de la coopération documentaire et technique : la parution au Mozambique d'un bulletin d'information ('Boletim informativo', 40 pages au format 15 x 21 cm) auquel collabore activement Mr Antonio J. Simbine, chef de projet PANGIS auprès de la DNG (Direcção Nacional de Geologia, Dpto. de Informações e Documentação).

La formation dispensée par le Cifeg dans le cadre du réseau PANGIS a permis dans un premier temps à la DNG d'améliorer la gestion de sa base de données bibliographiques en Sciences de la Terre. Depuis, et malgré de réelles difficultés financières et matérielles, l'engagement a été pris de publier tous les trois mois des résumés d'articles-clés pour la connaissance des ressources minérales et énergétiques du Mozambique, ainsi qu'une liste de comptes rendus techniques disponibles à la Bibliothèque de la DNG, à Maputo (Centro de Documentação, fax 258/ 1-429216). Puisse une telle initiative contribuer durablement au développement économique du Mozambique.

With the aim of promoting exchange and co-operation between industrialised and developing countries in the field of geosciences through information and documentation actions, training programmes etc, since 1981, Cifeg's objectives have remained unchanged.

The thematic section of this new issue of PANGEA bulletin puts the emphasis on new techniques used in applied geophysics and remote sensing for the exploration of subsurface structure and the study of its functioning, according to three main directions:

- *structural reconnaissance of those environments not overly affected by man's actions; i.e., agricultural lands, natural subsoil, aquifers, runoff.*
- *reconnaissance of anthropic structures (urban or industrialised sites, etc.), sanitation systems, seismicity.*
- *geophysical monitoring (pollution, natural hazards).*

The present issue is based on a series of 21 papers selected from the proceedings of "GEOFCAN", the 2nd Colloquium on Geophysics of Soils and Surficial Formations, initiated by BRGM, INRA, IRD and Pierre & Marie Curie University, and held at BRGM, France on 21-22 September 1999.

Selection of these articles was not only essentially made with respect to the contribution of these technologies to the knowledge of water resources, pollution or natural hazards, but also and above all, because they are easily applicable and "lightweight" in nature making them more accessible to developing countries. Eight studies were conducted in these countries.

The authors are thanked for their authorisation to publish and for the interest they took in the spreading of their research results to the developing countries, a task ensured by Cifeg through the PANGEA bulletin.

Apart from this significant thematic section the reader will find the usual GeoInfo items: a selection of theses and books which can be consulted at Cifeg, along with colloquia and symposia announcements.

Lastly I would like to point out an initiative that has reinforced the Cifeg team commitment in documentary and technical co-operation: the publication of a geo-informative bulletin ('Boletim informativo', 40 pages; 15 x 21 cm) thanks to the active participation of Mr Antonio J. Simbine, PANGIS project leader at the DNG (Direcção Nacional de Geologia, Dpto. de Informações e Documentação).

The specific Cifeg training given within the framework of PANGIS network initially enabled DNG to improve the management of their Earth Sciences bibliographical data base. Later, and despite of real financial and material difficulties, DNG decided to issue every 3 months some abstracts of key articles essential for the knowledge of mineral and energy resources in Mozambique, and a list of technical reports available at the Library of DNG in Maputo (Centro de Documentação, fax 258/ 1-429216). May such initiative contribute to a sustainable development of the country.