

## Le delta du fleuve Sénégal: une gestion de l'eau dans l'incertitude chronique

*M. Mietton\**, *D. Dumas\*\**, *O. Hamerlynck\*\*\**, *A. Kane\*\*\*\**, *A. Coly\*\*\*\*\**,  
*S. Duvail\*\*\*\*\**, *M. L. O. Baba\*\*\*\*\**, *M. Daddah\*\*\*\*\**

L'incertitude peut être définie comme l'état de ce qui n'est pas déterminé, fixé, et par extension comme le doute vis à vis d'un avenir inconnu. Souvent teintée d'inquiétude, cette préoccupation est inhérente au mode de vie des populations sahéliennes puisque la variabilité interannuelle des pluies, qui commandent les ressources agricole et pastorale, est la règle. Comme telle, elle a déterminé toutefois dans ces sociétés des stratégies de défense, d'adaptation, patiemment mises en place au long de l'histoire, propres à limiter le risque climatique. Par ailleurs, cette incertitude liée à différents paramètres successifs (date de début des pluies efficaces, épisodes secs au sein de la saison pluvieuse, durée) s'inscrit dans un cadre temporel cerné, saisonnier. L'incertitude est en quelque sorte « normale », attendue et comprise. Attendue également mais moins bien comprise est celle vécue par tous ceux qui dépendent d'une ressource en eau fluviale, dont la production résulte de conditions climatiques dans un amont lointain, peu ou pas connu. Une même incertitude climatique présente en outre des degrés plus ou moins contraignants : une sécheresse accusée, répétée durant plusieurs années, n'est plus supportable et n'apparaît plus aujourd'hui acceptable. Dès lors, il est tentant pour nos sociétés techniques d'appliquer à ce mal chronique un remède tel que le barrage. Cela a été le cas dans le bassin du fleuve Sénégal avec la construction des deux

---

\* Centre de recherche en Géographie et Aménagement, UMR 5600, Université Jean-Moulin Lyon 3, 18 rue Chevreul, 69362 Lyon cedex 07, France

\*\* Institut de Géographie alpine, Université J. Fourier Grenoble 1, 14bis avenue Marie-Reynoard, 38100 Grenoble, France

\*\*\* Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Crowmarsh Gifford, Oxfordshire, UK.

\*\*\*\* Université Cheik Anta Diop, Département de Géographie, BP 5005 Dakar Fann, Sénégal

\*\*\*\*\* Université Gaston Berger, Section de Géographie, Saint-Louis, Sénégal

\*\*\*\*\* IRD, UR 169, IFRA, PO Box 58480, Nairobi, Kenya

\*\*\*\*\* UICN Mauritanie, BP 41167, Nouakchott, Mauritanie

\*\*\*\*\* Parc National du Diawling, Mauritanie

ouvrages de Diama (1985) et de Manantali (1988), à la fin d'une longue période de sécheresse de vingt années. De nouveaux « désordres » apparaissent toutefois liés à des tâtonnements successifs dans la gestion des ouvrages hydrauliques ainsi qu'à des impacts négatifs pour lesquels les solutions de compensation, d'atténuation n'avaient pas été prévues en tant que telles ou dans leur financement. Enfin, en octobre 2003, une inondation dans la ville de St Louis a provoqué le recours à une intervention bénéfique dans l'instant mais désormais redoutable: le percement artificiel de la langue de Barbarie, accompagné d'une forte intrusion marine dans le bas estuaire. Ainsi les incertitudes changent de nature, l'homme n'apparaissant pas tout à fait maître des outils ou des solutions qu'il se donne. Les scientifiques eux-mêmes ont peu de certitude, s'interrogeant sur de possibles effets de seuil, sur les temps de réponse de tel ou tel paramètre. Les adaptations répétées nécessaires pour les acteurs vivant au plus près du fleuve provoquent lassitude, désillusion ou pour le moins des difficultés économiques dans le cadre de modes de production nouveaux.

### **Les barrages ou de nouvelles incertitudes**

Le contexte d'avant-barrages n'est en aucun cas à idéaliser. Le milieu naturel oppose alors à un développement durable des contraintes graves: une grande variabilité climatique (grands écarts de pluviosité, et dans l'ampleur, la hauteur et la durée de la crue), une fragilité des sols vis-à-vis de la salinisation (remontées de la nappe phréatique salée dans les terres du delta et du biseau salé dans le fleuve), une difficile maîtrise de l'eau à cause de la platitude du relief et la nécessité d'ouvrages complexes et coûteux pour assurer aussi bien la protection contre les inondations que l'apport des eaux d'irrigation ou l'évacuation des eaux de drainage.

Mais ce contexte devient incontestablement plus préoccupant durant les deux décennies 70 et 80, où toute l'Afrique de l'Ouest est affectée par la sécheresse. Le tracé des isohyètes moyennes décennales en atteste (Puech, 1983, Albergel *et al.*, 1984), l'isohyète 900 mm se repliant de près de deux degrés sur certains méridiens. Dans la zone soudano-sahélienne, la péjoration est sévère pour les écoulements du fleuve Sénégal, dont le débit moyen annuel, à Bakel, baisse de 75 % en moyenne entre 1970 et 1990, et de 50 % pour la seule décennie 80 (Mahé, Olivry, 1995). Ce contexte de grande incertitude pour les gouvernants et de sensibilisation internationale aide à comprendre la mise en place en mars 1972 d'un organisme tripartite, l'Office de Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), dont la volonté politique transnationale dépasse alors les particularismes ou oppositions habituels.

### *Des objectifs ambitieux, des résultats mitigés*

L'OMVS se fixe pour objectif prioritaire de réduire la dépendance alimentaire, des trois pays concernés, par la création de 375 000 ha de surfaces irriguées : 240 000 ha au Sénégal, 126 000 ha en Mauritanie et 9 000 ha au Mali. La productivité annuelle de ces aménagements hydro-agricoles est prévue à 12 tonnes par hectare, couplée à un taux de croissance du secteur agricole de 10 % par an. À cette fin, deux barrages sont construits : celui de Diama, à l'aval, mis en chantier en 1981 et achevé en 1985, dont l'objectif est d'arrêter la remontée du biseau salé dans la vallée du Sénégal, celui de Manantali, en amont, mis en chantier en 1982 et achevé en 1988, dont la retenue, d'un volume de 12 km<sup>3</sup>, a pour fonctions principales de satisfaire les besoins en eau des surfaces irriguées et d'alimenter en électricité les trois capitales, dont la démographie explose, avec la création d'une centrale hydroélectrique pouvant produire plus de 800 Gwh par an. Dans la mesure, où le barrage de Manantali offre la possibilité de soutenir les étiages en saison sèche, on affiche également une volonté de développer la navigation fluviale tout au long de l'année, de Saint-Louis jusqu'à Kayes au Mali. Cette transformation de la vallée, imaginée dans les années 70, réalisée à la fin des années 80, suppose alors implicitement de réussir le passage d'une économie saisonnière de prélèvement et d'agriculture extensive, à une agriculture intensive et pérenne, dont la rentabilité à ce jour aurait été, dès le départ, surestimée (Engelhard, 1991 ; Duvail, 2001).

Le bilan peut être apprécié d'abord de façon macroéconomique, par comparaison des résultats avec les objectifs initiaux dans les trois domaines habituels : irrigation, production hydroélectrique, navigation.

- L'agriculture irriguée, avec 125 000 ha actuellement aménagés en grands périmètres, se développe nettement moins vite que prévu. Sur chacun d'entre eux, les surfaces aménagées sont encore loin d'être cultivées intégralement. À l'échelle de la parcelle, les rendements s'affaissent très vite pour ne pas dépasser 4 tonnes par hectare en moyenne au bout de la 3<sup>e</sup> année.
- La production hydroélectrique représente un objectif atteint depuis la fin de l'année 2002. L'alimentation des trois capitales est assurée. Ce bénéfice à l'échelle des pays concernés est loin d'être négligeable. Pour qui a connu Bamako par exemple dans les années 80 et compare avec la situation actuelle, les conditions de vie et de production ont favorablement évolué. Toutefois, cette production, dont le seuil de rentabilité économique est évalué à 800 GWh/an, est soumise à des contraintes nouvelles liées à la conciliation entre objectifs plus ou moins contradictoires. La réserve de Manantali est en effet sollicitée pour produire de l'hydroélectricité mais aussi pour soutenir les faibles crues et les

cultures de décrue et aussi les débits d'étiage et les cultures irriguées (Bader *et al.* 2003). L'intérêt de l'agriculture extensive de décrue, dont les rendements sont faibles (1 tonne/ha/an), avait été manifestement sous-estimé. Alors qu'elle devait être maintenue de manière transitoire, il s'avère qu'elle reste encore indispensable pour les populations de la basse vallée. Mais, d'une part, les plus forts débits lâchés à Manantali, opérés pour soutenir la crue naturelle, ne peuvent être totalement turbinés et, d'autre part, ces volumes d'eau évacués diminuent le potentiel d'eau d'irrigation.

- L'amélioration de la navigabilité du fleuve jusqu'au Mali n'est pas effective. Pouvait-elle l'être d'ailleurs ? Elle aurait nécessité des améliorations dans le calibrage du lit et donc des financements lourds, d'autant plus improbables que les échanges entre le Mali et l'océan ne sont pas orientés sur St Louis qui manque de véritables infrastructures portuaires. L'arrivée récente à St Louis du célèbre *Bou-el-Mogdad*, reconverti en bateau de croisière promenant les touristes jusqu'à Richard Toll ou Podor, relève de l'anecdote et ne change rien au caractère illusoire de cet objectif.

### **D'autres impacts d'une gravité inattendue**

Au-delà de ce bilan en demi-teinte, il faut surtout souligner l'émergence de difficultés nouvelles, tant écologiques que socio-économiques et sanitaires, jouant souvent en interrelation ou par « synergie d'impacts » (Blanchon, 2003).

L'une des difficultés majeures, soulignée par tous les acteurs, est la multiplication des espèces envahissantes, elle-même liée à la permanence de l'eau douce en amont de Diama. Si la prolifération de *Salvinia molesta* (fougère d'eau) et *Pistia stratiotes* (laitue d'eau) semble aujourd'hui maîtrisée, celle de *Typha australis* est toujours plus préoccupante. La lutte biologique n'est pas encore au point, l'enlèvement mécanique suppose des efforts physiques et financiers considérables et pourtant dérisoires face à une diffusion incontrôlable des graines par le vent. Cette infestation est très préjudiciable sur le plan de l'accès à l'eau et de la circulation (pêcheurs en particulier), de l'écoulement hydraulique (effet de frein dans les canaux, les défluent et sédimentation) (Philippe *et al.*, 1998), du rôle d'abri ou de nidification pour des espèces animales elles-mêmes redoutables (notamment les oiseaux mange-mil, *Quelea quelea*, granivores). Dans les bassins de rive mauritanienne, on en vient à imaginer qu'il faille supprimer la crue artificielle de contre-saison – alors même que c'est là l'illustration la plus accomplie d'une complète maîtrise hydraulique des eaux du fleuve – pour ne pas multiplier leur diffusion... La faisabilité économique et financière d'une nouvelle filière offrant différentes possibilités de valorisation (carbo-nisation, biométhanisation, vannerie, construction et alimentation du bétail) est encore à établir. Outre qu'elle offrirait de nombreux emplois, elle consti-

tuerait probablement le plus sûr moyen de contrôler l'extension de cette espèce (Theuerkorn *et al.*, 2005).

Cette modification des conditions hydrologiques, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif (permanence de lignes d'eau et multiplication des surfaces en eau), joue certainement aussi dans l'émergence de nouveaux problèmes sanitaires. Mais les relations sont là très incertaines, doivent être appréciées avec beaucoup de prudence. « La relation entre la présence d'hôtes intermédiaires ou de vecteurs et la maladie (bilharzioses, paludisme) n'est ni immédiate, ni obligatoire. De même, la liaison périmètres irrigués-apparition des hôtes intermédiaires et des vecteurs ne survient pas nécessairement » (P. Handschumacher, in Philippe *et al.*, 1998, p. 398). L'auteur montre bien en particulier que l'épidémie de bilharziose intestinale de Richard Toll, en complète discordance géographique avec la répartition habituelle en Afrique de l'Ouest de *Schistosoma mansoni*, a pu se développer dans un milieu écologique nouveau, caractérisé par la permanence de l'eau douce, la régularisation des niveaux d'eau dans le lac de Guiers et les canaux principaux des champs de canne à sucre, pouvant créer une stabilisation des températures. Mais cela ne peut suffire ; le cycle de transmission n'est « bouclé » que par infestation des hôtes intermédiaires et celle-ci ne peut se faire que par des individus malades, originaires d'une zone d'endémicité Or, Richard Toll, ville de plantation, a attiré une main d'œuvre nombreuse, en partie extérieure à la région (sud du pays). Le barrage anti-sel de Diama ne peut donc être strictement impliqué dans la diffusion de la maladie. Il l'est, il est vrai, indirectement en ce sens que la disponibilité renforcée d'eau d'irrigation a aussi favorisé l'extension des périmètres sucriers et le recours à une main d'œuvre plus nombreuse !

C'est probablement sur ce plan socio-économique que les perturbations sont spatialement le plus marquées et aussi le plus durablement préoccupantes. Le barrage de Diama constitue comme tout autre barrage une frontière. Mais ici, dans le cas d'un ouvrage anti-sel proche de l'océan, la ligne de démarcation est encore plus forte entre deux segments hydrographiques, différents entre amont et aval du point de vue de la qualité de l'eau et de leur dynamique d'écoulement. La pêche artisanale, avec une production annuelle qui est passée, estime-t-on, de 30 KT à 8 KT a évidemment beaucoup souffert de cette rupture (Bouso, 1997). La baisse des stocks des ressources halieutiques, en quantité et en qualité, est liée à la modification des caractères hydrodynamiques de l'estuaire et notamment la réduction du phénomène « d'effet de chasse ». Il est peu probable qu'une passe à poissons au niveau de Diama aurait pu limiter ce bouleversement.

Dans les circonstances actuelles et même si des efforts ont été faits, le développement et sa durabilité ne semblent pas davantage garantis qu'il y a dix ans lors de nos travaux dans le cadre du projet CNRS PIR EVS, relatif à « la transformation des hydrosystèmes en aval des grands barrages (le

delta du fleuve Sénégal) ». Les terres restent fragiles à cause des processus de salinisation. On sait que la protection contre ce risque exige un réseau de drainage bien conçu, à double fonction : d'une part, maintenir à un niveau suffisamment profond (au moins 70 cm) le toit de la nappe salée afin d'éviter un contact hydraulique entre cette dernière et la lame d'eau recouvrant la rizière ; d'autre part, évacuer complètement, à certaines périodes, cette lame d'eau afin d'éviter que les parcelles ne fonctionnent comme des bassins de concentration des sels dissous dans l'eau d'irrigation. Les problèmes ne sont pas seulement d'ordre quantitatif mais qualitatif avec les eaux usées, chargées de pesticides, d'herbicides, que l'on ne sait où évacuer (Mietton *et al.*, 1991 ; Humbert *et al.*, 1995) car si l'étude d'impact prévoyait bien la construction d'un canal-émissaire, son financement n'en était pas prévu et à ce jour il est encore incomplet. En pratique, le drainage est trop souvent absent, mal réalisé ou mal entretenu, entraînant la salinisation de périmètres qui doivent être abandonnés. Le « modèle » sénégalais s'apparente ainsi à une « riziculture itinérante » si l'on rapproche – suivant cette jolie formule de F. Pesneaud (1996) – ces deux termes normalement exclusifs l'un de l'autre ! L'instabilité chronique de la riziculture sénégalaise semble s'expliquer par plusieurs facteurs, dont le principal est d'ordre hydraulique. Mauvaise maîtrise du drainage mais aussi difficulté à contrôler l'horizontalité des parcelles, par ailleurs trop grandes en l'absence d'une agriculture suffisamment mécanisée. Une réhabilitation des périmètres s'impose à courte périodicité, évidemment coûteuse pour les associations d'agriculteurs. Cette riziculture a au total un gros coût social et écologique, alors que la qualité des hommes n'est pas en cause, même s'il est vrai qu'ils n'ont que peu de « culture hydraulique ». Le choix de créer de toute pièce une riziculture irriguée a procédé de choix macro-économiques, nationaux, confortés par la possibilité d'aménager un magnifique espace amphibie, peu occupé jusque là, avec une eau à faible coût. Mais les blocages actuels sont nombreux, pas seulement environnementaux, financiers et institutionnels également et on peut s'interroger sur l'avenir du modèle choisi devant tant de défis (Pesneaud, 1996).

### *Les limites de la gestion hydraulique*

On a déjà vu précédemment que la gestion hydraulique de Manantali est désormais soumise à des demandes relativement contradictoires. Il est permis de se demander si ces objectifs n'auraient pas pu être examinés de façon plus approfondie préalablement à la construction du barrage. Si tel avait été le cas, son dimensionnement aurait pu être mieux ajusté, satisfaisant plus aisément ces différentes demandes.

Par ailleurs, différents facteurs sont à souligner :

- On rappellera que le barrage de Manantali ne contrôle pas l'ensemble du bassin versant en amont de Bakel ; les écoulements de la Falémé et

du Baoulé notamment lui échappent. Diama peut donc être soumis dans son fonctionnement à des crues non laminées, dont le délai d'écoulement à partir de Bakel est d'environ 20 jours. Par ailleurs, la gestion couplée des deux barrages est rendue plus difficile par le fait que si Manantali doit désormais stocker un maximum d'eau en fin d'hivernage, le barrage ne peut plus écrêter d'éventuelles crues liées au passage de lignes de grains (ondes de l'Est) de fin de saison des pluies.

- Le fonctionnement de Diama est aussi soumis à sa résistance propre et à une fonction de réservoir non prévue à l'origine. Sur le premier point, les règles strictes de fonctionnement (Coyne et Bellier, Sogreah, 1987) imposaient jusqu'à une date récente une énergie de dissipation ne dépassant pas 1 000 m<sup>4</sup>/s (1 000 m<sup>3</sup>/s sous un mètre de chute). Selon une expertise récente faisant suite, comme on le verra, à une amplification du marnage sur la partie aval de l'ouvrage, et de nouveaux calculs, les problèmes d'énergie de dissipation ne se poseraient plus du tout dans les mêmes termes puisque cette énergie pourrait être multipliée par 15 ! On peut s'en étonner. Quoi qu'il en soit, la résistance du barrage a bel et bien été un sujet de préoccupation en 2004 et 2005 puisque des lâchers du fleuve (secteur de Keur Macène en amont de Diama) ont été faits en rive droite en direction de l'Aftout es Sahel.
- Initialement prévu pour être un barrage anti-sel, Diama s'est vu assigné progressivement une autre fonction de barrage réservoir ; le niveau moyen de 1.50 m en 1992 passant à 1.75 m en 1995, 1.90 m en 1997, 2.0 m en 1999 et 2.10 m depuis 2002. Là encore, les hydrauliciens sont conduits à gérer des demandes pressantes du monde agricole et agro-industriel pour un maintien à des cotes élevées du plan d'eau visant à assurer une irrigation gravitaire des périmètres irrigués (Duvail, 2001).
- Les conflits d'objectifs liés au bénéfice d'une crue artificielle représentent une source de difficultés d'une autre nature, liée au fait même que l'intérêt d'une inondation provoquée par les hommes génère inévitablement des conflits entre les utilisateurs potentiels. On s'adaptait à la crue naturelle, on décide d'une crue artificielle ; mais au bénéfice de qui ? Ces conflits d'usages (Duvail, 2001 ; Duvail *et al.*, 2001 ; Hamerlynck *et al.* 2005) se posent principalement dans le bas delta mauritanien, où le « modèle » rizicole n'occupe pas tout l'espace, laissant place à une mosaïque de paysages, dans lesquels les activités traditionnelles de pêche, d'élevage, de cueillette subsistent aux côtés d'écosystèmes sauvegardés avec leur avifaune associée (Parc du Diawling).

Au cours des deux dernières décennies, ces différents acteurs ont dû s'adapter d'abord à la réalisation tardive de la digue en rive droite puis aux modifications fréquentes, imprévues, des procédures de gestion des barrages de Diama et de Manantali. Plus récemment, dans la période 2002-

2005, alors qu'un calendrier consensuel avait pu être établi, son principe n'en a pas été respecté. Tout le monde a pu s'en satisfaire – y compris les gestionnaires du PND du fait de lâchers désormais plus continus de Diama effaçant le risque de sursalinisation du bas estuaire mauritanien (N'Tiallakh) – à l'exception notable des éleveurs qui attendent d'une courte crue de contre-saison une source d'eau pour leurs troupeaux, particulièrement bénéfique en fin de saison sèche. Il est probable que ce non respect du plan de gestion entrainera chez eux un mécontentement durable. On peut d'ores et déjà y voir une raison à leur absence lors des discussions conduites avec le PND et l'UICN en février 2006.

Objectifs contradictoires, adaptations accélérées, le temps des incertitudes n'est donc pas terminé. Une certaine maîtrise de l'eau commence toutefois à porter ses fruits, du moins en rive mauritanienne, tant du point de vue de l'amélioration de la biodiversité que de la production économique. Malheureusement, à la fin de l'année 2003, un nouvel événement vient modifier la donne : l'ouverture artificielle de la langue de Barbarie...

## **Les incertitudes liées à l'ouverture de la langue de Barbarie**

### *La brèche : historique et évolution*

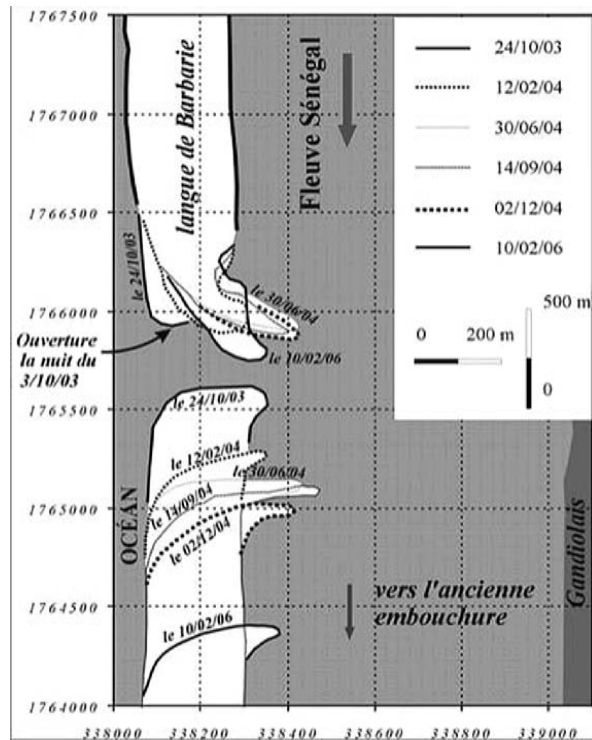
Durant le mois de septembre 2003, le fleuve Sénégal est progressivement en crue. Le débit à Bakel enregistre un maximum de 3 505 m<sup>3</sup>/s le 23 septembre. Le niveau de l'eau à St Louis est à une cote IGN maximale de 1.42 m le 28 septembre, et reste les jours suivants à 1.41 m. Devant le mécontentement populaire et sous la pression, semble-t-il, des autorités, les gestionnaires prennent la décision d'ouvrir une brèche au travers de l'étroit cordon littoral, rapprochant ainsi l'embouchure du fleuve de la ville (à 7 km au sud du pont Faidherbe contre une trentaine auparavant) et provoquant une perte de charge hydraulique. Il faut noter que cette solution pour lutter contre les inondations était avancée (parmi d'autres) dès 2002 dans le rapport PNUE mais qu'elle était accompagnée de mesures complémentaires, telles que la construction d'épis protecteurs au niveau de la brèche, qui n'ont pas été réalisés en octobre 2003. Dans la nuit du 3 octobre, un canal de 4 m de large est ainsi creusé et la hauteur du fleuve, mesurée au niveau du pont, s'abaisse en 48 heures de manière significative et de près d'un mètre en dix jours. La deuxième pointe de débit à Diama le 29 octobre 2003 ne se voit d'ailleurs même pas sur le limnigramme de Saint Louis !

Mais, dans le même temps, la brèche s'élargit très rapidement (Kane et al, 2003), passant à 400 m en quelques dizaines de jours, pour ensuite s'ouvrir à un rythme relativement constant, d'environ 1 m par jour, et atteindre



aujourd'hui – dernière mesure le 10 février 2006 – près de 1.4 km de large (figure 1). Cet élargissement est consécutif pour l'essentiel à une ablation active de la partie méridionale du cordon, produite par une houle de secteur NW ou NNW (Kane, 1997). La partie nord reste assez mobile, et présente parfois de légères avancées vers le Sud, liées à des dépôts sableux qui viennent engraisser le cordon littoral.

Figure 1 : Évolution de la brèche. Vue en plan (données : N. Guiguen, IRD, et auteurs)



### Le risque d'inondation à Saint Louis

L'occurrence de cette inondation pose différents problèmes d'interprétation.

L'intensité d'une inondation n'est pas seulement liée à la cote maximale atteinte par le fleuve mais aussi à la durée de débordement, aux précipitations sur le site, à l'édification des digues. Après 1994, la construction d'une digue le long de la bordure orientale du quartier de Sor modifie la relation entre les hauteurs du fleuve et l'extension des inondations. Cette digue présente indéniablement une certaine efficacité, puisque les inondations des années 1997, 1998 et 1999 ont été moins importantes qu'en 1994

(Laperrière, Lucchetta, 2003), malgré des niveaux du fleuve plus élevés. Si l'on admet que la cote d'alerte des inondations de la ville de St-Louis se place autour de 1.20 m (PNUE, 2002), cette cote est à moduler en fonction du contexte dans lequel s'inscrit l'événement.

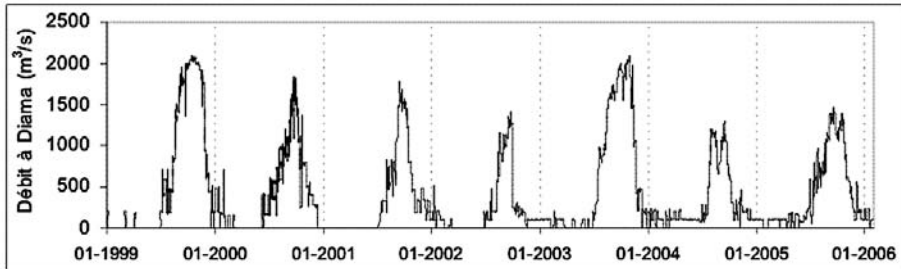
Quoi qu'il en soit, cette crue de septembre-octobre 2003, quoique majeure, n'est pas exceptionnelle. Si l'on se réfère au maximum limnimétrique enregistré à St. Louis, la cote IGN de 2003 (142 cm) est largement dépassée en 1999 (164.5 cm), sans parler de 1950 (179 cm).

Si des épisodes de crue se répètent à St Louis à partir du milieu des années 90: 1994 (126.5 cm), 1995 (120.5 cm), 1997 (128.5 cm), 1998 (143.5 cm), en revanche ils sont totalement absents durant les deux décennies précédentes, depuis 1974.

On peut donc légitimement se poser la question de savoir si ce n'est pas davantage la vulnérabilité à St Louis qui a changé plus que l'aléa hydrologique, comme si la progression de l'habitat s'était faite, avec la croissance démographique, dans les quartiers topographiquement bas ; sorte de mauvais réflexe durant ces années de rémission, d'autant plus que les autorités publiques ne s'y opposaient pas strictement. Peut-être même la construction des barrages a-t-elle conduit à considérer, plus ou moins consciemment, que l'on était désormais à l'abri de pareilles difficultés.

Depuis 2003, le niveau maximum du fleuve n'a pas dépassé 0.6 m en 2004 et 2005, malgré des débits de déversement du barrage de Diama sensiblement comparables aux années antérieures à 2003. Mais ne faut-il pas considérer les détournements d'eau vers l'Aftout es Sahel durant ces deux années 2004 et 2005 ? Dès lors, une autre question est posée : le risque d'inondation à St Louis est-il durablement écarté ? Le changement radical de la pente de ligne d'eau invite à répondre par l'affirmative. Toutefois, la gestion couplée des deux barrages, pour aussi complexe qu'elle soit déjà dans l'intervalle Manantali-Diama, devra prendre en compte pour plus de sécurité le segment aval entre Diama et la nouvelle embouchure, afin de limiter au maximum les déversements en période de hautes eaux. Cela était-il possible en septembre 2003 ? À ne considérer que Diama, cela est peu évident (figure 2). Durant cet épisode de crue, les lâchers, qui dépassent 1 500 m<sup>3</sup>/s depuis le 22 août, augmentent jusqu'à 1 600 à 1 700 m<sup>3</sup>/s durant la première quinzaine de septembre, 1 800 m<sup>3</sup>/s au 20 septembre, alors même que la ville est déjà inondée. Cela peut paraître étonnant mais l'hydrogramme de Bakel montre une permanence des écoulements à un niveau supérieur à 2 000 m<sup>3</sup>/s après une première onde de crue à 3 680 m<sup>3</sup>/s le 10 août. Le débit n'est donc pas diminué et atteint même 2 000 m<sup>3</sup>/s à la fin de septembre d'autant qu'à partir du 23 septembre est annoncée une seconde onde de crue à Bakel (3 505 m<sup>3</sup>/s). La seule circonstance favorable est que le réservoir de Diama est à une cote faible, voisine de 1,50 m. Mais cela ne peut suffire à amortir la crue.

Figure 2: Variation des débits du fleuve Sénégal à Diama (données OMVS-IRD)

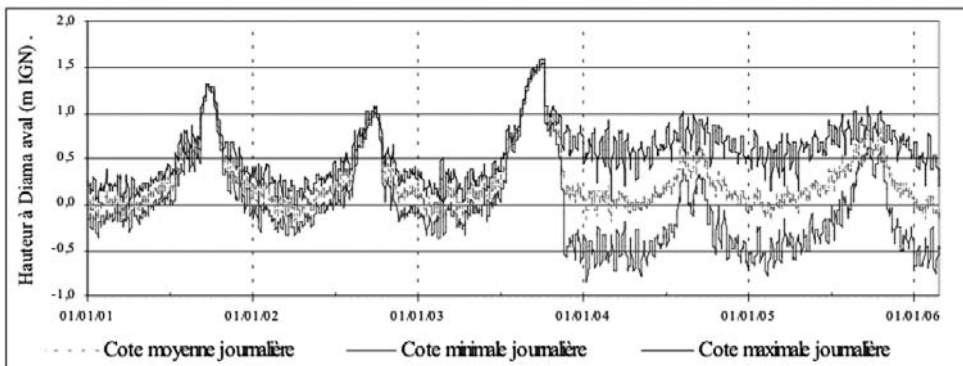


Une modélisation hydraulique des écoulements du fleuve Sénégal par gestion couplée des deux barrages, intégrant des préoccupations sécuritaires en aval de Diama, doit donc être élaborée. Cette modélisation en aval de Diama avait été réalisée en 2002 (PNUE, 2002). Il est impératif que pareil instrument soit réactivé, prenant en compte la nouvelle embouchure et son évolution géomorphologique apparente et sous-marine. Il est probable en effet qu'en 2003 l'inondation s'explique aussi par une fermeture partielle de l'ancienne embouchure, dont il faut se souvenir qu'elle était régulièrement draguée jusque dans les années soixante, et par un effet de frein à l'aval. Cette modélisation devrait aussi être couplée à un modèle numérique de terrain de la plaine d'inondation dont on ne dispose toujours pas à l'heure actuelle. Elle pourrait permettre enfin d'appréhender non seulement des aspects quantitatifs (crues) mais aussi qualitatifs (salinité de l'eau).

### *Une seule certitude : l'amplification du marnage*

L'amplification du marnage dans tout l'estuaire est la conséquence la plus manifeste du changement d'embouchure, la moins contestable parce qu'immédiate. Les modifications de la marée semi-diurne se font sentir de différentes manières (figure 3).

Figure 3: Hauteurs d'eau à l'aval de Diama (m IGN) : cotes journalières moyennes, minimales, maximales (données OMVS-IRD).



D'une part, le marnage quotidien maximal, enregistré à l'aval de Diama, est multiplié par trois, passant de 0.30 m (moyenne 2001-2002) à 0.93 m (moyenne 2004-2005). D'autre part, depuis 2004, ce marnage est ressenti tout au long de l'année, même pendant les hautes eaux d'hivernage, période pendant laquelle il n'apparaissait pas auparavant. Enfin, on observe également un renforcement de l'amplitude du cycle des vives-eaux (cycle de 14 jours). À Diama, l'amplitude entre la marée de vives-eaux et celle de mortes-eaux qui l'accompagne a plus que doublé. Suivant une synergie d'impacts complexe, ce marnage amplifié (rabattement de 30 cm et rehaussement d'autant) peut avoir à son tour différents effets, sur des temps de réponse plus ou moins longs. Du point de vue géotechnique, ce marnage peut entretenir un travail de sape et (ou) de corrosion auxquels les quais de St Louis, les piles du pont Faidherbe, les bases du barrage de Diama elles-mêmes peuvent ne pas être soustraites... Rappelons que c'est ce contexte qui a commandé une nouvelle expertise sur les énergies de dissipation en aval de Diama. Du point de vue économique, les effets ne sont pas bons d'après les pêcheurs (enquête sur les rives du N'Tiallakh) car l'eau monte plus vite et redescend plus rapidement. Mais du point de vue écologique, l'eau atteint désormais des niveaux abandonnés depuis la fermeture du barrage de Diama et la disparition de la crue naturelle annuelle. C'est probablement ce mécanisme qui conduit à une régénérescence manifeste de la mangrove en bien des secteurs (Bango près de St Louis, partie nord du Gandiolois, confluent Bell-N'Tiallakh). Cela suppose aussi qu'il s'agisse d'une eau saumâtre et non pas hypersaline...

### *Les modifications de la salinité sur le long terme ?*

L'évolution de la salinité paraît aujourd'hui commandée par deux faits contraires : d'une part, l'intrusion marine porteuse d'un biseau salé plus efficace hydrodynamiquement jusqu'à Diama ; d'autre part, des lâchers d'eau douce, qui ne descendent plus, depuis fin 2002, au-dessous d'un minimum de 100 à 200 m<sup>3</sup>/s, sorte de palier bien repérable sur l'hydrogramme (figure 2), correspondant grosso modo à ce qui est turbiné à Manantali. De ce point de vue, le temps n'est donc plus, comme à la fin des années 80 ou même durant les années 90, où le barrage pouvait être durablement fermé ce qui conduisait à une sursalinisation des eaux de l'estuaire (Exemple : salinité de 35.9 g/l à Saint-Louis en mai 1992 quand Diama est fermé (Cecchi, 1992)) et à un dépérissement marqué de la mangrove. Variable évidemment dans l'espace et dans le temps, la salinité mesurée en surface en décembre 2004 et mai 2005 ne paraît pas excessive, alors même que les restitutions hydrologiques de Diama sont faibles, du même ordre de grandeur pour les deux campagnes de mesures (100 m<sup>3</sup>/s lors de la première, 165 m<sup>3</sup>/s pour la seconde).

Toutefois, ces mesures n'ont pas été faites à l'extrême aval de l'estuaire, notamment dans le segment du fleuve compris entre la nouvelle embouchure et l'ancienne (aujourd'hui comblée); ce segment, proche de l'océan, évoluant en lagune probablement beaucoup plus salée du fait de l'absence totale d'effet de « chasse d'eau ». Dans ce secteur, l'intrusion marine paraît potentiellement plus lourde de menaces vis à vis de certaines activités agro-sylvo-pastorales et de la ressource en eau douce. L'économie liée au maraîchage dans le Gandiolais semble d'ailleurs déjà touchée par cette modification (Diallo, 2005).

La présence ubiquiste de lentilles d'eau douce surmontant une nappe salée dans les cordons dunaires du bas-delta avait permis de faire du Gandiolais, en aval de St Louis, une zone économiquement dynamique. Dès les années 70, du fait de la sécheresse, puis en raison des aménagements du fleuve et de la suppression de la crue naturelle, le niveau de la nappe d'eau douce avait cependant commencé à baisser. Cette diminution de la ressource a favorisé alors une nouvelle culture, moins exigeante, celle de l'oignon, en lieu et place des cultures légumières traditionnelles (Bonnardel, 1992). Depuis l'ouverture de la brèche, cette nappe pelliculaire d'eau douce, paraît irrémédiablement menacée. Les échanges nappes latérales-fleuve sont évidemment modifiés et le marnage amplifié entraîne très certainement une contamination de la lentille supérieure. Un suivi piézométrique ainsi que de la qualité des eaux s'avère ici impératif.

Les cultures apparaissent ainsi plus ou moins en sursis dans le Gandiolais, suivant leur distance à cet ancien bras du fleuve ou leur caractère plus ou moins perché. Dans le meilleur des cas, l'eau des puits associés à ces parcelles présente la plus faible salinité (au maximum : 1.8 g/l, lors d'une campagne de mesures en février 2006). En revanche, cette salinité augmente à 2.9 g/l sur les parcelles localisées plus près du fleuve ou à altitude plus basse. Les rendements y sont apparemment plus faibles, les pousses d'oignon se caractérisent par des jaunissements plus ou moins marqués. D'autres parcelles, encore plus proches du fleuve, sont totalement abandonnées depuis une ou deux années (eau des puits à 12.5 g/l).

## **Conclusion**

Dans le delta du fleuve Sénégal, l'incertitude environnementale est aujourd'hui multiforme : écologique, socio-économique, sanitaire. Mais il existe au moins un lien entre ces différentes contraintes : une maîtrise incertaine de la ressource en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif (eaux douces, saumâtres, parfois usées). Le poids des contraintes diffère toutefois suivant les trois sous-ensembles que sont le moyen delta sénégalais, le moyen delta mauritanien, l'estuaire et ses marges.

Dans le moyen delta de rive gauche, la riziculture sénégalaise fait face à de sérieux défis et l'incertitude du système de production paraît être la règle. J. de Montgolfier dans son rapport sur le développement durable du delta sénégalais (1996) prévoyait déjà différents scénarios, non exclusifs, entre marasme, développement d'entreprises agricoles africaines et (ou) d'une agriculture vivrière moderne, néo-capitalisme, tourisme international. L'hypothèse « néo-capitaliste » est déjà en partie vérifiée avec notamment le développement de sociétés multinationales (« Grands Domaines du Sénégal ») productrices, sous serres de très grandes dimensions (200 ha dès 2003) et par irrigation au goutte à goutte, de cultures maraîchères à haute valeur ajoutée (haricots, tomates), exportées par avion. Le tourisme devrait bénéficier quant à lui de la mise en place d'une réserve de Biosphère Transfrontière (RBT-UNESCO), regroupant notamment les parcs du Djoudj (Sénégal) et du Diawling (Mauritanie), rapprochant ainsi davantage les deux pays.

Dans le delta mauritanien, le traumatisme a été moins grand. Si l'entente entre les acteurs traditionnels est effective, on peut raisonnablement prévoir un développement socio-économique plus harmonieux ou du moins avec un coût social moins élevé qu'en rive gauche.

Dans l'estuaire, l'impact de l'ouverture artificielle de la langue de Barbarie ne peut être apprécié avec suffisamment de recul. Mais le remède choisi pour lutter contre l'inondation de St Louis pourrait s'avérer pire que le mal, du moins à l'aval, sur les marges de l'ancien bras transformé en lagune. Un suivi de paramètres écologiques et d'indicateurs socio-économiques est véritablement nécessaire, tout comme une modélisation hydraulique de la section du fleuve comprise entre Diama et l'océan.

Beaucoup de ces incertitudes sont le fruit d'études d'impacts qui n'ont pas su mettre en évidence toutes les difficultés qui seraient générées par une transformation aussi radicale du paysage ou bien n'ont pas pour objet d'établir des solutions de compensation réelles, effectives sur le terrain, c'est-à-dire bénéficiant de financements aussi immédiats que ceux permettant la construction coûteuse des barrages eux-mêmes. À ceux qui font valoir que les bénéfices d'un barrage doivent être raisonnablement attendus et acceptés sur un délai assez long, il est aisé de répondre que c'est ce temps d'adaptation et d'incertitude très difficile à vivre pour les acteurs locaux qu'il convient de préparer et de réduire au maximum.

## **Remerciements**

Les auteurs remercient l'IRD du Centre de Dakar, tout particulièrement N. Guiguen pour la communication de données hydrométriques, les responsables de l'OMVS en particulier à Diama, la Direction de l'Hydraulique à St Louis et la Région Rhône Alpes pour son appui financier dans le cadre d'un programme MIRA de recherches.

## Bibliographie

- ALBERGEL J., BADER J.-C., LAMAGAT J.-P., SÉGUIE L., 1984. Crues et sécheresses sur un grand fleuve tropical de l'Ouest africain : application à la gestion de la crue du fleuve Sénégal. *Sécheresse*, n° 3, vol. 4, 143-152.
- BADER J.-C., LAMAGAT J.-P., GUIGUEN N., 2003. Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 48 (4), 525-538.
- BLANCHON D., 2003. *Impacts environnementaux et enjeux territoriaux des transferts d'eau inter bassins en Afrique du Sud*. Thèse Université de Paris X Nanterre. 624 p.
- BONNARDEL R., 1992. *Saint-Louis du Sénégal : mort ou renaissance ?* Paris, éd. L'Harmattan, 423 p.
- BOUSSO, T., 1997. The estuary of the Senegal River : the impact of environmental changes and the Diama dam on resource status and fishery conditions. In Remane, K. (Ed.) "Africa inland fisheries, aquaculture and the environment", Fishing News Books, Oxford, U.K., pp. 45-65.
- CECCHI P., 1992. *Phytoplankton et conditions de milieu dans l'estuaire du fleuve Sénégal : effets du barrage de Diama*. Thèse, Université de Montpellier II, Travaux et Documents de l'ORSTOM Microédités, n° 94, 437 p.
- COYNE et BELLIER, SOGREA, 1987. *Consignes générales d'exploitation et d'entretien du barrage de Diama*. OMVS. 21 p.
- DE MONTGOLFIER J., 1996. Interrogations sur le développement durable dans le delta du fleuve Sénégal. Compte-rendu de mission janvier 1996. *Programme CNRS - PIR EVS SEAH (« Transformations des hydrosystèmes en aval des grands barrages »* Dir. M. Mietton). Inédit. 18 p.
- DIALLO M., 2005. *Étude de la baisse du niveau de la nappe dans les Niayes du Gandiolais*. Mémoire de Maîtrise, Université G. Berger, U.F.R. Lettres et Sciences Humaines, section Géographie, 120 p.
- DUVAIL S., 2001. *Scénarios hydrologiques et modèles de développement en aval d'un grand barrage. Les usages de l'eau et le partage des ressources dans le delta mauritanien du fleuve Sénégal*. Thèse de Géographie, Université L. Pasteur, Strasbourg I, 305 p.
- DUVAIL S., MIETTON M., GOURBESVILLE P., 2001. Gestion de l'eau et interactions société-nature. Le cas du delta du Sénégal en rive mauritanienne. *Nature Sciences Sociétés*, vol. 9, n° 2, 5-16.
- ENGELHARD P., 1991. La vallée « revisitée » ou les « Enjeux de l'après-barrage » cinq ans plus tard. in *La vallée du fleuve Sénégal. Évaluations et perspectives d'une décennie d'aménagements*, Paris, éd. Karthala, 45-79.
- HAMERLYNCK O., DUVAIL S., MESSAOUD B., BENMERGUI M., 2005. The restoration of the Lower Delta of the Senegal River, Mauritania (1993-2004). *Symposium on Coastal Ecosystems of West Africa*, Brussels, Belgium, 15-16 february, 11 p.
- HUMBERT J., MIETTON M., KANE A., 1995. L'après-barrages dans le delta du Sénégal. Scénarios de remise en eau de la cuvette du N'Diael et impacts. *Sécheresse*, n° 2, vol. 6, 207-214.
- KANE A., 1997. *L'après-barrages dans la vallée du fleuve Sénégal : modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques, sédimentologiques. Conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles*. Thèse de doctorat d'État, Dakar, UCAD, 551 p.

KANE A., NIANG DIOP I., NIANG A., DIA A.M., 2003. *Coastal impacts of water abstraction and impoundment in Africa. Cas du bassin du fleuve Sénégal*. LOICZ/START AfriCat Foundation Project. Université C.A. Diop. 90 p.

LAPERRIÈRE V., LUCCHETTA J., 2003. *La dynamique du risque d'inondation à Saint-Louis au Sénégal*. Mémoire de Maîtrise, Université J. Fourier, Institut de Géographie Alpine, Grenoble, 167 p.

MAHÉ G., OLIVRY J.-C., 1995. Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et central de 1951 à 1989. *Sécheresse* n° 1, vol. 6, 109-117.

MIETTON M., HUMBERT J., RICHOU S., 1991. Le projet de remise en eau du N'Dial (Sénégal). Pré-faisabilité hydraulique, bilan hydrologique et impacts. *Rapport d'expertise pour le C.I.C.* Université L. Pasteur Strasbourg. CEREG URA 95. 73 p. et annexes.

PESNEAUD F., 1996. Artificialisation du milieu, introduction de techniques nouvelles et recomposition sociale : à propos de la riziculture du delta du Sénégal. Compte-rendu de mission janvier 1996. *Programme CNRS - PIR EVS SEAH (« Transformations des hydrosystèmes en aval des grands barrages »* Dir. M. Mietton). Inédit. 19 p.

PHILIPPE C., KANE A., HANDSCHUMACHER P., MIETTON M., 1998. Aménagements hydrauliques et gestion de l'environnement dans le delta du fleuve Sénégal. in *Pratiques de gestion de l'environnement dans les pays tropicaux*, DYMSET, CRET, *Espaces tropicaux* n° 15, 389-401.

PNUE/UCC-WATER/SGPRE, 2002. Vers une gestion intégrée du littoral et du bassin fluvial. *Programme pilote du delta du fleuve Sénégal et de sa zone côtière*. 113 p.

PUECH C., 1983 : Persistance de la sécheresse au Sahel. Conséquences sur les normes hydrologiques et pluviométriques. *C.I.E.H., série Hydrologie*, Ouagadougou, 24 p. et annexes.

THEUERKORN W., HENNING R. K., 2005. Énergies renouvelables : Typha australis, menace ou richesse ? *Rapport du Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS)*. Bundesministerium für wirtschaftliche, Zusammenarbeit und Entwicklung, Cellule régionale de coordination du Programme régional de promotion des Énergies domestiques et alternatives au Sahel (PREDAS), 28 p.