

# Intrusion marine et minéralisation de la réserve souterraine dans le Gandiolais

Souleymane NIANG, Luc DESCROIX

Le Gandiolais constitue l'espace terminal du delta du fleuve Sénégal caractérisé par sa célèbre embouchure et parmi les plus dynamiques au monde. Il constitue un milieu complexe dont les récentes modifications environnementales ont eu, manifestement, à produire une dégradation des ressources de base particulièrement l'eau qui, par effet de contagion, entraîne une minéralisation du sol dans un milieu rural où le maraîchage constitue l'épine dorsale de l'économie. Les productions sont devenues très faibles et les ménages vulnérables dans un contexte où l'économie locale n'offre pas une grande flexibilité d'activités ou de pluriactivité. Les explications tiennent essentiellement dans la modification de la qualité de l'eau d'irrigation, qui depuis l'avènement des aménagements, est devenue salée, voire très salée dans certains secteurs du proche littoral gandiolois.

## Évolution du régime salin dans le Gandiolais

Les problèmes de salinité dans le Gandiolais sont particulièrement liés à un changement du régime salin dans l'estuaire depuis 1986 au détriment d'une réserve souterraine de plus en plus minéralisée. D'un régime naturel à un

régime fortement anthropisé, l'évolution de la salure dans le bas delta et le Gandiolais met en évidence les différentes modifications qui déterminent actuellement l'hydrodynamique de la zone. Si avant le barrage de Diama, les échanges naturels permettaient d'obtenir un régime salin équilibré et répondant aux lois saisonnières de dilution, les récentes modifications ont cassé cette dynamique de mélange entre les masses d'eau avec une certaine concentration saline en aval du barrage de Diama. Cette évolution du bas delta permet de retenir trois principaux régimes salins : le fonctionnement naturel (la remontée naturelle des eaux océaniques), l'après-barrage et la brèche artificielle.

Du point de vue fonctionnement naturel, l'invasion marine avant le barrage de Diama était décomposée en trois phases :

### *Phase 1: Étape de la dilution maximale*

Elle correspond à la période des hautes eaux. L'eau est douce depuis la source jusqu'à l'ancienne l'embouchure du fleuve à Niayam (à 30 km de



Photo 1 : Jardins maraîchers dans la partie sud non salinisée du Gandiolais  
© Souleymane Niang

Saint-Louis) et ses valeurs minéralisantes sont annulées ce qui signifiait une absence de profils salins en surface et en profondeur. La dilution des masses d'eau est donc effective et les forts débits permettent de maintenir l'eau douce pour quelques mois avant le début du tarissement.

### *Phase 2 : Étape de la rentrée et de l'étalement de l'intrusion marine*

La diminution des débits du fleuve reste le premier facteur de l'entrée saline. L'interface eau douce/eau salée entame son déplacement saisonnier vers l'amont à la faveur d'une diminution progressive des débits. L'intrusion débute par une oscillation sinusoïdale et cyclique du plan d'eau due à l'onde de marée. Selon les estimations de Rochette (1964) et les confirmations de Gac et al, 1990, cette phase débute lorsque le débit du fleuve descend au-dessous de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  et reste supérieur à  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'étalement temporel de la

salinité dépend de la plus ou moins grande puissance des débits. Le temps d'étalement du front salé dépendait essentiellement de la durée de l'étiage et s'annulait naturellement avec l'arrivée de l'onde de crue.

### *Phase 3 ou phase de retrait de la salure*

La dernière phase s'amorce avec le nouveau cycle hydrologique et son cortège de précipitations. Elle correspond au retrait progressif de la salure dans la vallée. Le taux maximum de salinité et l'abscisse maximale atteinte, vers l'amont, par le coin salé se produisent la veille du passage de la nouvelle onde de crue. Cette phase s'achève lorsque le cumul des volumes d'eaux douces qui transitent à l'embouchure franchissent le seuil de 900 millions de  $\text{m}^3$  (Rochette, 1964, 1974).

Ce mécanisme naturel de remontée et de régulation de la salinité est aujourd'hui bloqué, dans son mouvement, par les aménagements qui ont occasionné des discontinuités hydrauliques.

### *L'invasion marine d'après-barrage*

Le barrage a réduit l'aire d'extension de la remontée saline. Les eaux marines sont confinées sur la partie aval correspondant de fait à l'actuelle zone estuarienne qui semble être délimitée par le barrage en amont. Avec le rétrécissement de l'estuaire devenu court, les ondes de marée sont réfléchies à partir de cette limite amont. À partir du moment où l'isolement est consommé et la discontinuité hydraulique est en place, la vague saline est alors propagée à l'intérieur de l'embouchure et y stagne. Ce confinement des eaux marines s'accompagne d'une accentuation de la salinité des eaux douces et d'une absence d'évacuation des sels sur la majeure partie de

l'année. La crue annuelle permettait de diluer les eaux fluviales pendant deux mois ce qui favorisait la dessalinisation du cours terminal du fleuve Sénégal, une recharge de la nappe et la présence d'une eau non saumâtre dans la zone bas estuarienne. Malgré le barrage de Diama, il existait de l'eau douce dans le Gandiolais en saison des pluies ce qui permettait les cultures de berge (tomates, niébé, aubergine) à Tassinère et Pilote Bar, Ndiébène Gandiol, Bountou Ndour, Dièle Mbame et Doun Baba Dièye.

### La brèche et ses implications dans la physiologie de la lagune salée

L'hydrodynamique occasionnée par la brèche a créé une deuxième discontinuité hydraulique qui n'est pas, en réalité, un obstacle à la circulation de l'eau mais un changement hydrochimique dans le bas estuaire. La nappe a tendance à se recharger avec de l'eau salée voire très salée à partir de la lagune de Mboumbaye, nom donné au nouveau plan d'eau occupant l'ancien lit mineur, et des cuvettes inondables qui restent très importantes dans le Gandiolais. Le Gandiolais est partout piégé par le sel et les seules portions d'eau douces localisées dans la partie orientale restent vulnérables au biseau salé qui pénètre à l'intérieur et s'incurve latéralement au niveau de Gantour. Le nouveau fonctionnement des masses d'eau fait que même si il y a la présence d'importants débits issus des crues ou des lâchers pouvant dépasser 2000 m<sup>3</sup>, ils ne peuvent pas dépasser la partie nord de la brèche. Avec l'ouverture de ce canal de plus de 5 km, les eaux de crue sont directement bifurquées au niveau de l'embouchure artificielle. La brèche s'est transformée en embouchure avec le colmatage de l'ancienne embouchure du fleuve Sénégal située à Niayam. Le cours terminal du fleuve se jetant à Niayam ne reçoit plus d'eau douce et prend le caractère d'une lagune littorale. Cette section a été baptisée lagune de Mboumbaye. Les eaux de

crue, qui parcouraient ce bras du fleuve Sénégal et dessalaient l'actuelle lagune de Mboumbaye en l'absence de la rupture, rejoignent directement la mer. Ce qui explique que la partie en aval de la brèche correspondant à la zone de Gandiol est constamment salée pendant toute l'année et que les taux de conductivité électrique soient importants autour de la brèche. Même si des lâchers sporadiques d'environ 600 m<sup>3</sup> en période de basses eaux étaient encouragés en aval du barrage de Diama, ils n'auraient aucune incidence sur la dilution des eaux salées, puisque l'ouverture du cordon holocène de la Langue de Barbarie est un point de passage incontournable des eaux douces. La plus grande ouverture de la rupture a entraîné logiquement une plus grande importance des courants de flot. Le recul vers le sud de la brèche suppose une plus grande contamination de la réserve souterraine dans les secteurs épargnés par le coin salé et où subsistent encore une forte production légumière. Le marnage quotidien a été multiplié par trois jusqu'à atteindre 0,93 m pendant la période 2004-2005 en référence à la situation de la moyenne du marnage quotidien observé entre 2001 et 2002 et estimé à 0,30 m. La situation s'était accélérée en 2009 avec un marnage mesuré à 1.18 m alors que l'amplitude du marnage était estimée de 30 à 80 cm à Saint-Louis (Gac et *al*, 1990). Ce qui semble logique puisque toute modification de la configuration du littoral engendre une évolution du marnage (Monteillet, 1988 cité par Gac et *al*, 1990). La minéralisation des puits d'irrigation reste ainsi l'inquiétude la mieux partagée quant à la survie du système productif maraîcher.

### Salinisation de la réserve souterraine et variabilité spatiale de la salinité

Du point de vue dynamique, le Gandiolais présente un milieu très poreux favorisant des échanges très rapides entre l'eau douce et l'eau salée. Le faciès lithologique du Gandiolais très filtrant, essentiellement composé

de sables moyens et fins, favorise d'importants échanges entre la nappe et les eaux marines. Jusqu'à plus de 10 m, la composition minéralogique est essentiellement sableuse avec une prédominance des sables fins et très fins. Le contact est perméable ce qui signifie que la nappe et les eaux salées sont en relation directe et le degré d'interaction reste très élevé. Cette interaction est traduite par des échanges de flux de solutés qui conditionnent la pérennité de l'ensemble de l'écosystème. Par conséquent, une bonne partie des eaux marines envahissant l'estuaire au cours des cycles de marées n'est pas évacuée pendant le jusant et rejoint les eaux de surface pour contaminer la nappe.

La salinisation touche pratiquement tout le Gandiolais mais elle le touche différemment suivant la distance des localités d'avec le biseau salé. Les valeurs de conductivité de l'eau d'irrigation restent très élevées partout dans les parcelles maraîchères. Et à partir du moment où les valeurs de salinité atteignent 2 g/l, leur utilisation pour l'irrigation devient problématique et accroît l'effet osmose. Les villages proches de la brèche et la lagune sont caractérisés par des conductivités extrêmement élevées, proches de 20.000 ( $\mu\text{s/cm}$ ), ce qui explique l'abandon total des puits. Les villages situés de 2 à 3 km à l'intérieur accusent également une salinité forte à excessive, réduisant les possibilités d'irrigation et de développement des spéculations maraîchères. Si à l'heure actuelle, les diverses mesures ont montré que le secteur continental est épargné par la minéralisation progressive, les mêmes mesures permettent de confirmer le rehaussement des taux de conductivité électrique dans les puits d'irrigation de la partie continentale à Gantour et Mboltime. Ainsi, existe-t-il une variabilité spatiale très nette qui explique le sens du biseau salé et la vulnérabilité des villages les plus proches de la brèche.

Villages	Conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ )	Minéralisation globale approximative (g/l)
Bountou Ndour	7970	5,31
Gantour	17620	11,75
Rao Peulh	15350	10,23
Mboumbaye	8180	5,46
Deggou Niaye	15410	10,27
Gadga Lahrar	3860	2,57
Gniling Mbao	4020	2,68
Ndoye Diagne	864	0,58
Ndoye Dia	380	0,25
Mboltime	594	0,4
Rimbakh Gandiol	6250	4,17
Ndeugnette	979	0,65
Gueumbeug	16535	11,02
Mouit	12500	8,33
Gouye Reine	679	0,45

Tableau 1 : Valeurs de conductivité dans les villages gandiolois

Dans plusieurs villages, l'eau salée des puits est utilisée pour les besoins maraîchers en l'absence de source d'eau douce. Ce qui suppose une concentration des sels solubles dans la solution des sols mais moins concentrée par rapport aux eaux d'irrigation des nappes. Du point de vue hydrochimique, les eaux du Gandiol présentent des faciès chimiques plus ou moins différencié dont le traceur le plus important reste le chlorure (traceur chimique d'origine marine) et ses éléments associés. Les villages de Rimbakh, Ricotte, Toug Peul (zone de transition), Rao, Gantour, Ndoye Dia, Ndoye Diagne (secteur continental) sont déterminés par un faciès chimique



Photo 2 : Arrosage à partir de puits salés à Ricotte  
© Souleymane Niang.

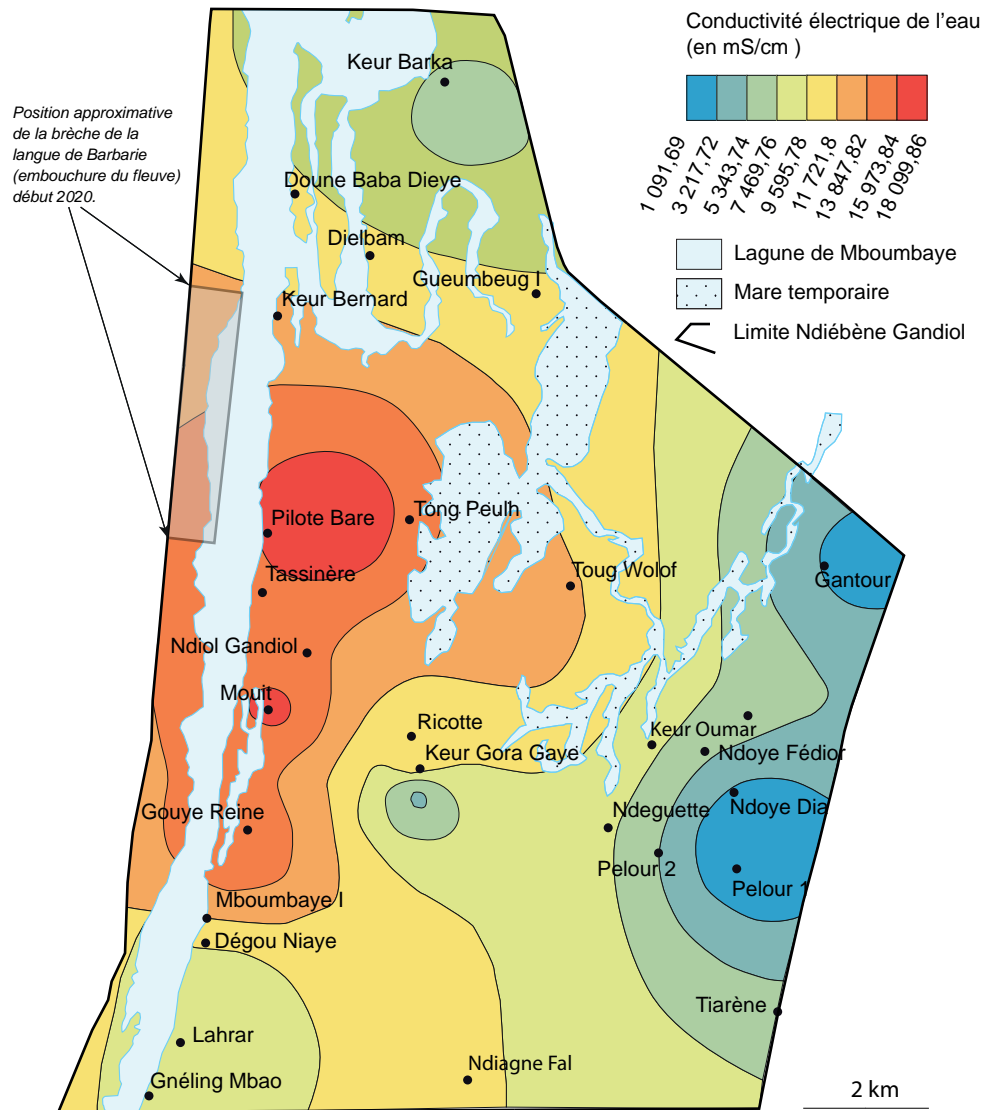
chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Tandis que Gouye Reine (zone de transition), Mouit, Mboumbaye (zone littorale) et Gandon indiquent un faciès chimique chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. La conservation des sels dans le complexe argilo-humique a une tendance saisonnière, période correspondant à une forte production maraîchère. Le caractère critique de la situation est évident dans la partie la plus littorale du Gandiolais où la salinité des eaux est supérieure à 2.5 g/l, une salinité qui a pour impact direct la réduction progressive des rendements des cultures pratiquées ou l'abandon effectif des parcelles.

En saison pluvieuse, à cause du fort potentiel matriciel du sol Gandiolais, les sels sont quasiment tous lessivés. Excepté le phosphore, tous les éléments dits solubles sont perdus par effet de percolation profonde et recyclés aux sols des *Niayes* en saison sèche chaude. La ré-infiltration des sels solubles y constitue donc une source potentielle de dégradation de la qualité des eaux souterraines, principalement dans les secteurs où la nappe quaternaire circule à de faibles profondeurs de la surface du sol, situation constatée dans plusieurs villages à moins d'un kilomètre de la mer.

Les figures 1 et 2 (voir planche cartographique) nous montrent les valeurs de conductivité électrique de l'eau des puits respectivement avant (mai) et après (octobre) l'hivernage 2015. Les valeurs sont en mS/cm (milli Siemens par centimètre). À la température de 28°C (moyenne annuelle à St-Louis), il faut diviser ces valeurs par 1 500 environ pour obtenir une teneur en sel. Les valeurs maximales de 16 à 18 000 mS/cm au mois de mai correspondent à des teneurs en sel de 11 à 12 g/l, ce qui est incompatible avec tout usage domestique ou agricole. Les valeurs sont beaucoup plus basses en octobre : 5 600 à 6 000 mS/cm correspondent à une salinité de 3,7 à 4 g/l de sel environ ; ces valeurs bien que beaucoup plus faibles interdisent aussi tous les usages agricoles (l'oignon peut dans certaines circonstances supporter 2-3 g/l en appliquant beaucoup de fumier) et quasiment tous les usages domestiques.

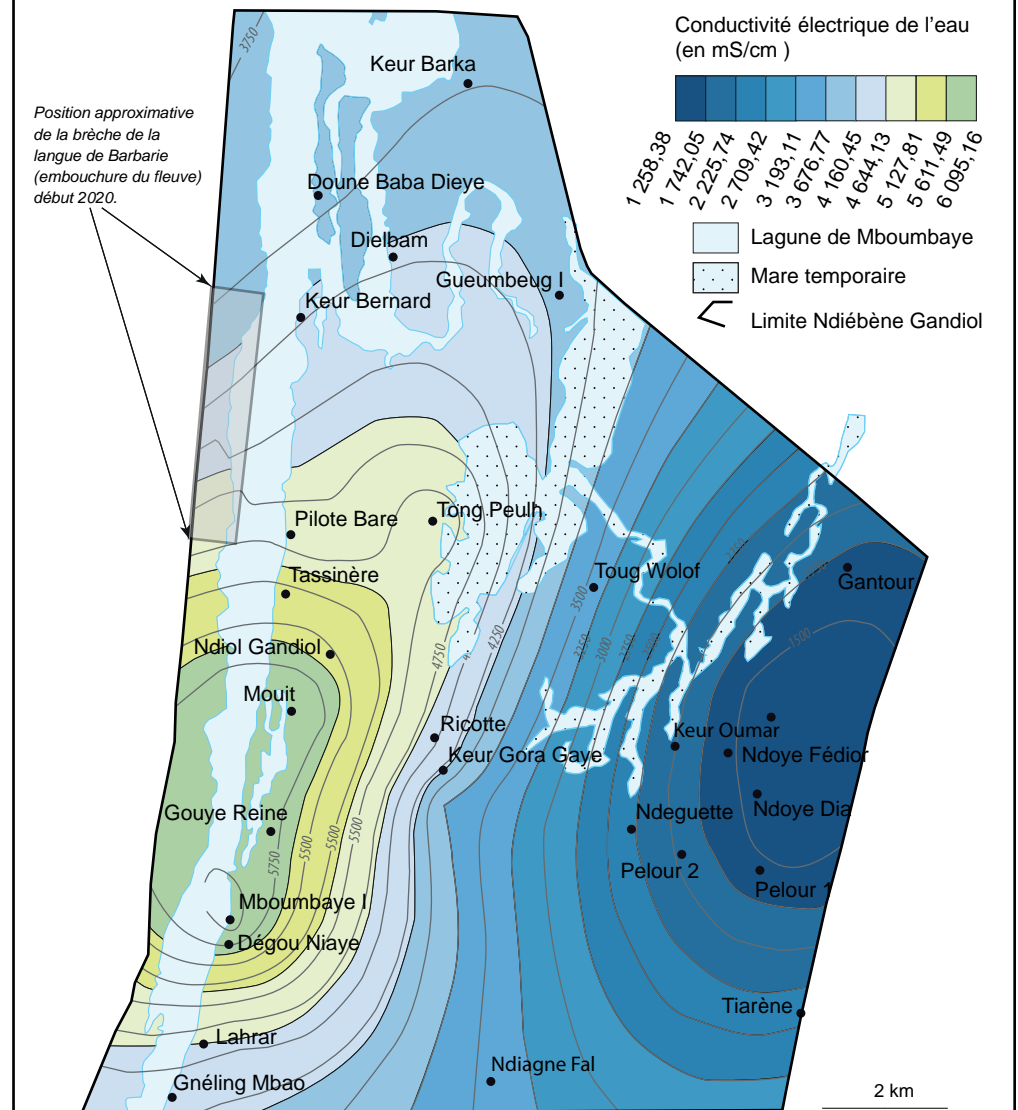
Cette diminution de la salure des sols ne signifie pas une élimination de ces sels dans le système sol-nappe. On en déduit que si le sol en place est plus ou moins protégé par les apports pluvieux, le lessivage ne joue pas en faveur de la nappe qui se recharge triplement : par les pluies irrégulières, par la lagune et le lessivage des chlorures et des bicarbonates.

## Variabilité spatiale de la salinité dans le Gandiolais en mai 2015



Source : Relevés de terrain du 14 mai au 19 mai, Testeur HI 98312 HANNA pour les valeurs de CE inférieures à 20 mS/cm et un conductimètre Hanna HI 99300 (de l'Institut National de Pédologie) pour les valeurs supérieures à 20 mS/cm.

## Variabilité spatiale de la salinité dans le Gandiolais en octobre 2015



Source : Relevés de terrain du 15 au 21 septembre, Testeur HI 98312 HANNA pour les valeurs de CE inférieures à 20 mS/cm et un conductimètre Hanna HI 99300 (de l'Institut National de Pédologie) pour les valeurs supérieures à 20 mS/cm.

## Références

- Gac J.-Y. et al, 1990. *L'intrusion saline des eaux océaniques dans la basse vallée du fleuve Sénégal au cours du 20<sup>e</sup> siècle*, Orstom/Dakar, 52 p.
- Jacoutot A., 2006. *Modifications environnementales et ses conséquences : cas du Gandiolais et Parc National de Diawling*, stage de recherche, IGA, 174 p.
- Kane A., 1997. *L'après-barrage dans la vallée du fleuve Sénégal : Modifications hydrologiques, morphologique, géochimique et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles*, Thèse de doctorat d'Etat de Géographie physique, Ucad, 551 p.
- Niang, S. 2017. *Dégradation des terres agricoles et recompositions socio spatiales dans le Gandiolais, littoral Nord du Sénégal* » Thèse de doctorat, Université Gaston Berger, Saint-Louis du Sénégal. 343 p.

# Le delta du fleuve Sénégal

Atlas collaboratif





# Le delta du fleuve Sénégal

## Direction scientifique

Marie-Christine Cormier-Salem

Luc Descroix

Mouhamadou Mawloud Diakhate

Élisabeth Habert

Boubou Aldiouma Sy

Labaly Touré

## Mise en page

Laurence Billault

Octobre 2022

DOI : 10.23708/fdi:010085776

## Crédits photos

Couverture :

Vue du quai de l'île Saint Louis sur le petit bras du fleuve Sénégal, prise depuis le pont menant à Guet Ndar, le quartier des pêcheurs © Luc Descroix

4e de couverture (de gauche à droite) :

- Petit bras du fleuve Sénégal à Saint Louis séparant Guet Ndar (quartier des pêcheurs) à gauche de l'île Saint Louis à droite ; vue prise du pont les reliant, vers le nord et l'amont © Luc Descroix
- Oiseaux d'eau sur un bras de mer de l'estuaire, à l'entrée du village de Rao, à marée haute, dans le bas delta du fleuve Sénégal © Luc Descroix
- Travail de curage (enlèvement du typha australis, envahissant) d'un canal d'irrigation à l'entrée de Ross Béthio, moyen delta du fleuve Sénégal © Luc Descroix