Chapitre 9

Eau douce contre eau salée : David contre Goliath ?

« Mais l'Afrique ? Ses habitants des Grandes Eaux Noires, les Garamantes farouches ? Qui peut évoquer avec concision le passé d'un peuple sans écriture confirmée ? J'ai essayé ; ai-je réussi ? Nous donnerons un nouveau nom à Djoliba, à Gao la Memphis du désert, à Agadès première capitale de l'Aïr et laissons courir l'imagination. »

(Ibrahim Issa, *Grandes Eaux Noires*)

Introduction

L'élévation du niveau de la mer est un fait incontestable ; les marégraphes l'enregistrent depuis plusieurs décennies et depuis les années 1990, les satellites altimétriques permettent de s'en assurer en temps réel et avec une excellente précision.

Par ailleurs, les rapports du GIEC mettent en évidence le réchauffement climatique de manière indubitable, et la plupart des experts le corrèlent aux activités humaines, en particulier à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, ceux émis par l'homme se sommant aux quantités présentes naturellement dans l'atmosphère.

Le lien entre réchauffement climatique et augmentation du niveau de la mer est également clair, par la combinaison de deux facteurs : la dilatation de l'eau du fait du réchauffement, qui expliquerait les deux tiers de cette élévation, et la fonte des glaces polaires, inlandsis, calottes, glaciers et permafrost, augmentant la part de l'eau liquide dans le bilan global, qui expliquerait le tiers restant de cette élévation (Paskoff, 2001).

Le lien entre réchauffement dû aux activités humaines et l'élévation du niveau des océans ne fait donc aucun doute.

Les conséquences en sont partout les mêmes : érosion côtière, destruction des zones de marais littoraux (avec rizières, mangroves, pâturages, etc.), pénétration plus importante de l'eau salée dans les estuaires, deltas et marais maritime, d'où salinisation des sols, et risque accru de submersion lors des fortes marées.

Les zones les plus exposées sont les zones basses de deltas telles que le Bangladesh (delta du Gange et du Brahmapoutre), les autres grands deltas d'Asie du SE (Mékong,

Irrawadi, Salouen, Yang tze Jiang, Fleuve Rouge, Chao Praya, etc.), les Pays Bas et les Flandres (deltas du Rhin, de l'Escaut et de la Meuse), le delta du Mississippi et de l'Amazone, mais aussi les nombreux deltas de la façade atlantique de l'Afrique, du fleuve Sénégal à l'Ogoué.

Toutes ces zones sont peuplées de manière très dense et si deux à trois milliards d'habitants vivent en zones littorales ou proches du littoral, plusieurs centaines de millions d'habitants vivent à moins de un mètre d'altitude !! Les activités humaines sont en effet très concentrées dans ces zones de contact, riches en biodiversité et permettant les activités d'échanges.

Les deltas d'Afrique de l'Ouest ne font pas exception et hormis celui du Sénégal, très peuplé depuis quelques décennies, tous ont développé une activité rizicole ancestrale dans les marais maritimes, naturellement recouverts par la mangrove, une formation végétale adaptée au battement des marées comme aux variations de la salinité de l'eau de mer. Ce sont donc des zones particulièrement peuplées (bien plus densément que l'intérieur des terres) et aux activités économiques diverses, variées, et demandant une grande intensité de main d'œuvre, en particulier mais non exclusivement, les rizières et l'entretien des digues, diguettes et parcelles permettant la pratique de la riziculture inondée de bas-fonds, connue depuis au moins le XIV^{e} siècle dans les « rivières du sud », c'est à dire les deltas depuis le Saloum jusqu'à la Sierra Leone.

Ces zones littorales sont éprouvées depuis plusieurs décennies par le changement climatique (la sécheresse, qui affecte l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest depuis 1968, même si la pluviométrie y a partiellement ré-augmenté après l'an 2000. Cette sécheresse a aussi fortement touché ces zones par la très forte diminution des apports d'eau douce venus du continent qu'elle a provoqué ; avec les apports liquides, les apports sédimentaires ont également fortement baissé. Cela a provoqué une hyper-salinisation des deltas et estuaires, provoquant la mort de la mangrove et la stérilisation des rizières. La diminution des sédiments a pu amorcer un déficit sédimentaire sur le littoral, en même temps qu'une baisse des apports en nutriments naturels venus des bassins versants, en poissons et en faune aquatique.

Mais depuis les années 1980, on observe une nouvelle contrainte, venue de la mer, avec l'accélération de l'élévation du niveau océanique, qui apporte avec elle l'érosion côtière, la salinisation des eaux souterraines et des sols, ici comme à l'échelle globale comme on l'a évoqué plus haut.

1 Un fait incontournable

Au cours du dernier maximum glaciaire, il y a environ 20 000 ans, le niveau de la mer était plus bas qu'aujourd'hui d'environ 130 mètres en moyenne. Avec la fonte des grandes calottes de glace qui recouvraient alors le nord de l'Amérique et de l'Europe, la mer est remontée puis s'est stabilisée il y a environ 3 000 ans. Depuis 3000 ans avant aujourd'hui, et ce, jusqu'au début du XIX^{e} siècle, le niveau de la mer n'a pratiquement pas bougé, n'augmentant que de 0,1 à 0,2 millimètre par an. Mais les observations marégraphiques disponibles depuis 150 ans indiquent que la mer a recommencé à monter au cours du XX^{e} siècle, à une vitesse moyenne de 1,8 mm par an. Ces deux dernières

décennies, cette hausse a presque doublé par rapport aux décennies précédentes ; c'est ce que montrent les observations des satellites altimétriques franco-américains *Topex/Poseidon*, *Jason-1* et *Jason-2*, développés par le CNES (Centre national d'études spatiales) et la NASA (National Aeronautics and Space Administration des États-Unis d'Amérique) depuis 1992. Elle atteint aujourd'hui 3,5 millimètres par an en moyenne globale depuis l'an 2000. Tout suggère que la hausse actuelle du niveau de la mer est liée au réchauffement climatique affectant la planète depuis quelques décennies. Au cours de la deuxième moitié du XX^{e} siècle l'océan s'est beaucoup réchauffé. Il stocke actuellement près de 90 % de l'excès de chaleur accumulée dans le système climatique au cours des 50 dernières années. La dilatation thermique des océans causée par l'augmentation de la température de la mer explique une partie de la hausse observée du niveau de la mer. Depuis quelques années, on assiste à un déclin important des glaces continentales. Les glaciers de montagnes fondent et les glaciers périphériques du Groenland et de l'Antarctique de l'ouest s'écoulent dans l'océan à une vitesse accélérée. C'est l'autre grande cause de l'élévation actuelle du niveau de la mer. Pour les deux dernières décennies, la dilatation thermique de l'océan explique 60 % de la hausse et la fonte des glaciers environ 30 % à la hausse observée du niveau de la mer. La perte de masse des calottes polaires explique quant à elle environ le reste (Wikipedia by Cazenave et Cazenave, et Llovel, 2010).

Depuis 1900, le niveau marin augmente de 1 à 3 mm par an. Depuis 1992, l'altimétrie satellite à partir de Topex/Poseidon indique un taux d'élévation d'environ 3 mm par an (Cazenave *in* Wikipedia). L'élévation du niveau marin est une des conséquences du réchauffement climatique, via deux processus principaux : la dilatation de l'eau, de la mer (puisque les océans se réchauffent), et la fonte des glaces terrestres. Au XX^{e} siècle, la mer a monté de 17 cm (Stroeve *et al.*, 2007). Le rapport du GIEC de 2007 (Velicogna, 2009) estimait que la mer pourrait s'élever de 18 à 42 cm d'ici 2100 (Stroeve *et al.*, 2007). Cette prévision a été révisée et portée à 0,50 à 1 m d'ici 2100 par une étude (publiée 28 novembre 2012 pour la 18^{e} conférence de l'ONU sur le climat à Doha) sur le changement climatique. En vingt ans, de 1990 à 2011, la mer a monté en moyenne de 3,2 mm/an selon (données satellitales) ; c'est 60 % de plus que les 2 mm par an anticipés par le GIEC pour son scenario moyen (Anny Cazenave *in* Wikipedia).

En 2011, un rapport (AMAP, 2011) sur la neige, l'eau, la glace et le permaforst dans l'arctique publiée par l'Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP, programme consacré à la surveillance de l'Arctique par le Canada, le Danemark, les États-Unis, la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Russie et la Suède) sur la base de données de terrain récoltées en arctique (quadruplement de la régression des glaciers groenlandais entre 2004 et 2009 par rapport à 1995-2000 ; diminution de l'inlandsis groenlandais passée de 50 gigatonnes/an entre 1995 et 2000 à plus de 200 gigatonnes entre 2004 et 2008) conclut que le GIEC a sous-estimé la gravité de la fonte de l'Arctique. Selon l'AMAP au rythme des années 1995-2000 l'augmentation des mers à cause de la fonte de l'Arctique atteindrait plutôt de 60 cm à 1,60 mètres d'ici 2100. À noter que ces résultats sont en bon accord avec ceux déduits des donnés marégraphiques sur la même fenêtre temporelle.

L'enjeu est de taille : plus de trois milliards de personnes, soit la moitié de la population mondiale, habitent sur une côte ou à moins de 200 km d'un littoral et un dixième de la population vit aujourd'hui à moins de 10 m au-dessus du niveau de la mer (Deschamps et Courcoux, 2014).

Le rapport du GIEC (IPCC 2007), est en accord avec Paskoff (2001) et Cazenave (voir plus haut, ses apports à Wikipedia) pour dire que deux sources majeures expliquent l'élévation récente du niveau moyen global de la mer :

- L'expansion thermique des océans due à leur réchauffement causé par la hausse des températures moyenne des basses couches de l'atmosphère. Cet effet, dit stérique, est estimé à partir de données hydrographiques mesurant la température et la salinité de l'océan (relevés bateaux, sondes, bouées dérivantes, flotteurs profilants du projet ARGO).
- L'augmentation du contenu en eau des océans, par l'apport d'eau douce consécutif à la fonte des glaciers de montagne et des calottes polaires (appelées aussi inlandsis) du Groenland et de l'Antarctique. La contribution des calottes polaires est estimée à partir de mesures spatiales (altimétrie, gravimétrie spatiale) alors que pour les glaciers de montagne, on utilise principalement des mesures *in situ*.

D'autres facteurs, telle la diminution des apports sédimentaires à la mer par les fleuves, causée par la construction de barrages, l'urbanisation intensive du littoral, la modification des courants côtiers, etc. contribuent aussi à modifier la morphologie de la côte. Pour de nombreuses régions du monde (y compris la France et ses départements et territoires d'outre-mer), la contribution respective de ces différents facteurs à l'érosion du littoral est encore incertaine. Des « modèles » d'évolution et de vulnérabilité des zones côtières en réponse aux forçages anthropique et climatique sont des outils d'aide à la décision devenus indispensables pour les responsables politiques en charge de l'aménagement du territoire.

1.1 Une accélération de la remontée du niveau marin depuis un siècle

La couverture spatiale des marégraphes est loin d'être idéale, mais elle a été améliorée considérablement ces dernières décennies. Différentes compilations régionales et globales confirment une accélération récente de la hausse du niveau des mers avec un taux moyen inférieur à 1,5 mm/an avant les années 1950 jusqu'à atteindre plus de 3 mm/an durant les dernières décennies (figure 147). Les données altimétriques ont permis de confirmer la hausse du niveau marin observée par les marégraphes et de préciser un taux d'évolution qui est actuellement de 3,2 mm/an, avec de petites fluctuations interannuelles et décennales principalement liées à l'Oscillation australe (hausses pendant les événements El-Niño et baisses pendant les phases La Niña).

Les conséquences à en attendre sont d'après Paskoff (1998a) :

- un risque accru de submersion ;
- une érosion côtière accélérée ;
- la salinisation rapide des espaces littoraux et plaines côtières.

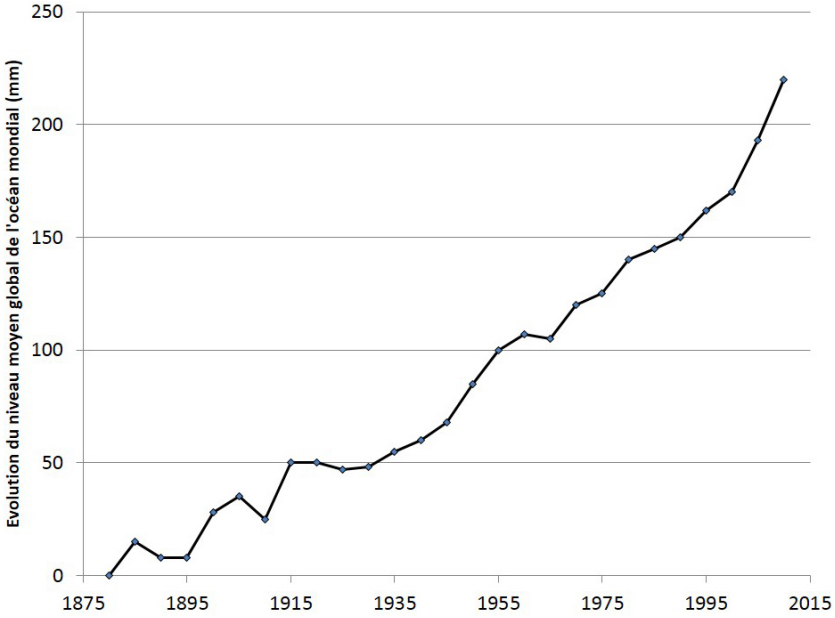


Figure 147 – Élévation du niveau des mers depuis 1950

2 Les principales conséquences potentielles de l'élévation du niveau de la mer

2.1 Les submersions

Dans la perspective d'une élévation du niveau de la mer, les submersions sont le plus à craindre sur les plaines deltaïques, à la topographie à fleur d'eau, parsemées d'étangs et de lagunes, où la limite entre la terre et la mer est souvent indécise. C'est le cas de la Camargue sur sa marge littorale (Paskoff, 1998a et 1998b).

En raison de leur position dans l'espace intertidal, les marais maritimes paraissent particulièrement menacés d'inondation permanente par une élévation du niveau de la mer. Dans une conjoncture d'élévation du niveau de la mer, comme pour les marais maritimes des latitudes tempérées, les vasières à mangrove peuvent connaître trois types différents d'évolution qui dépendent du rapport de forces entre la vitesse de cette élévation et l'importance de la sédimentation : submersion et donc disparition de la forêt ; migration latérale vers la terre ; maintien, voire extension aux dépens de la mer. On peut compenser ainsi, d'une part le déficit en sédiments (en France) qui est la cause fondamentale de l'érosion, d'autre part l'élévation du niveau de la mer qui l'aggrave. La moins bonne solution est le recours traditionnel aux enrochements qui, s'ils sont capables de protéger efficacement les biens, présentent souvent l'inconvénient de renforcer l'érosion en augmentant la réflexion des vagues, donc de contribuer à la disparition de la plage et par là même de dénaturer profondément l'environnement (Paskoff, 1998a et 1998b).

À mesure que les zones côtières sont de plus en plus attractives et aménagées, leur vulnérabilité aux risques côtiers s'aggrave considérablement.

L'élévation du niveau marin pourra induire ou aggraver deux types de submersions : des submersions permanentes de zones basses (notamment de marais côtiers) et des submersions de tempêtes marines temporaires.

Ceci étant, la mangrove est surtout un bon bouclier face à l'érosion côtière, pour les côtes ouest-africaines ; les zones de marais maritimes côtiers en forte accrétion depuis 30 ans sont fréquentes malgré l'élévation du niveau de la mer. Il faut distinguer les marais maritimes deltaïques en voie de disparition et les marais estuariens en voie d'expansion. Paskoff (2001) rassemble des exemples d'expansion ou la translation de nombreux marais maritimes corrélatifs de l'élévation du niveau marin. Il décrit les processus de sédimentation pélitique verticale liés à l'augmentation de l'énergie cinétique des courants.

> « Les côtes des régions tropicales pluvieuses sont actuellement abondamment alimentées en sédiments fins, limons et argiles, qui nourrissent les vasières ; cela, à la fois pour des raisons naturelles – régimes pluviométriques, en particulier ceux à contrastes saisonniers, prédominance de l'altération chimique des roches – et humaines – aggravation de l'érosion des sols ».

Plus loin, le même auteur ajoute :

> « L'élévation attendue du niveau de la mer ne devrait pas menacer véritablement les vasières à mangrove du monde en dépit de certaines prédictions pessimistes qui ont fait depuis l'objet de discussions » (Paskoff, 2001).

Enfin, relativisant la question de l'élévation du niveau océanique dans la perspective du changement climatique planétaire, Paskoff (2001) montre que ce changement climatique « *devrait aussi avoir d'autres implications, comme les modifications dans le régime des pluies, donc des apports en eau douce, ou dans celui des températures et, par voie de conséquence, sur la cyclogénèse, autant de facteurs qui pourraient avoir des impacts sur les forêts de palétuviers* ». Paskoff précise que le plus grand danger pour les mangroves n'est pas cette élévation du niveau océanique mais leur démantèlement par l'homme ; or, Andrieu (2008) a montré depuis que, si la mangrove mondiale est globalement menacée, celle d'Afrique de l'Ouest se porte plutôt bien ; elle est en nette progression ces dernières années, ce qu'il a confirmé récemment (Andrieu, 2018). La mangrove d'Afrique de l'Ouest a à peu près retrouvé son extension d'avant la grande sécheresse.

2.2 L'érosion côtière

L'érosion du trait de côte est l'un des aléas qui s'exerce sur les zones littorales. Elle induit trois types de risques : (1) la perte de terrain ; (2) la fragilisation par érosion de défenses côtières naturelles (ex. dunes) ou artificielles (ex. digues en terre) pouvant parfois entraîner une rupture ; (3) la sape d'ouvrages de protection par affouillement. Ces risques seront potentiellement aggravés par l'élévation du niveau marin.



FIGURE 148 – Déchaussement de filaos sur une plage de l'Île Maurice, signe d'érosion côtière



FIGURE 149 – Campement touristique menacé par l'érosion côtière à Kipini (Kenya) (courtoisie de Olivier Hamerlynck et Stéphanie Duvail)

Cette érosion est la conséquence la plus visible et la plus généralisée de l'élévation du niveau de la mer ; c'est elle qui inquiète le plus les habitants des zones littorales. En Afrique, on l'observe aussi bien sur les côtes de l'océan Indien (figures 2 et 3) que celle du Golfe de Guinée (figure 4). On verra ci-dessous ce qu'il en est en Afrique de l'Ouest.

La figure 150 montre l'érosion littorale au Togo où elle est plus ancienne et en grande partie liée à un déficit sédimentaire dû au stockage de sédiments par le barrage d'Akosombo sur la Volta, le plus grand lac artificiel du Monde (162 km^3 d'eau, soit un tout petit peu plus que celui d'Assouan en Égypte).



Figure 150 – Équipements touristiques en passe d'être détruits à Lomé (Togo)

2.3 Les phénomènes de salinisation

Les phénomènes de salinisation sont susceptibles d'affecter les estuaires qui correspondent à des embouchures de fleuves dans lesquelles la marée pénètre amplement (Paskoff, 1998a et Paskoff, 1998b). (voir les encarts sur les estuaires inverses et sur la salinisation des nappes littorales, en fin de chapitre).

Les aquifères côtiers constituent une ressource en eau importante pour des usages domestiques, agricoles et industriels dans de nombreuses régions du monde (Ledoux *et al.*, 1990). Des modifications de l'hydrologie et de l'hydrogéologie sur le littoral résultent des déplacements de l'interface eau douce eau salée (Kim *et al.*, 2009). Les aquifères côtiers sont plus ou moins sensibles aux intrusions salines sous conditions naturelles et/ou sous influence anthropique (exploitation par pompage), en fonction de leur structure, de leur hétérogénéité et de leur relation avec les eaux de surface (au niveau des estuaires). Ils sont caractérisés par une interface entre des eaux souterraines de deux types (Planton *et al.*, 2012). L'eau douce des aquifères provenant de l'infiltration des précipitations, des cours d'eau (ruissellement) au niveau de la surface continentale. L'eau salée qui imprègne les terrains au voisinage des côtes ou qui pénètre les cours d'eau au niveau des estuaires et peut ainsi donner lieu à la salinisation des eaux souterraines en relation hydraulique avec les eaux de surface (Planton *et al.*, 2012).

Une intrusion saline menace la quantité d'eau douce disponible. Une augmentation du niveau marin induite par un changement climatique aura comme conséquence la migration de l'interface eau douce/eau salée vers le continent, i.e. de l'intrusion saline (Werner et Simmons, 2009). Ainsi, une bonne compréhension d'une intrusion saline induite par une augmentation du niveau marin est essentielle pour la gestion des ressources des aquifères côtiers (Watson *et al.*, 2010). L'intrusion d'eau salée a la forme d'un biseau plongeant vers l'intérieur des terres, appelé communément « biseau salé ». Le contact des eaux de densités différentes est régi par les lois d'équilibre hydrodynamique et par les phénomènes de diffusion qui s'inscrivent obligatoirement

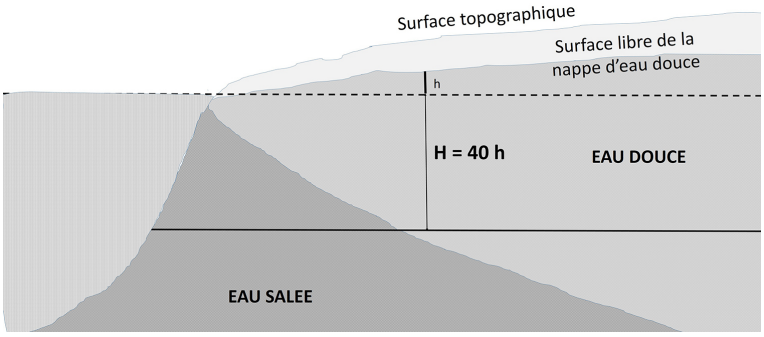


FIGURE 151 – Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (extrait de Frissant *et al.*, 2005, *in* Planton *et al.*, 2012)

dans un contexte géomorphologique, lithologique et hydrogéologique propre à chaque région. (Planton *et al.*, 2012).

L'intrusion d'eau salée due aux inondations côtières est un des impacts les plus inquiétants. En effet, la salinisation des sols sera gênante pour de nombreuses cultures de base car elle perturbera les ressources agricoles de nombreux pays. Mais se trouvent menacés également les espèces d'eau douce qui sont une ressource pour l'alimentation des populations ; ainsi que l'eau d'irrigation, notamment dans des zones pauvres en ressources en eau comme les petites îles du pacifique (Planton *et al.*, 2012).

2.4 La réduction de volume des eaux douces souterraines

Deux masses d'eau souterraine entrent en contact dans l'espace littoral où l'eau douce de l'aquifère continental s'écoule sur l'eau salée immobile. Si le niveau de la mer s'élève, l'interface abrupt qui les sépare va se déplacer latéralement vers la terre et le niveau piézométrique sera rehaussé. Dans ce cas, la surface d'alimentation de la nappe phréatique d'eau douce par l'infiltration des pluies sera d'autant plus réduite que la pente de la topographie côtière est faible (Paskoff, 1998b – voir aussi figure 151).

Sur les côtes alluviales basses, comme en Camargue, l'inondation permanente par la mer de dépressions jusqu'alors seulement occupées par des eaux de pluie ou de ruissellement, va aussi avoir pour conséquence un morcellement des aquifères d'eau douce, donc une diminution de volume de la ressource qu'ils représentent. De telles manifestations s'ajouteront aux dommages que causent déjà à ces aquifères des prélèvements inconsidérés compte tenu de leur débit. En effet, des extractions abusives, en abaissant le niveau piézométrique, conduisent à une ascension de l'eau salée sous les puits, voire, lorsque cet abaissement descend au-dessous du niveau de la mer, à une intrusion latérale massive d'eau salée qui conduit inéluctablement à une salinisation des sols (Paskoff, 1998b). Quant à l'élévation du toit des nappes phréatiques, il augmentera les contraintes liées au drainage des terres littorales basses et planes.

2.5 Un accroissement de la fréquence des surcotes

Les submersions temporaires, à la suite de la rupture de bourrelets dunaires ou de digues, d'espaces côtiers bas, occupés par de l'habitat ou exploités à des fins agricoles, risquent d'être plus nombreuses qu'aujourd'hui dans une conjoncture de réchauffement du climat et d'élévation concomitante du niveau de la mer. On a déjà dit que, sur les littoraux des régions tropicales frappées habituellement par des cyclones, ceux-ci se manifesteront probablement plus souvent et avec plus de force. Pour les latitudes tempérées, des modélisations font aussi apparaître des surcotes plus fréquentes liées aux ondes de tempêtes, événements dus à la conjonction d'une diminution notable de la pression atmosphérique et de vents violents accumulant de l'eau à la côte. L'élévation temporaire du niveau de la mer peut être encore accentuée par une situation de marée de vive eau et un effet de résonance lié à la configuration du lit marin (Paskoff, 1998b).

2.6 Conclusion sur l'élévation du niveau océanique : une conséquence du réchauffement lié aux activités humaines

Il apparaît aujourd'hui que l'on a parfois eu tendance à exagérer ou à sous-estimer au contraire l'ampleur de l'élévation du niveau marin à venir et la magnitude de ses effets à attendre sur les littoraux. La dégradation des marais maritimes, la mort de récifs coralliens, l'érosion des plages, la salinisation des nappes phréatiques constituent des dégradations, le plus souvent irréversibles, de milieux côtiers dans lesquelles l'homme a presque toujours la plus grande part de responsabilité. Cela étant dit, elles pourront être encore aggravées si le niveau marin continue à s'élever et surtout si cette élévation s'accélère. Il faut s'attendre ici, dans les décennies à venir, non seulement à un recul significatif du trait de côte dans beaucoup de secteurs, mais aussi à une extension appréciable des terrains submergés de façon permanente et à un élargissement des phénomènes de salinisation des nappes d'eau souterraines et des sols (Paskoff, 1998b).

Indispensable à la vie sur Terre, l'effet de serre est dû à la présence naturelle de certains gaz dans l'atmosphère terrestre. Depuis le XX^{e} siècle, il est accentué par des émissions de gaz supplémentaires, liées aux activités humaines telles que l'agriculture, l'usage de combustibles fossiles et les rejets industriels. Selon une grande majorité de scientifiques, le surplus d'effet de serre dû aux activités humaines a joué un rôle déterminant dans le changement climatique des dernières décennies.

Le réchauffement observé depuis 1950 est « *sans équivoque* », précise le résumé à l'attention des décideurs, et le GIEC estime aujourd'hui qu'« *il est extrêmement probable [c'est à dire avec une probabilité d'au moins 9,5 chances sur 10 pour que l'affirmation soit correcte] que l'influence humaine sur le climat a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du XX^{e} siècle* ». Ce réchauffement est constaté à la lecture des données atmosphériques et océanographiques ainsi que dans les modifications du cycle global de l'eau, dans la réduction des couvertures neigeuses et glaciaires ou encore dans l'observation de certains évènements climatiques extrêmes (5^{e} rapport du GIEC, septembre 2013).

3 Un point sur la situation du littoral ouest africain

Quelle est réellement l'évolution du littoral en Afrique de l'Ouest ? On peut, pour en avoir une idée, se référer à la thèse Ibrahima B.N. Faye soutenue à l'UBO en février 2010, *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : aproches régionale et locale par photointerprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes.* Ci-dessous quelques passages notoires de cet important travail.

S'appuyant sur les travaux de la Commission sur l'Environnement Côtier de l'Union Géographique Internationale, Bird (1985) estimait que le processus de recul du trait de côte affectait à l'époque plus de 70 % des plages de la planète. Plus récemment, Beer (1997) soulignait aussi que l'évolution des littoraux sableux est dominée généralement par une tendance régressive. Les études menées ces dernières années dans les différentes régions du monde montrent que la régression des côtes sableuses est un phénomène planétaire.

Les littoraux ouest-africains constitués en grande partie d'estuaires et de plages n'échappent pas à cette évolution régressive. L'érosion côtière est l'un des principaux problèmes environnementaux auxquels est confronté le littoral de la zone de l'Afrique de l'Ouest et du Centre (Faye, 2010).

> « Or en Afrique de l'Ouest comme sur la plupart des façades maritimes, les dernières décennies sont marquées par une croissance démographique et corrélativement d'une augmentation des activités économiques sur les zones côtières. En effet, toutes les grandes agglomérations ouest-africaines (Nouakchott, Saint-Louis, Dakar, Banjul, Bissau, Conakry, Freetown, Monrovia, etc.) sont localisées sur la côte, foyer privilégié d'immigration et de développement de l'économie maritime notamment dans les secteurs portuaires, industriels, touristiques, etc. » (Quensière *et al.*, 2006).

> « Le littoral ouest-africain abrite également des sites d'intérêt patrimonial, des aires protégées reconnues mondialement telles que le banc d'Arguin, le parc national des oiseaux de Djoudj, le delta du Saloum, l'archipel des Bijagos, etc. que les changements littoraux pourraient affecter » (Faye, 2010).

> « L'avancée de la mer se traduit parfois par des phénomènes brutaux ayant un certain retentissement dans la presse sénégalaise par exemple comme ce fut le cas lors de la submersion du cimetière de Rufisque en juillet 2007 » (Dia, 2007 ; Faye, 2007).

Ce fut le cas aussi des destructions d'infrastructures et d'habitats nécessitant la relocalisation des populations de Djiffère à la suite de la rupture de la flèche de Sangomar en 1987 (Lô, 1996).

> « L'importance socio-économique et écologique de la zone côtière d'Afrique occidentale en général et des littoraux sableux en particulier dans un

contexte de crise environnementale justifie de mener une réflexion sur le fonctionnement, l'évolution ainsi que la gestion de l'utilisation des ressources de l'espace littoral. C'est dans cette optique qu'a été initié en 2001, le Programme Régional de Conservation des Zones Côtières et Marines en Afrique de l'Ouest (PRCM, www.prcmarine.org) dont la première phase concernant tous les pays côtiers situés de la Mauritanie à la Sierra Leone se déclinait en sept composantes : appui à la création et à la co-gestion des Aires Marines Protégées, espèces et habitats, gestion des pêches, tourisme durable, hydrocarbures et qualité des eaux, recherche, communication » (Faye, 2010).

« Les taux d'érosion les plus fiables mis en évidence par ces études sont inférieurs ou égaux à -2,5 m/an. Les plus fortes vitesses de recul sont localisées aux environs de la Presqu'île du Cap Vert. Ainsi dans les secteurs de Yoff-Cambérène, elles varient de -1 à -1,8 m/an. L'autre secteur en forte érosion est la zone de Mbao-Rufisque, où les taux de régression oscillent entre -0,9 et -1,6 m/an. Par ailleurs, en dépit de la construction d'épis et de l'aménagement d'un cordon d'enrochement pour protéger Rufisque de l'avancée de la mer, certains quartiers riverains sont submergés lors de fortes houles et des grandes marées » (Faye, 2010).

« L'érosion côtière touche aussi sévèrement les plages très touristiques de la Somone à Saly qui perdent presque 1 m/an (CSE, 2004). Ces sites sont localisés à l'extrémité d'une petite baie dans laquelle se trouve Mbour où la ligne de rivage recule moins rapidement (-0,45 m/an). Le recul est également très faible pour les falaises et les plages adossées de Fann et du Cap de Naze. L'évolution du pied et du haut de falaise dans les secteurs de plages adossées résulte principalement des actions alternées ou simultanées de la mer qui attaque la base de la falaise et déblaie les éboulis ainsi que des pluies qui ravinent les horizons meubles des falaises et provoquent des mouvements de masses boueuses principalement sur les versants des falaises marneuses et argileuses (Elouard, 1980 ; Sall, 1971 ; 1982) » (Faye, 2010).

« Sur la base de notre inventaire, les données satellitaires et cartographiques les plus pertinentes pour répondre à notre problématique à l'échelle régionale ont été sélectionnées et traitées. Néanmoins la résolution spatiale des images satellitaires Landsat disponibles (30 m pour les images TM, ETM+ et 79 m pour les données MSS) limite l'analyse régionale de la cinématique littorale aux formes très mobiles comme les flèches, l'extrémité libre des cordons sableux et les îles sableuses associées aux systèmes estuariens du Sénégal à la Guinée-Bissau qui enregistrent des évolutions de plusieurs dizaines de mètres par an. Pour le suivi de ces formes, deux lignes de référence ont été sélectionnées selon les secteurs étudiés et la qualité des images : la ligne instantanée de rivage sur la Langue de Barbarie et la limite de végétation sur le haut de plage dans les zones estuariennes

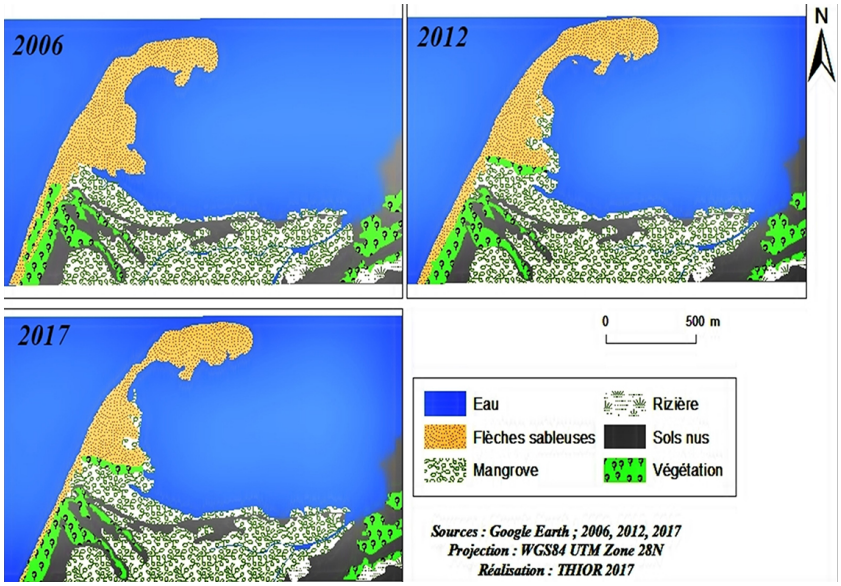


FIGURE 152 – Évolution du trait de côte entre 2006 et 2017 sur la presqu'île de Kafar, à l'ouest de l'île de Carabane (Mamadou Thior, thèse en cours à l'UASZ)

de Joal au Rio Cacine. L'extraction de ces indicateurs a été effectuée par équi-densitométrie pour la ligne instantanée de rivage et par classification non dirigée avec la méthode ISODATA pour la limite de végétation. L'analyse des variations historiques de la position de ces deux lignes de référence durant les deux décennies couvertes par les images Landsat nous a permis de retracer l'évolution historique du trait de côte sur 142 km de plage, soit 7,5 % des 1892 km constituant le linéaire côtier sableux régional. Sur ces 142 km, 73,4 % sont en progradation et 26,6 % sont en érosion. Les segments de côte en érosion sont situés sur le front des cordons littoraux isolant des mangroves dans les estuaires sénégalais (Saloum, Casamance), bissauguinéens (Rio Cumbija et l'ouest de l'île d'Adonga), les racines des flèches de Varéla (Guinée-Bissau), du Cap Saint-Mary et la pointe de la flèche de Bald Cape (Gambie). Les vitesses moyennes d'érosion estimées dans ces régions sont de l'ordre de -16 à -24 m/an pour les flèches, -13 à -24 m/an pour les cordons littoraux et -47 m/an pour la façade occidentale de l'île d'Adonga. Les zones en progradation sont situées à la pointe des flèches, des cordons littoraux et autres îles sableuses sur les marges maritimes des estuaires du Sénégal (Langue de Barbarie, Joal, Saloum, Casamance), de la Gambie (Toll Point, Saniang Point, Kartung Point) et de la Guinée-Bissau (Cap Roxo, Rio Cacheu, ouest de l'île de Pexice, nord du Rio Cacine, flèche d'Acapa, la façade orientale de l'île d'Adonga).



Figure 153 – Rizières en bordure de l'océan à Varela Iale ; on note en noir les casiers abandonnés du fait de la salinisation des sols



Figure 154 – Hébergements touristiques détruits ou menacés sur le littoral sénégalais ; 154a : Joal (Petite Côte) ; 154b : Palmarin (Saloum Nord) ; 154c : Toubab Dialao (Petite Côte) ; 154d : Niafrang (Nord Casamance)

> « Les taux moyens de progression oscillent généralement entre +15 et +140 m/an et atteignent +551 m/an sur la Langue de Barbarie » (Faye, 2010).

La figure 152 est extraite de la thèse en cours de Thior (2018 ou 2019) et montre l'évolution du trait de côte de 2006 à 2017 sur la partie ouest de l'île de Carabane.

La figure 153 est un extrait de Google Earth de novembre 2013 montrant, dans la région de Varela (Guinée Bissau) une grande proportion des rizières abandonnées, du fait de la salinisation des sols, due à la remontée du niveau océanique, mais aussi au défaut d'entretien des digues.

Les figures 154a à 154d montrent comment les équipements touristiques sont menacés sur tout le littoral sénégalais. Mais les situations humaines et sociales sont bien plus dramatiques quand ce sont les villages ou les établissements humains qui sont touchés, comme cela se voit de plus en plus sur le même littoral du Sénégal. Les figures 155a à 155d montrent des villages sénégalais partiellement ou totalement emportés ou endommagés par l'érosion littorale.

Dans le Gandiolais, à quelques encablures de Saint Louis (embouchure du Sénégal), après le village de Keur Bernard, c'est le village de Doun Baba Dièye (figure 155a) qui a été complètement emporté en décembre 2012, quelques années après avoir été exposé directement à la houle suite à l'ouverture artificielle d'une brèche dans la Langue de Barbarie. À l'Est de la rade de Dakar, la petite ville de Yène-sur-Mer (figure 155b) est touchée par l'érosion de sa falaise constituée de conglomérats trop peu consolidés pour résister à la puissance croissante des vagues. Il en est de même à Popenguine, 20 km plus au Sud. Le village de Djogué (figure 155c) situé à l'embouchure du fleuve Casamance a été partiellement détruit par la même onde de tempête que celle qui a touché Gorée les 1er et 2 juin 2014. Même à l'intérieur des terres, l'élévation du niveau de la mer rend le maintien de certains villages de mangrove problématique, obligeant les habitants à rehausser les terre-pleins sur lesquels on bâtit les habitations (figure 155d).

Des sites historiques sont touchés comme Gorée, qui est *a priori* bien accroché à son rocher, mais qui a subi quelques dégâts en début juin 2014 (chute d'un mur de l'école Mariama Ba), ou encore Carabane, où le front de fleuve est menacé, conduisant habitants et professionnels du tourisme à construire des murs de protection (figure 156). Au Nord de la Guinée Bissau, c'est un des lieux vénérés comme étant point de passage d'El Hadj Omar qui est à présent en encorbellement sur les flots (figure 157).

Les interventions humaines sont souvent incriminées comme la construction des barrages qui bloquent le transit sédimentaire alimentant en temps normal les dérives littorales ; l'érosion importante des littoraux du Togo et du Bénin depuis les années 1980 est comme on l'a vu plus haut partiellement imputé à la construction du barrage d'Akosombo. Mais parfois il s'agit d'actions répétitives ou de travaux de faible ampleur qui arrivent à perturber l'équilibre hydro-sédimentaire des zones côtières.



Figure 155 – Villages touchés par l'érosion côtière : 155a : Doun Baba Dièye près de Saint Louis ; 155b : Yène sur Mer dans la rade de Dakar ; 155c : Djogué en Casamance ; 155d : un village touché par l'élévation du niveau de la mer : Etama en Casamance, à 40 km du littoral



Figure 156 – En Casamance ; mur protégeant les maisons contre l'érosion côtière, Carabane, juillet 2014 (embouchure du fleuve Casamance, rive gauche)



Figure 157 – Guinée Bissau : Varela : malgré un soubassement rocheux, le lieu saint consacré à El Hadj Omar est menacé par l'érosion côtière (mai 2014)



Figure 158 – En Casamance, août 2012, Cap Skirring : si en plus, on aide l'érosion à emporter le sable...

Au nord de la Casamance, c'est un vaste ensemble de mangroves et de rizières qui pourrait être menacé si une exploitation de zircon en projet (capitaux australiens et chinois) se réalisait ; la dune de Niafrang (c'est le dernier village côtier au Nord avant la frontière gambienne) est convoitée pour son riche gisement de zircon (un métal rare et lourd utilisé en électronique, céramique et armement). Or, elle est déjà menacée par l'érosion côtière (un campement a été complètement emporté, en septembre 2016) ; mais surtout, elle protège une vaste étendue de rizières situées sur les vasières (donc à l'altitude de battement des marées) ainsi que des mangroves. Par ailleurs, si l'ensemble du projet est mené à exécution, cela fragilisera une vingtaine de kilomètres de dunes côtières, mettant sous la menace directe de l'érosion côtière, au bas mot, 25 000 hectares de mangroves et de rizières. Or, le gisement sera épuisé en 3 ans et

demi, et ne créera que peu d'emplois, subalternes et de courte durée, laissant sur place une vulnérabilité accrue des littoraux et de leurs habitants.

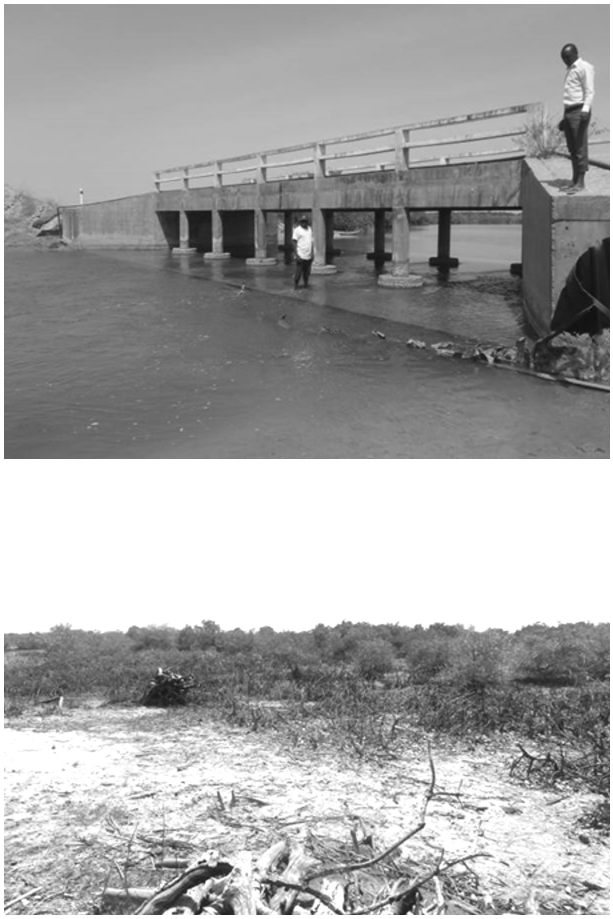


FIGURE 159 – En haut, un des trois ponts construits sur la piste entre Etama et Bandial (Basse Casamance) ; le bolon a cinq ou six mètres de profondeur ; or la semelle du pont émerge la plupart du temps, laissant passer de très faibles volumes de marée. En bas, la mangrove morte en « amont » des ponts

Ainsi, le prélèvement de sable sur l'estran, rigoureusement interdit mais régulièrement pratiqué, contribue à aggraver l'action des éléments naturels (figure 158).

Dans la mangrove du Mof Evi, à une quarantaine de kilomètres du littoral casamançais, c'est la construction d'une série de ponts mal calibrés qui est en train de faire périr mangroves et rizières par sur salure de l'eau de mer, piégée en amont des ponts (figures 13 et 14).

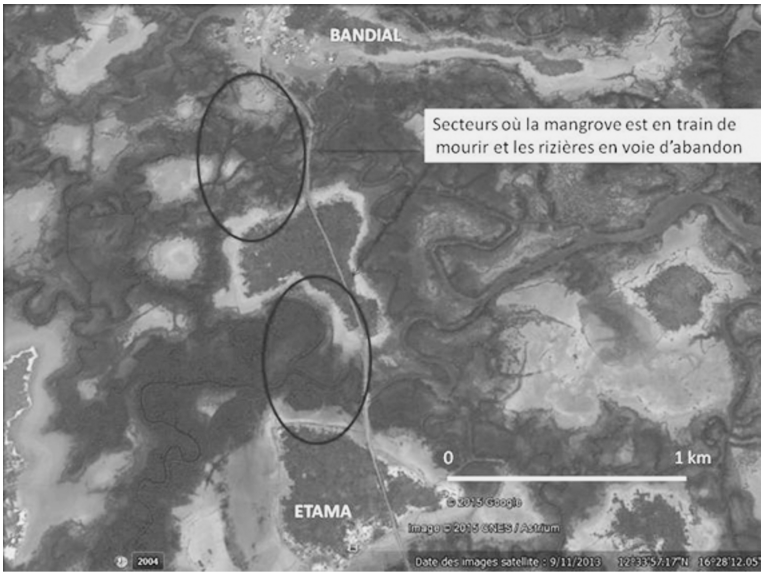


FIGURE 160 – Extrait d'une image de Google Earth® montrant les secteurs où mangrove et rizières sont en train de dépérir, la marée ne pouvant plus circuler en volume suffisant sous les ponts sous lesquels le volume transitant aux marées hautes est extrêmement réduit, la profondeur de l'eau passant de 5 à 6 mètres de part et d'autres à moins de 20 cm sous le pont (voir figure 13 gauche)

3.1 Un cas d'école : la brèche de la Langue de Barbarie...

Mais l'exemple le plus cité en Afrique de l'Ouest littorale d'une action anthropique ayant eu des conséquences incalculables est la brèche de la Langue de Barbarie. La langue de Barbarie est une bande de sable de 400 m de large, sur 35 km de long au Sud de la ville de Saint-Louis : elle constitue un parc national et est classée au patrimoine mondial de l'Unesco.

Son existence est aujourd'hui menacée. La ville de Saint Louis a été inondée durant l'hivernage 2003 par des lâchers du barrage de Diama, "normaux" mais organisés lors d'une marée de fort coefficient. L'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du bassin du Sénégal) a prévenu les autorités que le niveau de la crue annuelle attendue pour fin octobre serait bien plus élevé. Aussi, les plus hautes autorités de l'État sénégalais ont décidé d'ouvrir un « canal de délestage » pour faciliter l'écoulement du fleuve vers la mer, à 7 km au sud de la ville. De 4 mètres de large au moment de l'ouverture, le canal a atteint 250 mètres de large, 3 à 4 jours après le creusement, puis 800 mètres au mois d'avril 2004, 5 km en mars 2015 (figure 161) et 6 km en 2018. L'érosion est aujourd'hui très importante dans la partie sud de la zone nouvellement exposée à la houle, entraînant la disparition des filaos et des dunes.

La Langue de Barbarie est elle-même bien sûr très menacée ; au sud de la brèche, la situation est sévère : des points de faiblesse risquent à tout moment de craquer devant une onde de tempête ou une forte houle, entraînant rapidement une communication avec la brèche existante. Elle est probablement condamnée à terme. Au nord, par

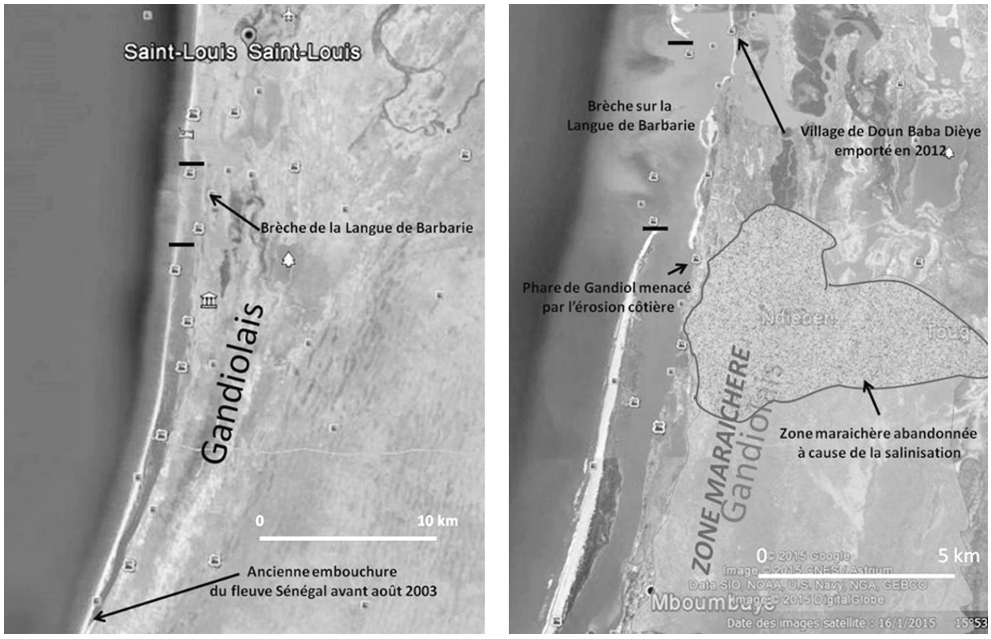


Figure 161 – Situation de la brèche de la Langue de Barbarie en mars 2015. À gauche, plan d'ensemble montrant l'ancien cours du fleuve entre Saint Louis et son embouchure 35 km en aval. À droite, zoom sur le Gandiolais, dont la partie nord est en face de la brèche, et dont le littoral est désormais exposé à la pleine mer (cartes réalisées sur images Google Earth®)

contre, on assiste peut être à une stabilisation de la situation, avec une flèche en progradation du fait qu'elle est alimentée par la dérive littorale venant du nord.

Autrefois simple rive gauche du fleuve Sénégal, Le Gandiolais est à présent exposé directement aux houles et courants de l'Atlantique. On y observe deux évolutions inquiétantes :

- Une érosion côtière très forte ces dernières années. Le littoral est très attaqué. À présent que la brèche s'ouvre chaque fois plus vers le sud, et en plus des villages emportés (voir figure 155a, et localisation figure 161), c'est aujourd'hui la région de Gandiol qui est menacée ; ainsi le phare et le village de Pilote Barre étaient fortement menacés en fin 2015 (figure 162a) ; une opération de recharge en sable menée début 2016 semble avoir sauvé le site (photo du bas, figure 162b).
- Il s'y ajoute la salinisation inquiétante de la nappe phréatique, à présent exposée depuis 2003, au biseau salé du fait de son contact direct avec l'océan. Cela a entraîné le déclin de bon nombre de cultures. En effet, le Gandiolais s'est spécialisé dans l'horticulture depuis quelques décennies, une activité extrêmement intense et demandeuse en main d'œuvre, qui permet d'utiliser au mieux des terroirs fragiles et autrefois bien pauvres. Cette activité a donné un coup de fouet à cette région. Mais l'ouverture de la brèche a peu a peu stérilisé la zone nord de ce périmètre maraîcher (figure 15) (Niang, 2017).



Figure 162 – La situation du phare de Pilote Barre. À gauche, mur de protection du phare de Gandiol, au village de Pilote Barre, attaqué par la houle (mars 2015) : les filaos en arrière du mur sont déjà en grande partie déchaussés. À droite, des travaux de remblaiement effectués par la Direction de l'Environnement du Sénégal ont heureusement, début 2016, permis de protéger ce site et le village (photo prise en mai 2016, après ces travaux)



Figure 163 – L'effet de la langue salée. À gauche, anciens champs abandonnés du fait de la salinisation à Keur Dièye au nord du Gandiolais. À droite, champ de carottes entre Gabar et Potou, dans le sud du Gandiolais, zone non touchée par la salinisation

Cette situation est d'autant plus regrettable que le périmètre, situé au nord des Niayes, est un exemple réussi de l'intensification souhaitée des activités rurales en zone sahélienne ; il répond de plus à une très forte demande du marché sénégalais en légumes, en particulier l'oignon qui est importé par dizaines de milliers de tonnes chaque année.

Ce périmètre utilise des sols sableux (on est sur des dunes) très pauvres, et deux « intrants » parfaitement naturels : l'eau de la nappe, peu profonde (2-5 m), dont la salinité est suffisamment faible pour permettre ces cultures, et le fumier de mouton, collecté à l'échelle régionale et jusque Touba à plus de 80 km à l'intérieur des terres, et qui fait l'objet d'un commerce lucratif. Là où l'eau était traditionnellement la plus salée, près du fleuve (estuaire salé l'essentiel de l'année), on pratiquait exclusivement la culture de l'oignon. Là où la salinité est la plus basse (vers le sud), d'autres spéculations sont possibles telles la carotte, le navet et la tomate, entre autres.

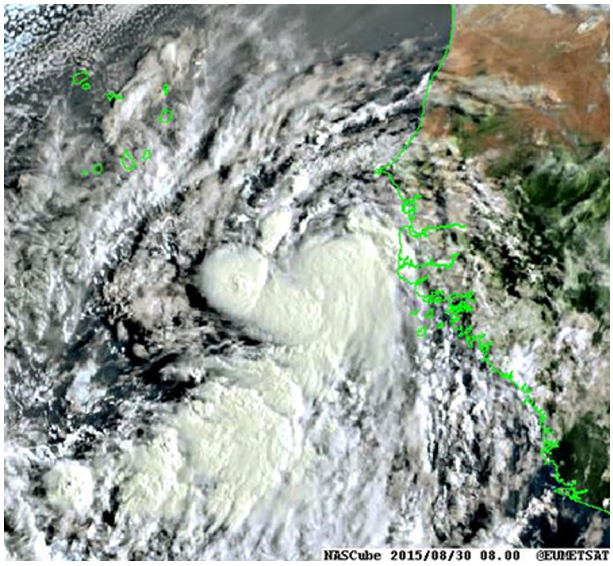


FIGURE 164 – Cyclone des 29-30 août 2015 ; situation le 30/08 à 8 :00 TU : on voit bien le vortex remontant sud-nord le long du littoral bissau-guinéen (source : EUMETSAT)

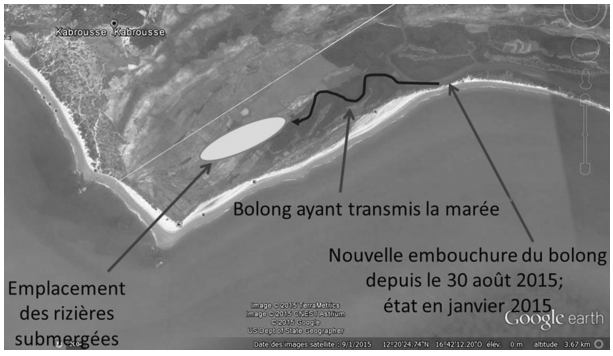


FIGURE 165 – Village et rizières de Cabrousse : zone submergée le 30 août 2015 (taille de l'image : 5 km d'ouest en est, 2,5 km du nord au sud)

Le grand nombre de puits (figure 163) permet une culture qui relève d'un système de type oasien avec l'eau collectée dans le puits directement portée par arrosoir dans la micro parcelle (moins de 1 m^2) ; le fumier également est disposé dans les planches, enrichissant un sol squelettique. L'avantage du sol sableux est ici évident : aucun risque d'accumulation du sel du fait d'un très bon drainage. Par contre, ces dernières années, la multiplication des moto-pompes menace directement les nappes, en quantité et aussi en qualité car l'appel au vide pourrait faire pénétrer le coin salé ; de plus l'usage de pesticides de plus en plus intensif et incontrôlé menace fortement la qualité de l'eau, très utilisée pour les besoins domestiques.



FIGURE 166 – Les rizières de Cabrousse submergées, brulées par le sel, 15 jours après la tempête. À droite, mesures de la salinité de l'eau résiduelle quelques jours après

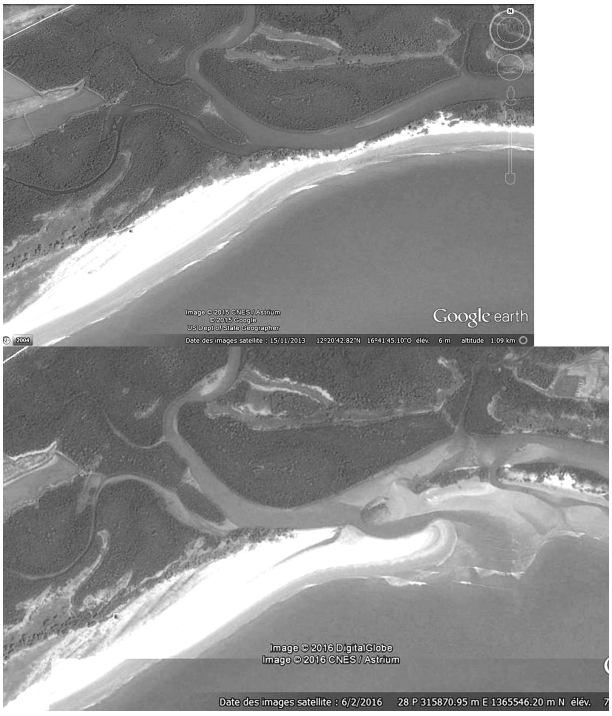


FIGURE 167 – Le littoral au sud de Cabrousse, avant (janvier 2015, en haut) et après (janvier 2016, en bas) la tempête de fin août 2015 (Google Earth® – taille de l'image : 1.5 km d'est en ouest, 600 m du nord au sud)

3.2 Une activité cyclonique nouvelle

Des cyclones se produisent à présent de plus en plus près des côtes africaines. Pour la première fois les 29 et 30 août 2015, un cyclone, le cyclone Fred s'est développé dès l'arrivée de la ligne de grains sur l'Atlantique (figure 164) ; cela a provoqué de fortes tempêtes au large du Sénégal et de la Guinée Bissau ; la nuit du 29 au 30 août, une

onde d'eau de mer s'est engouffrée dans un bolong et a submergé la partie la plus basse de sa vallée dans les rizières de Cabrousse, à la frontière de la Guinée Bissau (figures 165 et 166).

Cette tempête a déplacé de plusieurs centaines de mètres l'embouchure du bolong débauchant dans la baie située au sud de Cabrouse en territoire bissau-guinéen. Les images fournies par Google Earth permettent de mesurer l'impact de cette tempête sur le littoral (figure 167).

Conclusion

Ce sont des images d'équipements touristiques emportés par les flots que l'on médiatise le plus, mais ce sont bien sûr les populations locales, bien plus que les vacanciers, qui sont touchées au premier chef et constituent les premières victimes des dérèglements climatiques ; les Maldives et certains atolls du pacifique sont menacés dès aujourd'hui, ainsi que l'essentiel du Bangladesh ou certains littoraux d'Europe (Pays Bas, Camargue).

L'Afrique de l'Ouest est caractérisée par l'intrusion du fait littoral jusque très loin à l'intérieur des terres (plusieurs centaines de kilomètres en Casamance ou en Gambie par ex). Outre l'érosion côtière, on observe de plus en plus une salinisation des sols et des eaux des zones littorales, qui compromet l'avenir d'activités économiques intensives (riziculture, pêcheries, aquaculture, activités de transformation de produits de la pêche, tourisme). Si la cyclogénèse se développe plus vite sur l'Atlantique Est dès l'arrivée des lignes de grains sur l'océan, il faut prévoir un risque accru de submersions des zones littorales ouest-africaines.

La recherche doit se pencher sur les moyens d'améliorer la résilience des milieux et des sociétés des régions littorales, souvent les plus peuplées de la planète.

En résumé :

- ↪ Les littoraux ouest africains sont très riches au niveau écosystémique, et ont donné lieu en particulier dans les zones de mangrove à de dynamiques agrosystèmes, souvent en crise ces dernières décennies ; mais une grande partie de leur faiblesse provient du départ des jeunes et du manque de main d'œuvre conséquent.
- ↪ Les zones littorales sont par ailleurs touchées doublement par un effet du changement climatique : la remontée du niveau océanique provoque salinisation des basses terres (mangrove, rizières inondées) et érosion côtière.
- ↪ Villages de pêcheurs et équipements touristiques, voire périmètres irrigués sont touchés par ce processus, qui parfois est exacerbé par des actions humaines imprudentes.

Encart 6 – Les estuaires inverses

Les grands fleuves ouest-africains ont de grands estuaires et deltas donnant au littoral son aspect festonné et l'alimentant d'appréciables apports en eaux douces et en sédiments. Leurs écoulements, issus en grande partie des montagnes de la zone géoclimatique dite « guinéenne », ont été très influencés dans les cent dernières années par les périodes de pluviométrie excédentaires (1950-1967) ou déficitaires (1968-1998). Mais ils constituent des organismes pérennes qui ont un rôle hydrographique comme socio-économique primordial dans la sous-région. Les cours d'eau purement soudaniens ont un comportement très différent. Ils sont indigents et apportent l'essentiel du temps des volumes d'eau douce très faibles à leur estuaire respectif. Parmi eux, le Saloum et la Casamance ont été anciennement distingués comme des estuaires « inverses » car la salinité y augmente, l'essentiel de l'année, de l'aval vers l'amont, contrairement aux cours d'eau principaux ou littoraux. Par ailleurs, ces cours d'eau ont été très affectés par la grande sécheresse ; ils sont marqués par une réduction des réserves en eau de leur bassin et des apports d'eau continentaux. Le fonctionnement « inverse » de ces estuaires a été exacerbé durant cette période, puisqu'on a observé, plusieurs années de suite, le tarissement des rivières, la sévérité et la précocité des étiages ce qui est propice à l'intrusion profonde des eaux marines. Pagès et Citeau (1990) montrent dans leur étude sur le Saloum que cet estuaire a toujours eu un fonctionnement inverse ; c'est le cas aussi de la Casamance, même si les apports d'eau douce permanents hors période de sécheresse prononcée, font que le point de salinité maximale est à 10-20 km en aval du fond de l'estuaire en fin de saison sèche, et se déplace de 25 à 50 km en aval en fin de saison des pluies (ainsi que sur son principal affluent le Soungrougrou).

La salinité est mesurée depuis juin 2016 sur une dizaine de points de chacun de ces estuaires, deux fois par an, à la fin de la saison sèche et à la fin de la saison des pluies, afin d'en comprendre le fonctionnement et l'évolution (figure 168). Les mesures sont effectuées au réfractomètre, et quand c'est possible, confirmées par des mesures au conductimètre électrique.

Les mesures effectuées sur deux années complètes permettent de suivre les causes de dilution, avec une différence entre la Casamance, où un écoulement d'eau douce perdure presque toute l'année, et le Saloum où les écoulements sont plus que sporadiques, le fleuve ne coulant que quelques jours par an. Il est confirmé ce que décrivent les sédimentologues et spécialistes de la mangrove depuis des décennies : l'élévation du niveau de la mer et tout ce qui facilite l'entrée de l'eau de mer dans les estuaires et les « bolons » entraîne une diminution relative de la salinité dans leurs eaux, entraînant comme conséquence une reconquête très rapide de la mangrove sur les secteurs hypersalins où elle avait été détruite au cours de la sécheresse des années 1968-1998. Le caractère inverse perdure toute l'année, même si durant quelques jours dans le Saloum, durant deux ou trois mois en Casamance, l'eau douce repousse de quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres le point de salure maximale des estuaires.

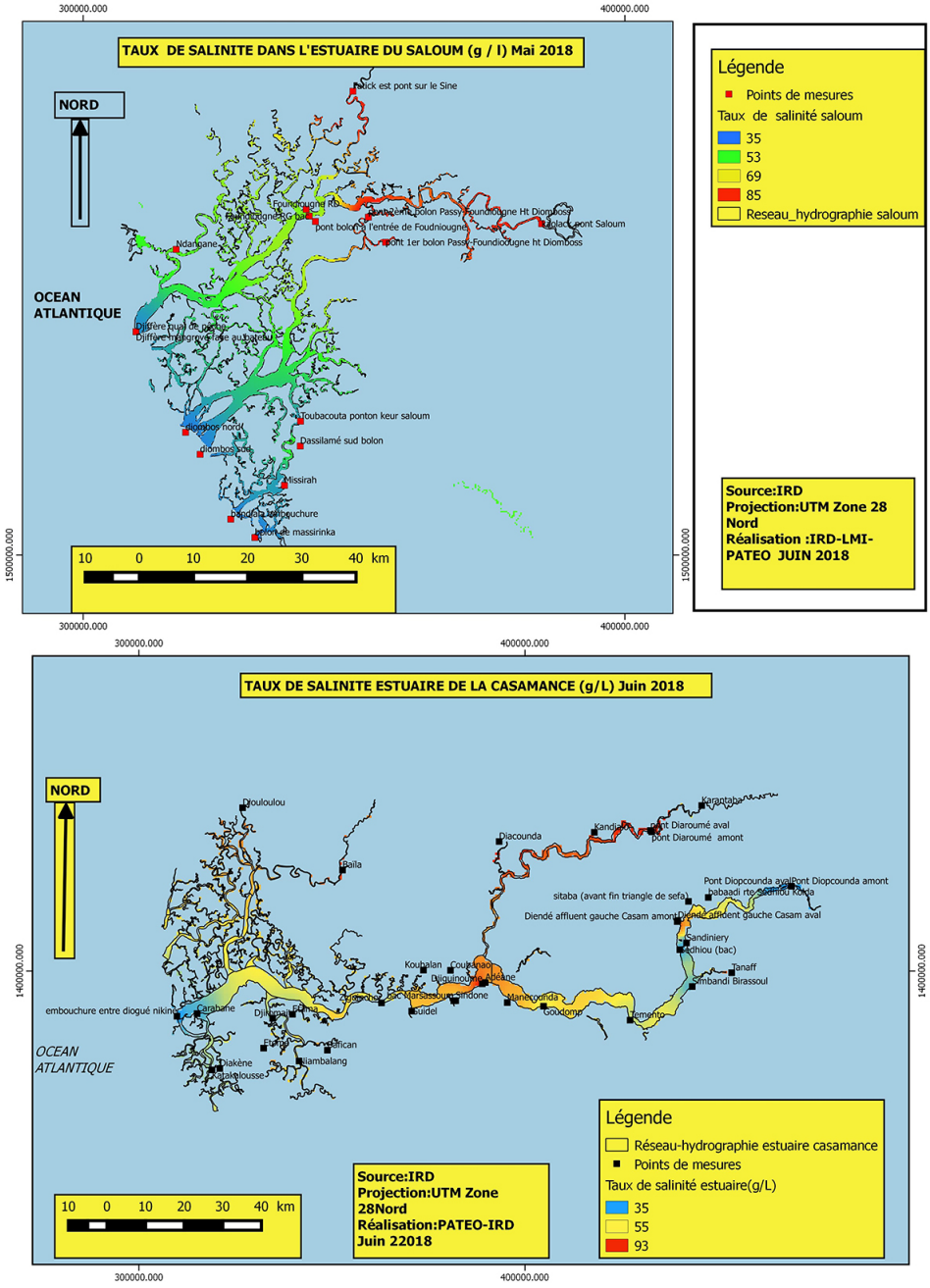


FIGURE 168 – La salinité dans les estuaires inverses en juin, juste avant l'hivernage 2018. 168a : le Saloum ; 168b : la Casamance

Le fonctionnement des estuaires inverses est connu au moins depuis les mesures réalisées par l'Orstom dans les années 1960 (Marius, 1985 ; Barusseau *et al.*, 1986 ; Pagès et Citeau, 1990 ; Diop, 1990). Les mesures récentes permettent de constater que le fonctionnement est le même pour les années récentes que avant la période de déficit pluviométrique. La phase de sécheresse avait exacerbé ce processus du fait de la disparition totale (Saloum) ou presque totale (Casamance) des écoulements d'eau douce. Depuis 1999 et le retour aux valeurs pluviométriques moyennes, l'augmentation progressive des apports d'eau douce ne suffit pas à compenser le caractère inverse de ces deux grands estuaires soudaniens. Elle se traduit par un déplacement, en fin de saison des pluies, de quelques dizaines de kilomètres vers l'aval du point de salinité maximale, par rapport à la fin de saison sèche où il se situe complètement à l'amont ; cela corrobore les mesures et observations antérieures.

Tableau 14 – Salinité mesurée dans les estuaires du Saloum et de la Casamance en juin (fin de saison sèche) et en décembre (fin de saison des pluies) 2017 (*en italique : nom des cours d'eau et affluents*)

SALOUM 2017	**Distance de l'océan km**	**Salinité juin ‰**	**Salinité dec. ‰**	**CASAMANCE 2017**	**Distance de l'océan km**	**Salinité juin ‰**	**Salinité dec. ‰**
Djifère Mer	0	37	36	Niikine	0	37	35
Djifère Saloum	2	42	42	Karabane	5	41	36
Foundiougne	47	60	48	Ziguinchor	71	51	30
Kaolack	120	99	85	Adeane (conf)	102	52	32
Bolon de Djilor				*Soungrougrou*			
Ndangane	25	51	52	Marsassoum	122	65	44
Sine				Kandialo	159	75	58
Fatick	82	+100	+100	Diaroumé	190	56	27
Bandiala				*Casamance*			
Missirah	15	44	35	Goudomp	120	55	30
Toubacouta	28	45	35	Temento	147	43	19
Diomboss				Sedhiou	178	35	10
Sokone	48	62	40	Karantaba	197	30	10
Ht Diomboss	70	+100	90	Diopcounda	225	21	5

Encart 7 – Salinisation des nappes littorales

Les «Rivières du Sud» sont des deltas et estuaires profonds, occupés majoritairement par des mangroves, des rizières et des terrains nus souvent acides ou salés appelés localement des «tannes». Les populations des îles et de ces zones côtières très plates y trouvent en général de l'eau douce à faible profondeur ; mais ces ressources sont mal connues et fragiles, facilement soumises à la salinisation, du fait de la faible altitude. Il est donc important de connaître le fonctionnement de ces nappes, afin de pouvoir déterminer l'impact du changement climatique et des activités anthropiques sur leur qualité et leur disponibilité. Il est primordial de veiller à ce que l'élévation du niveau océanique, les prélèvements des activités touristiques, les périmètres irrigués, même de petite taille, ne menacent pas leur pérennité. On retrouve la même problématique dans le Gandiolais (partie du delta du Sénégal), qui souffre d'une salinisation liée aux politiques publiques (Niang, 2017 ; Senghor *et al.*, 2017).

Les trois grandes embouchures du Sénégal, plus celle de la Gambie, constituent un ensemble important de zones amphibies qui fait de la Sénégambie une zone sahélienne dans laquelle la terre et l'eau sont intimement liées ; il s'agit essentiellement d'eaux salées, mais même les îles les plus petites, les cordons de sables les plus étroits, disposent de lentilles d'eau douce ; leur inventaire est un travail de longue haleine tant le tracé du littoral est festonné et mouvant. Les deux estuaires complètement sénégalais (Saloum et Casamance) sont, de plus, des estuaires inverses : la salinité y augmente vers l'amont et l'intérieur du continent, contrairement aux estuaires «communs», signe d'une grande indigence des apports d'eau douce continentale.

Un inventaire de la qualité des eaux de nappe a été établi (Senghor, 2017) qui pourra dans de nombreux cas servir de point de départ dans les nombreux sites où celle-ci n'avait jamais été échantillonnée.

La salinité des eaux souterraines est fréquente et naturelle dans les zones littorales. Mais la présence d'habitats permanents témoigne de l'existence de lentilles d'eau douce même dans les îles de petite taille. On a assisté durant les années de sécheresse (1968-1998) à une raréfaction des eaux douces des zones littorales, du fait de l'entrée du coin salé dans les terres, facilité du fait du déficit d'eaux douces d'origine continentale. Depuis que la pluviométrie est revenue à son niveau moyen, la salinisation (figures) des nappes peut avoir trois causes principales :

1. Une cause « naturelle », l'élévation du niveau océanique, qui accroît la pression de l'eau salée sur les nappes, permettant l'entrée du coin salé.
2. Les politiques publiques, qui encouragent l'installation d'équipements touristiques, miniers ou industriels hydro-voraces ; dans le delta du Sénégal, plus au Nord, la rupture de la Langue de Barbarie (delta du Sénégal, 2003) donne un exemple de conséquence néfaste d'une politique publique. Mais dans ce dernier cas, il est important de mettre en parallèle les dégâts cau-

sés par la salinisation de la nappe au maraîchage, avec les dégâts épargnés à la ville de Saint Louis lors de la crue de fin octobre 2003, le canal creusé ayant rapproché l'embouchure du fleuve d'une trentaine de kilomètres de la ville, abaissant ainsi la ligne d'eau de plusieurs dizaines de centimètres.

3. En Basse Casamance, on remarque que les secteurs où la riziculture se maintient le mieux sont ceux qui ont été les plus touchés par la salinisation durant la sécheresse aiguë des années 1972-1985, démontrant que celle-ci ne peut plus servir de prétexte à l'abandon. Ailleurs, de nombreux équipements anti-sel sont à l'abandon alors qu'une journée de travail pour une petite équipe suffirait à les restaurer ; pire, de nombreux équipements n'ont pas été achevés, la part revenant aux villageois n'étant pas construite alors que l'apport des ONG ou administrations a été fait ; la preuve même d'équipements bâtis sans aucun souci des besoins des populations, sans aucune optique participative. Ces communautés ont parfois été habituées à être « salariées » pour réaliser des travaux qu'elles réalisaient depuis des siècles ou des millénaires : exactement ce qu'il faut faire pour rendre dépendantes les communautés rurales, au lieu de les aider à acquérir l'autonomie et l'autosuffisance ; c'est l'immense gâchis des politiques publiques depuis bien avant la décolonisation (d'ailleurs toute relative) acquise lors des indépendances ; au niveau de l'économie des communautés rurales, celles-ci sont bien plus dépendantes qu'au moment de l'Indépendance et qu'au début de la décolonisation. Les travaux menés avec le Grdr en Basse Casamance (projet PGCEL sur la gouvernance des littoraux, financé par l'AFD) ont produit cinq mémoires de Master 2 : tous montrent que c'est la déprise rurale et l'abandon de travaux menés depuis au moins 1500 ans sur le savoir local, qui fait revenir le sel dans les casiers rizicoles. La déprise avait du reste commencé avant la sécheresse, comme en témoignent Dresch dès 1949 et Pélissier en 1966 en Basse Casamance. La nature reprend ses droits et les polders séculaires reviennent à la mangrove, rarement à la mer. Seules les communautés rurales où on a dit non à la dépendance (Entente de Diouloulou, et, depuis peu, certains villages des Kalounayes, et une partie de Diembering), voient se maintenir ou progresser leur production de riz.

Le seul secteur côtier où la salinité pose un gros problème aux populations est celui du Nord Saloum, entre Joal et Ndangane (figures 169 et 170) ; c'est ce secteur qui est en cours de desserte en eau douce par le programme Notto-Diosmone-Palmarin visant à apporter l'eau potable des nappes du Cap Vert et des Niayes (à terme, celle du fleuve Sénégal) vers le bas Saloum et les îles du Saloum. Ailleurs, les villages ont conservé leurs lentilles d'eau douce, qui ne sont pas menacées tant qu'un facteur de surconsommation (hôtel, motopompe, etc.) n'est pas installé (figure 171).

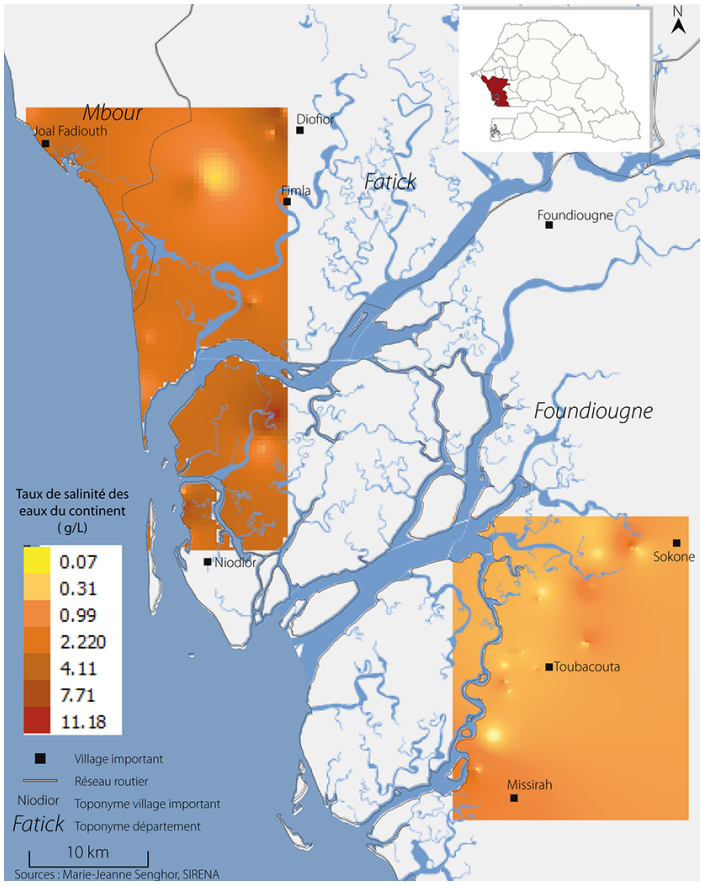


Figure 169 – Salinité de la nappe dans le Saloum



Figure 170 – Mesure de la profondeur d'un puits à Palmarin (Saloum)

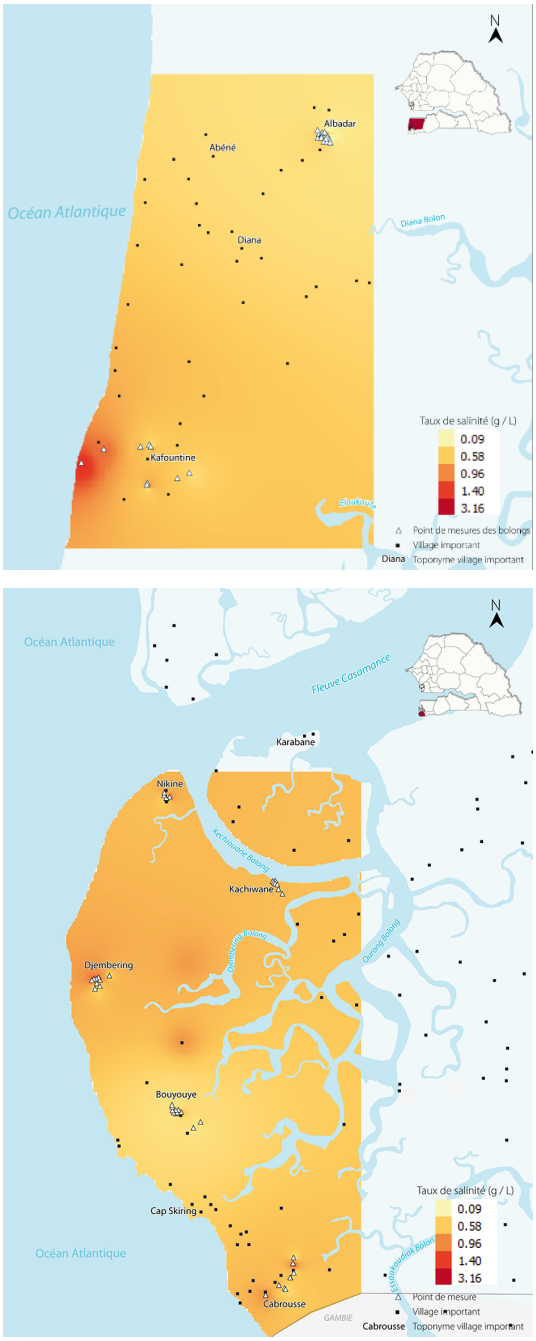


FIGURE 171 – Salinité de la nappe phréatique en basse Casamance. À gauche, au nord, le secteur de Kafountine-Kataba 1. À droite, au sud, la commune de Diembering

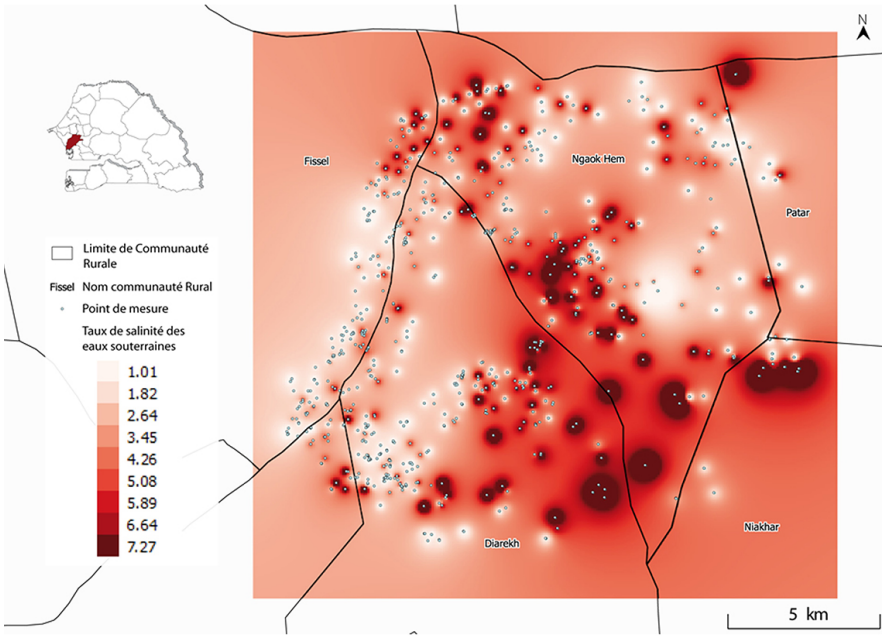


FIGURE 172 – Salinité de la nappe du Continental Terminal dans le secteur de Niakhar

Par contre, plus à l'intérieur des terres, le sud de l'ex-bassin arachidier sénégalais connaît un grave problème de salinité des eaux de la nappe du Continental Terminal. Sans que l'on sache pour l'heure s'il y a salinisation, ou simplement accroissement de la demande dans un secteur d'eau salée, des recherches sont en cours pour étudier les origines de ce phénomène : salinité fossile, salinisation par le lessivage et infiltration sous les mares, de plus en plus nombreuses depuis le retour des pluies, ou pénétration du coin salé (figure 172) ?