

Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau

Stéphanie Duvail
Géographe

Ger Bergkamp
Hydrologue

M. Lemine Ould Baba
Géographe

Mike Acreman
Géographe

Olivier Hamerlynck
Ecologue

Dans les années soixante-dix, les gouvernements du Mali, du Sénégal et de la Mauritanie ont créé l'*Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal* (OMVS) et ont lancé la construction de deux grands barrages. A l'entrée du delta du fleuve Sénégal, le barrage anti-sel de Diama, opérationnel depuis 1986, a pour fonction d'empêcher la remontée des eaux salées marines. Sur le haut-bassin, le barrage réservoir de Manantali au Mali, mis en service en 1988, permet de contrôler 50 % des écoulements du bassin versant du fleuve Sénégal (fig. 1).

Ces grands barrages, censés apporter un bien-être aux populations, sont en fait surtout gérés en fonction de considérations techniques, économiques et politiques définies à l'échelle des trois pays et très peu en tenant compte des besoins réels des usagers à l'échelle locale. Cette attitude n'est pas nécessairement le résultat d'une mauvaise volonté mais, plus probablement, le reflet d'une difficulté réelle de la part des décideurs, des gestionnaires et des scientifiques à définir une gestion de l'eau qui soit à la fois rationnelle et « sociale », c'est-à-dire qui prenne en compte les besoins de tous les usagers.

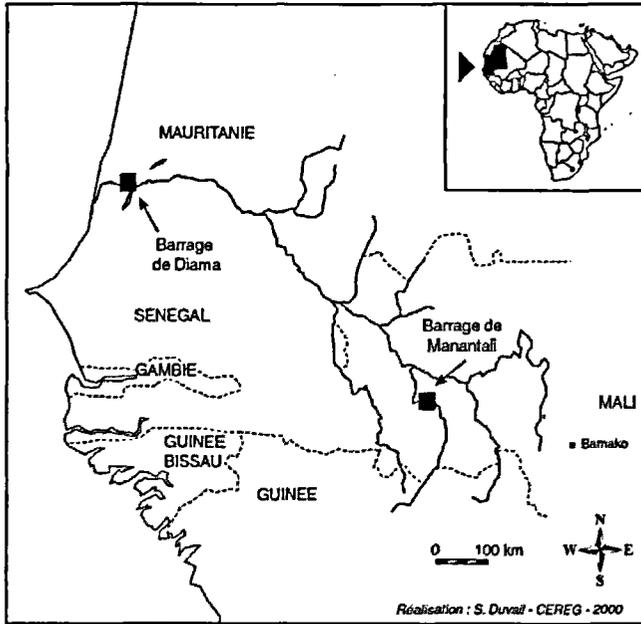


Figure 1
Le bassin du fleuve Sénégal
et ses grands aménagements hydrauliques.

Ainsi, l'un des objectifs principaux qui a présidé à la construction du barrage de Diama était de subvenir au déficit alimentaire des années soixante-dix par le développement d'une riziculture irriguée. En rive droite de la basse vallée du fleuve, entre Rosso et Keur Macène, le modèle d'une riziculture intensive pratiquée par des investisseurs privés sans tradition agricole venus de la capitale Nouakchott, est devenu dominant. Mais les prévisions concernant l'irrigation ont été trop optimistes et les impacts négatifs de ces aménagements ont été mal évalués, notamment ceux consécutifs à la perte des fonctions traditionnelles des plaines d'inondation (alimentation des nappes souterraines, agriculture de décrue, pâturage, pêche, production de bois). Pour des raisons diverses (priorité donnée à l'agriculture, disharmonies institutionnelles), les intérêts des usagers non agricoles, tels que pêcheurs, éleveurs et cueilleurs, ne sont pas pris en compte dans le processus de décision (Duval *et al.*, 1998 b). Cet état de fait persiste alors même que la rentabilité des périmètres rizicoles n'atteint pas les résultats escomptés (OMVS *et al.*, 1998)

En aval du barrage de Diama, les terres sont plus salées et un autre schéma d'aménagement existe : dans le bas delta, les eaux douces sont utilisées pour valoriser la plaine d'inondation comme espace de pêche et d'élevage. La crue est générée de façon artificielle par l'ouverture d'ouvrages hydrauliques. Une expérience de gestion concertée entre les gestionnaires du Parc national de Diawling et les populations locales y est menée (Hamerlynck *et al.*, 1999). La gestion de l'eau dans ce nouveau système hydraulique s'avère complexe pour des raisons techniques (il ne suffit pas d'ouvrir les vannes pour restaurer les conditions hydrologiques d'avant-barrage), mais aussi en raison de la difficulté de concilier les intérêts des différents utilisateurs.

L'exemple de la gestion du bassin du Bell est intéressant à cet égard : dans le cadre de l'élaboration d'un plan de gestion du bas delta mauritanien, une négociation entre les différents utilisateurs du bassin a été initiée pour définir un calendrier de gestion des eaux qui soit consensuel. Ce scénario est affiné chaque année en tenant compte des leçons tirées des premières inondations. Un modèle hydraulique et une bonne connaissance des corrélations spatiales entre hauteurs d'eau et ressources naturelles permettent d'aider les acteurs à définir en commun un calendrier d'inondation. Ce modèle hydraulique permet aussi d'explorer d'autres scénarios de gestion des eaux et de cerner ceux qui sont porteurs de risques environnementaux ou sociaux.

■ Une expérience de gestion : la remise en eau du bassin du Bell

Le peuplement et l'organisation foncière traditionnelle du bas-delta mauritanien

Historiquement, la rive droite de la basse vallée du fleuve Sénégal (fig. 2) est une zone de contact entre les populations wolofs sédentaires du royaume de Waalo et les nomades maures (Barry, 1985), ce que reflète la composition ethnique actuelle du bas-delta mauritanien avec environ 50 % de populations maures, 46 % de populations wolofs et quelques groupes peuls (4 %).

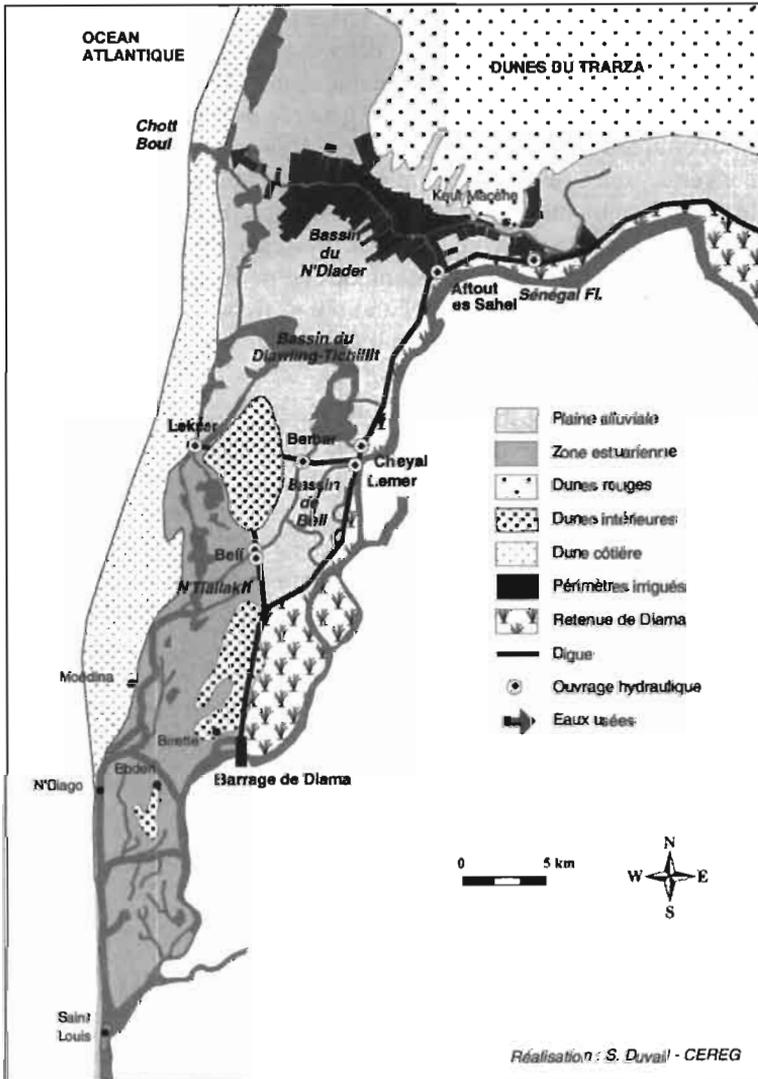


Figure 2
Le bas-delta mauritanien : unités morphologiques
et principaux ouvrages hydrauliques.

Dans le bas-delta, l'affirmation identitaire de chacune de ces communautés est forte et les stratégies d'exploitation du milieu sont différentes, y compris entre tribus maures. La société maure est en effet organisée en tribus qui, au-delà de l'appartenance à une

même lignée, sont aussi des entités économiques et institutionnelles (Marchesin, 1992). Au siècle dernier, les tribus guerrières (*hassan*), avaient le monopole des fonctions militaires et leurs revenus étaient assurés par les redevances que versaient leurs tributaires en échange de leur protection. D'autres sources de revenus étaient les droits collectifs de passage et le butin des razzias. Les tribus maraboutiques (*zawayya*), descendantes de tribus berbères, exerçaient quant à elles des fonctions religieuses et détenaient les richesses (élevage, agriculture, commerce) (Ould Cheikh, 1985 ; Marchesin, 1992). A cette distinction statutaire entre tribus guerrières et tribus maraboutiques s'ajoute une organisation verticale hiérarchique distinguant *beydanes* (Maures blancs) et *haratines* (anciens esclaves aujourd'hui affranchis). Cette organisation sociale influence jusqu'à ce jour les problématiques foncières en rive droite du fleuve (Ould al-Barrâ et Ould Cheikh, 1997). Dans les années soixante, la pêche en cuvette était la principale activité des maures de la tribu guerrière Taghrédient. Elle était pratiquée également par les *haratines* des tribus Tengha. Les factions *beydanes* de ces tribus Tengha étaient spécialisées dans l'élevage bovin et le commerce de bétail. Les pâturages salés du bassin du N'Tiallakh étaient également parcourus par les troupeaux camelins des tribus Bouhoubbeyni et Ahel Barekala. Les Wolofs de N'Diogo entretenaient d'importantes relations commerciales avec le Sénégal et particulièrement avec la ville de Saint-Louis très proche, mais vivaient surtout du maraîchage interdunaire pratiqué en complémentarité d'une pêche côtière (Vazart, 1957). Dans ce type de système à usage multiple, un même bassin pouvait faire l'objet de plusieurs exploitations successives en fonction des saisons hydrologiques. Mais les ressources naturelles ne peuvent être considérées comme étant en libre accès. Au contraire, ces multiples activités étaient conduites selon des règles précises d'appropriation des ressources naturelles. Et l'espace était organisé en territoires tribaux dont les accès étaient réglementés par quelques communautés. Ce découpage de l'espace est le résultat d'une longue histoire de luttes d'influences et de conflits fonciers (Duvail *et al.*, 1998 a). Ainsi dans les années soixante, trois groupes de populations utilisaient l'espace du bassin de Bell, sous l'autorité foncière de la tribu guerrière Taghrédient, principale utilisatrice du bassin. Les hommes pêchaient à la décrue sur des portions du marigot appropriées individuellement (*meshras*) ou bien collectivement au moyen de petits barrages équipés de nasses

en *Sporobolus robustus*. A partir du mois de janvier, les femmes de la tribu Taghrédient cueillaient le *Sporobolus Robustus* du bassin de Bell pour tisser des nattes vendues à prix fort sur les marchés urbains. Un droit de cueillette était accordé par les maures Taghrédient aux femmes de la tribu Idiawadj de la dune voisine de Birette. Cette tribu est placée sous la protection des guerriers Taghrédient depuis un conflit armé qui, en 1934, opposa la tribu Idiawadj aux *haratines* des tribus Tengha Egdebiaye. Enfin le bassin de Bell faisait partie des parcours traditionnels des Maures Tengha Egdeboubak, les pâturages à *Echinochloa colona* étant appréciés de leurs troupeaux bovins en saison sèche.

L'assèchement du bassin de Bell

Les constructions d'une digue à l'ouest du bassin (1984) pour les besoins du barrage de Diama (achevé en 1988) puis d'une digue en rive droite du fleuve (1991) ont progressivement coupé le bassin de son alimentation en eau (fig. 2). Pour compenser les effets du barrage de Diama, les premières études d'impact préconisaient la création d'un Parc national doté d'infrastructures hydrauliques permettant la remise en eau des bassins avant l'achèvement du barrage (Ganett Fleming Corddry *et al.*, 1980). Mais c'est à partir de 1994 seulement que le bassin a pu être à nouveau inondé avec la mise en service de l'ouvrage d'alimentation de Lemer et de l'ouvrage de vidange du Bell (fig. 2). Entre-temps, les dix années d'assèchement du bassin avaient presque mis un terme à la pêche. Une importante proportion des pêcheurs Taghrédient avaient émigré à Nouakchott et les femmes avaient abandonné la sparterie pour travailler saisonnièrement dans les rizières du moyen delta. Le schéma directeur pour la rive droite (1991) prévoyait l'aménagement de périmètres irrigués dans certaines parties du bassin de Bell, mais les pêcheurs Taghrédient refusèrent la conversion de leur bassin en casiers rizicoles.

Les consensus initiaux

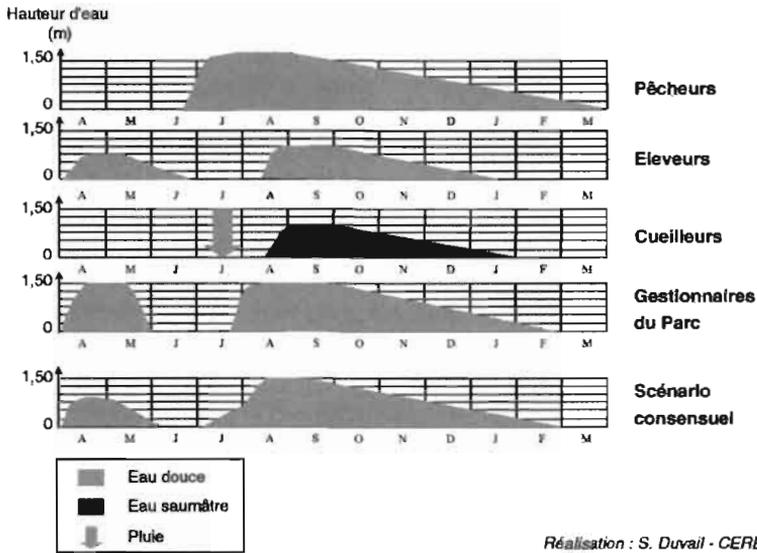
Dans le cadre d'un projet du programme zones humides de l'UICN (Union mondiale pour la nature), un processus de concertation entre les gestionnaires du Parc national du Diawling et les populations locales a été mis en place pour déterminer un nouveau

schéma de gestion des eaux (Hamerlynck *et al.*, 1999). A l'issue des premières missions de concertation, un consensus fut établi entre les gestionnaires du Parc National et les utilisateurs traditionnels du bassin pour essayer de générer une inondation conforme à la crue naturelle et ainsi favoriser la reprise des activités de pêche, d'élevage, de cueillette et éventuellement démarrer de nouvelles activités de maraîchage et d'écotourisme.

Les pêcheurs Taghrédient, qui ont une connaissance très précise des caractéristiques hydrologiques et des schémas de migration et de reproduction des poissons prévalant avant les barrages (Diagana, 1997), ont demandé l'ajout de l'ouvrage hydraulique de Berbar au schéma d'aménagement afin de permettre aux poissons de circuler vers les frayères du bassin de Diawling-Tichilitt. Dans le détail, la mise au point du calendrier d'ouverture et de fermeture des ouvrages s'est avérée complexe car il s'agissait de concilier des intérêts divergents. Le système hydraulique permettant de contrôler totalement les entrées et les sorties du bassin, l'intérêt des pêcheurs est de simuler une année de bonne crue (*Beckkoor*). Ils ont proposé une inondation précoce (sachant que les *Tilapia* sont prêts à frayer dès le mois de juillet), à des cotes élevées, suivie d'une lente décrue. Mais les femmes et les éleveurs ont objecté que le *Sporobolus robustus* ainsi que d'autres graminées avaient besoin de pluie avant l'inondation pour garantir leur développement. Il aurait ainsi fallu retarder l'inondation jusque vers début août, ce qui aurait considérablement raccourci la période de croissance des poissons. Par ailleurs, une période d'inondation trop longue n'emportait pas l'adhésion des éleveurs, car cela aurait favorisé la prolifération de cypéracées d'une valeur fourragère moindre que celle des graminées.

Il a donc été décidé de simuler les pluies en laissant une mince couche d'eau recouvrir les parties les plus basses de la plaine d'inondation en juillet, avec un rythme d'élévation des hauteurs d'eau ne dépassant pas un centimètre par jour jusqu'au début du mois d'août. Enfin, dans le souci de favoriser la régénération de la mangrove dans l'estuaire du N'Tiallakh, les gestionnaires du Parc national du Diawling ont proposé de diluer les eaux hyper-salées de l'estuaire grâce à une inondation en avril. Il a été préconisé de réaliser cette inondation dite de contre-saison à une cote inférieure à 1 mètre IGN pour ne pas dépasser les levées des lits mineurs des marigots et éviter ainsi que les graminées n'entament trop précocement leur cycle végétatif. Les premières négociations entre

utilisateurs des eaux ont eu lieu en 1994. Les consignes d'inondation des bassins issues de ces compromis sont détaillées dans un plan de gestion du Parc national du Diawling, dont la version finale a été adoptée en 1998 (UICN *et al.*, 1997). La figure 3 formalise les besoins en eau des différents acteurs ainsi que le scénario consensuel adopté au terme de ces négociations.



Réalisation : S. Duval - CEREG

Figure 3

Confrontation des calendriers des besoins en eau des différents utilisateurs du bassin du Bell.

Les premiers conflits d'usage

Pourtant, un accord portant sur le seul calendrier d'inondation, même s'il est essentiel, ne semble pas suffisant pour garantir une gestion rationnelle des eaux. En effet, dans un tel hydrosystème en mutation, les évolutions des projets des acteurs peuvent être très rapides. Les revendications sont d'autant plus fortes que la possibilité nouvellement offerte de modifier les scénarios d'inondation fragilise la portée des règles traditionnelles de partage des ressources – règles qui étaient basées sur une adaptation des calendriers d'activité à la crue naturelle. Les rapports de forces ne

se jouent plus seulement entre les différentes communautés maures, mais plutôt entre groupes d'usagers du bassin.

Les premières négociations ont lieu en fonction des différentes perceptions du milieu : vision technicienne des consultants, perception naturaliste des organismes de conservation ou connaissances traditionnelles issues de l'expérience. Mais personne ne connaissait réellement le futur fonctionnement du système artificialisé. Des difficultés d'appréciation naissent aussi du fait que beaucoup de règles « traditionnelles » deviennent caduques, même si elles sont basées sur un savoir-faire local empreint d'une connaissance fine et précise de l'environnement. Par exemple, la règle qui veut que l'eau arrivant à la taille d'un pêcheur se tenant debout dans le bassin soit un signe de l'inondation des *sebkhas* les plus septentrionales (fait qui signifie pour les pêcheurs une perte de production halieutique dans le bassin de Bell) est devenue erronée, car elle ne tient pas compte de l'effet des endiguements. De plus, les stratégies des différents acteurs ont évolué. Ainsi, les pêcheurs ont rapidement abandonné la pêche à pied sur parcelles individuelles pour poser les filets et leurs palangres là où se concentre le poisson, c'est-à-dire à proximité des ouvrages hydrauliques, ce qui nécessite, au maximum de l'inondation, de disposer d'une embarcation. Plus encore, des phénomènes de concurrence se sont développés au sein d'un même groupe socioprofessionnel et ethnique. Ainsi les pêcheurs Taghrédient originaires de Keur Macène se sont progressivement positionnés sur l'ouvrage de Cheyal, tandis que les pêcheurs Taghrédient originaires de Ziré se sont appropriés l'ouvrage de Lemer. Tous ont alors souhaité que l'ouvrage de Berbar reste fermé, alors même que celui-ci avait été conçu pour permettre la circulation du poisson entre les deux bassins. Par ailleurs, de nouveaux arrivants ont remis en cause les premiers consensus établis en initiant des stratégies d'exploitation différentes. Un conflit est apparu lorsque des femmes du moyen delta sont venues cueillir le *Sporobolus robustus* du Bell en utilisant une technique de fauchage à la faucille, tandis que les cueilleuses locales arrachent les tiges. De même, compte tenu de la disparition des pâturages de décrue dans le moyen delta où l'emprise spatiale des périmètres est forte, le bassin de Bell a été pâturé en 1997 par près de 1 200 bovins venant du nord. Les éleveurs locaux ont protesté et certains ont émis le souhait d'interdire l'accès du bassin de Bell aux éleveurs non locaux. Une forme intensive de pêche aux crevettes est également apparue dans

le bassin voisin du N'Tiallakh. Cette activité était autrefois pratiquée à petite échelle par la population locale. En 1997, un homme d'affaires a obtenu un permis d'exploitation auprès du ministère des Pêches. Cette situation génère d'intéressantes opportunités de travail salarié, mais elle dérange aussi les habitudes d'une population plus habituée à une exploitation individuelle des ressources. Qui plus est, l'activité attire de nombreux pêcheurs sénégalais, ce qui ranime des dissensions récentes. Le groupe des pêcheurs Taghrédient, normalement spécialisé dans la pêche en eau douce, s'est scindé : une partie du groupe participe à la pêche aux crevettes dans l'estuaire ; l'autre partie, sous l'autorité d'un nouveau chef de pêche, s'est positionnée près des ouvrages hydrauliques. Enfin, des problèmes nouveaux sont apparus : la vidange du bassin par l'ouvrage de Bell s'est avérée difficile en raison de l'existence d'un seuil topographique, et la stagnation des eaux a favorisé le développement de plantes colonisatrices. Par ailleurs, la partie sud-est du bassin de Bell s'est salinisée sous l'effet d'une remontée de la nappe salée (en relation avec la pression hydrostatique exercée par les milliers de mètres cubes stockés à Diama). Enfin, la régénération des espèces herbacées a permis une croissance des troupeaux, ce qui a des effets négatifs sur la régénération des ligneux (Hamerlynck *et al.*, ce volume¹).

■ L'apport de la modélisation

La remise en eau d'une plaine inondable crée donc des conditions nouvelles de fonctionnement du milieu naturel et humain. Ce caractère inédit est à l'origine d'une effervescence de questions de la part des populations locales, des gestionnaires et des chercheurs. Les modifications rapides du milieu génèrent aussi des stratégies adaptatives très dynamiques. Les scénarios de gestion des eaux, même consensuels, ne peuvent dans ce contexte être établis « une fois pour toute ». Au contraire, une gestion concertée implique un

¹ Hamerlynck O., Ould Messaoud B., Braund R., Diagana C. H., Diawara Y., Ngantou D., ce volume – « Crues artificielles et cogestion : la réhabilitation des plaines inondables au Sahel ». In : *partie 3*.

suivi et une renégociation permanente des consignes de gestion, éclairées à l'épreuve des faits. La modélisation est venue en appui à ce processus de gestion concertée. Elle est devenue une méthodologie incontournable aussi bien pour formaliser et vérifier la cohérence des connaissances acquises, que pour rendre ces connaissances opérationnelles à des fins techniques d'aide à la décision (Lévêque *et al.* 2000). Dans les systèmes complexes, des simulations multi-agents sont utilisées pour définir des scénarios d'exploitation d'une ressource, par exemple ichtyologique (Morand et Bousquet, 2000) ou pour modéliser des décisions d'acteurs (Rouchier et Requier-Desjardins, 2000 ; Le Fur, 2000).

Dans notre zone d'étude, la problématique principale est celle du choix de scénarios d'inondation et la modélisation est de type hydraulique. Un premier objectif est de décrire le fonctionnement hydraulique du système artificialisé. On cherche en particulier à établir une relation entre les ouvertures des ouvrages hydrauliques et la dynamique spatiale de l'inondation. L'intégration de ces cartes dynamiques d'inondation dans un SIG permet ensuite de confronter les conditions d'inondations, la répartition des ressources naturelles et les stratégies des acteurs, observées par ailleurs. Un deuxième objectif est d'alimenter les discussions entre acteurs en simulant des scénarios d'inondation inédits. La mise en place d'un réseau de suivi de l'hydrosystème par une équipe pluridisciplinaire et multi-institutionnelle s'est avérée cruciale. Mais compte tenu de la complexité du fonctionnement d'un système deltaïque et des manques de données, les réponses apportées à ces questions sont parfois davantage fondées sur le bon sens que véritablement démontrées, et c'est pourquoi les connaissances traditionnelles doivent être utilisées en appui aux connaissances scientifiques.

Les stratégies spatio-temporelles des acteurs confrontées aux conditions environnementales

La modélisation hydraulique

Un suivi hydrologique de la remise en eau des bassins a été réalisé. Le réseau hydrographique a été équipé d'échelles limnimétriques (28 sites), d'une station hydrométrique et d'une station climatique automatique. Soixante-dix jaugeages ont été réalisés pour étalonner de manière précise les vannes des ouvrages d'entrée et de sortie

des eaux. Des données sur la qualité des eaux (pH, conductivité, températures) ont été régulièrement acquises sur les 28 sites choisis. Un modèle numérique de terrain est construit sur la base d'un levé topographique au 1/20 000^e (cabinet Bocande & Bouette, Dakar) et d'une série de profils en long et en travers des marigots.

Ces données ont été utilisées pour modéliser le fonctionnement hydraulique du bas-delta selon deux méthodes. Dans un premier temps, des bilans d'eau à l'échelle des bassins hydrologiques ont été calculés au pas de temps journalier (Ould Baba *et al.*, 1998). Les volumes transités ont été transformés en hauteurs à partir de courbes de cubature et ensuite comparées aux chroniques des hauteurs d'eau réellement observées dans les bassins. Cependant, si cette approche en terme de bilans d'eau permet de vérifier la cohérence des données hydrologiques acquises, elle restitue mal la dynamique spatiale de l'inondation. Dans un second temps, les données hydrologiques ont donc été intégrées dans un modèle hydraulique unidimensionnel (Mike 11, du Danish Hydraulic Institute) qui, associé à un modèle numérique de terrain, permet de générer des cartes d'inondations dans l'interface graphique d'un système d'information géographique (Duvail *et al.*, 2001).

Relations entre types d'inondations et ressources naturelles

Le choix est fait de porter une attention particulière aux ressources naturelles utilisées par les populations, et en particulier aux ressources végétales et halieutiques, dont la disponibilité est un facteur important du choix des éleveurs, des cueilleurs et des pêcheurs. Notre objectif n'est pas de décrire les interactions fonctionnelles entre écosystèmes et inondations, qui sont complexes (Lefeuvre, 2000), mais plutôt d'essayer de cerner les exigences écologiques des ressources végétales et halieutiques utilisées par les populations. Deux approches sont choisies : selon une approche géographique, les cartes d'inondations précédemment réalisées sont confrontées à la répartition des espèces végétales, cartographiée chaque année. La valeur fourragère des pâturages de décrue est également évaluée (Ould Schle, 1999). D'autre part, les quantités de poissons pêchés et les quantités de *Sporobolus robustus* cueillis sont estimées (Morel, 1998) et exprimées en valeur monétaire en fonction des cours du marché, ce qui permet de définir la « valeur économique » (Barbier *et al.*, 1997) des différents scénarios d'inondation pour les

communautés locales. Les processus complexes qui sont à l'origine de l'édification des ressources naturelles ne sont donc pas analysés. Seule est décrite la co-variation entre les conditions hydrologiques (superficies inondées, hauteur d'eau maximale atteinte et durée d'inondation), d'une part et la répartition des pâturages, les quantités de *Sporobolus robustus* cueillies et les quantités de poissons pêchées, d'autre part. De cette approche de type qualitative ou semi-quantitative sont déduits les facteurs favorisant ou limitant la présence des ressources naturelles utilisées par les populations. Ainsi, dans le bassin de Bell, l'étagement de la végétation entre le fond des cuvettes ennoyées en permanence et les parties élevées rarement atteintes par l'eau (*nebkhas*), est principalement le résultat de l'influence combinée de la hauteur d'eau et de la durée d'inondation (tableau 1).

Tableau 1
Conditions hydrologiques optimales
de certaines espèces herbacées du bas-delta.

	Espèces herbacées	Hauteur optimale de tranche d'eau	Durée inondation optimale	Utilisation et «valeur économique»
Chenopodiacées	<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	< 5 cm	< 1 semaine	aucune
Graminées diverses	<i>Echinochloa colona</i>	5 à 40 cm	2 à 4 semaines	pâturage de qualité
	<i>Sporobolus robustus</i>	< 80 cm		pâturage, utilisation pour l'artisanat
	<i>Sporobolus helvolus</i>			pâturage
Cypéracées	<i>Bolboschoenus maritimus</i>		plusieurs mois	aucune
	<i>Scirpus maritimus</i>	0,80 à 1 m		aucune
	<i>Cyperus rotundus</i>			aucune
	<i>Cyperus esculentus</i>			aucune
Typhacées	<i>Typha domingensis</i>	0,80 à 1 m	toute l'année	aucune

Il est difficile en revanche de définir des relations spatialisées entre stock halieutique et hauteurs d'eau. Néanmoins, pour les pêcheries

de plaines inondables, il est connu qu'il existe une corrélation forte entre l'inondation et la production halieutique (Laë, 1994).

Liens entre inondations et stratégies spatio-temporelles des populations

Dans un second temps, les liens existant entre disponibilité de ces ressources et stratégies d'usage des populations sont mis en évidence. D'un côté, l'abondance et la diversité des ressources naturelles sont déterminées par les conditions de mise en eau ; de l'autre, les acteurs locaux adoptent des stratégies spatio-temporelles d'usage de ces ressources (fig. 4).

Ces stratégies sont guidées à la fois par des choix économiques et par le respect de règles intercommunautaires de partage des territoires. Des cartes des usages de l'espace pour chaque saison hydrologique permettent de visualiser les modifications des territoires communautaires et de suivre l'évolution des stratégies spatio-temporelles des acteurs.

Cependant ce schéma est quelque peu déterministe. La reprise des activités de pêche, d'élevage et de cueillette est, bien entendu, déterminée par la disponibilité des ressources, mais pas seulement. Les choix socio-économiques des populations locales sont également guidés par un ensemble de facteurs politiques, sociaux et économiques, qui peuvent dépasser l'échelle du bas-delta. Ces facteurs externes peuvent être identifiés par des entretiens non directifs réalisés dans les villages ou sur les sites d'activité.

Un outil pour une gestion concertée

Les diagnostics réalisés pour les années 1997 et 1998 servent à élaborer plusieurs scénarios probables de trajectoire du système en fonction des choix hydrauliques possibles.

L'analyse prédictive n'est certes pas possible du fait que les relations entre les différentes variables du système ne sont pas linéaires et que les mécanismes à l'œuvre sont complexes. Mais pour chaque scénario, les éléments de l'écosystème et les usages de l'espace qui sont favorisés sont distingués de ceux qui sont exclus. Les bénéfices, les contraintes et les risques associés sont ensuite définis.

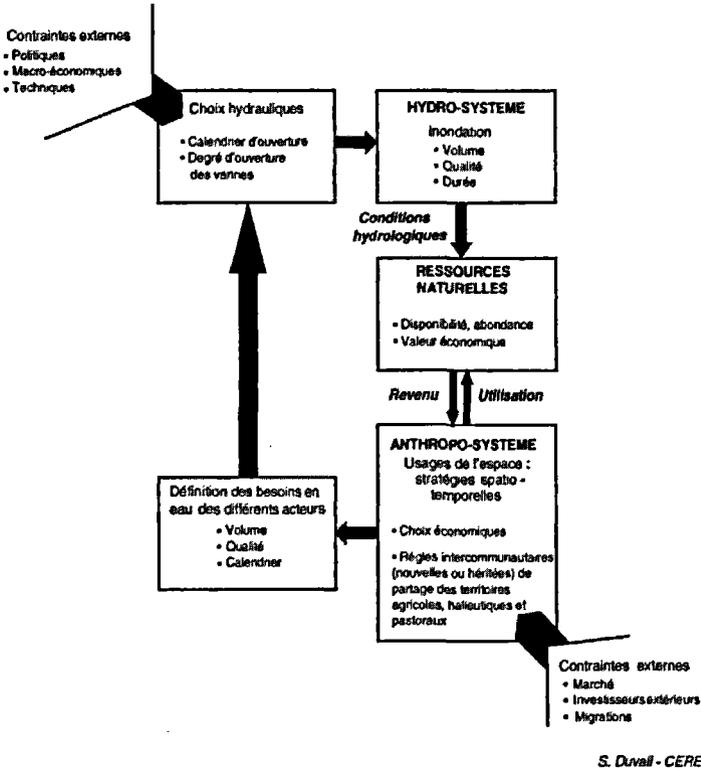


Figure 4
Interactions entre inondations
et stratégies socio-économiques des acteurs.

Intérêt d'une approche prospective

A moyen terme, le modèle permet d'explorer des scénarios à risques et d'émettre des hypothèses quant aux processus qui entraîneraient des conséquences irréversibles. A court terme, l'intérêt d'une telle approche prospective consiste en la possibilité de pouvoir simuler des scénarios de gestion des eaux alternatifs s'il se pose un problème lors de négociations entre acteurs et de pouvoir ainsi favoriser l'émergence d'un scénario consensuel. En effet, « parler du futur a comme première conséquence de le modifier, en tout cas d'en modifier les conditions de réalisation » (Legay, 2000). Les études prospectives constituent ainsi « un moyen d'améliorer l'interaction stratégique entre les acteurs

clés et d'anticiper la mise en œuvre politique » (Faucheux et Hue, 2000). Soulignons qu'il est néanmoins plus facile de tirer le bilan des inondations expérimentales que de discuter sur des cartes ou des documents qui ne sont d'ailleurs pas forcément lisibles et clairs pour l'ensemble des intervenants. Par ailleurs, aboutir à la définition d'un scénario consensuel au terme des négociations est le meilleur des cas, mais pas le plus fréquent. S'il se pose un problème de gestion des eaux dégénéralant en conflit d'acteurs, la solution doit être trouvée dans l'urgence. La modélisation vient donc plutôt renforcer ou contredire l'argumentaire des scénarios négociés au préalable sur la base des observations concrètes.

Dans l'exemple du bassin du Bell, un premier désaccord opposait les éleveurs-cueilleurs et les pêcheurs à propos des hauteurs d'eau et de la durée des inondations. La solution initialement trouvée (réaliser une inondation précoce en juillet avec une augmentation progressive des hauteurs d'eau telle que décrite à la figure 3) ne s'est pas avérée pleinement satisfaisante pour plusieurs raisons : à partir de 1997, la communauté des pêcheurs Taghrédient de Ziré s'est scindée en deux groupes, menés chacun par un chef de pêche. L'un a fait le choix de devenir une main-d'œuvre rémunérée pour une pêche à la crevette intensive dans l'estuaire, l'autre groupe a préféré conserver son indépendance et continuer à pratiquer la pêche en eau douce. Cette scission a généré une course à la productivité. Dans un tel contexte de compétition, les pêcheurs de l'ouvrage de Lemer ont émis le souhait que l'ouvrage soit ouvert dès le mois de juillet avec un fort débit, remettant ainsi en cause le scénario négocié. Or les éleveurs ne sont pas prêts à accepter une inondation plus longue du bassin du Bell, compte tenu du fort développement des maladies parasitaires dans la région. Il est en effet difficile de contrôler l'abreuvement des bovins qui pâturent sans surveillance à proximité de la retenue de Diama, véritable réservoir de maladies hydriques. Même si les gastéropodes vecteurs de la bilharziose n'ont pour l'instant pas été observés dans le bassin du Bell, les éleveurs sont devenus très méfiants à l'égard de tout scénario incluant plusieurs mois consécutifs d'inondation. Un second conflit potentiel est apparu autour de l'inondation de contre-saison. Pour des raisons de mauvaise vidange du bassin, il a été difficile de maintenir cette inondation dans les lits mineurs des marigots. Cette situation s'est avérée satisfaisante pour les éleveurs, en raison de la fourniture de pâturages de soudure, mais pas pour les cueilleuses qui se sont trouvées confrontées à des difficultés d'accès aux zones de *Sporobolus robustus*. Par ailleurs,

cette inondation de contre-saison alimente en eau douce le bassin de N'Tiallakh et est donc importante à la fois pour les gestionnaires du Parc (qui veulent restaurer les fonctions estuariennes du N'Tiallakh) et pour les éleveurs de la dune côtière (qui ont besoin de cette eau douce pour abreuver leurs animaux en saison sèche).

Définition de scénarios alternatifs

Pour alimenter le débat ou désamorcer les conflits potentiels, des scénarios alternatifs de gestion des eaux peuvent être proposés en jouant sur les paramètres d'espace, de temps ou bien sur la configuration des schémas hydrauliques. S'il existe un conflit entre différents utilisateurs d'un bassin avec une incompatibilité des usages qui ne puisse être résolu, on peut théoriquement imaginer de séparer spatialement les différentes activités. Ainsi, pour résoudre le conflit entre pêcheurs et éleveurs, le bassin du Bell pourrait être réservé à un usage halieutique tandis que le développement de pâturages de qualité serait favorisé dans le bassin du Diawling-Tichilitt. Une telle spécialisation des lieux comporte néanmoins le risque d'une certaine uniformisation végétale, car on sait que la répétition de plusieurs inondations à des cotes identiques favorise la prédominance de certaines espèces. Par ailleurs, un consensus entre acteurs est d'autant plus difficile que le découpage foncier traditionnel serait modifié et que d'anciens conflits pourraient alors resurgir. Pour résoudre ce conflit entre pêcheurs et éleveurs, une autre solution pourrait consister à programmer les scénarios hydrologiques à une échelle pluriannuelle en favorisant une alternance des schémas d'inondation d'une année à l'autre. Dans le bassin du Bell, on peut par exemple envisager d'alterner entre une année qui soit favorable aux éleveurs et aux cueilleuses, avec faible inondation au mois d'août, et une année qui soit favorable aux pêcheurs, avec inondation concernant des volumes d'eau plus importants dès le mois de juillet. Ce rythme permettrait en outre de recréer une variabilité interannuelle propre aux écosystèmes sahéliens. Dans le cas de l'inondation de contre-saison, il s'agit d'améliorer le temps de propagation des eaux douces vers le bassin du N'Tiallakh pour favoriser l'abreuvement des troupeaux en saison sèche et limiter l'effet des eaux hypersalées sur la mangrove. Un transit des eaux par le lac Diawling-Tichilitt est possible. Une telle inondation de contre-saison a été réalisée en 1999. Mais les temps de propagation

des eaux jusqu'à l'estuaire se sont avérés trop longs, notamment du fait de la faible ouverture de l'ouvrage de Cheyal (Lebourgeois, 1999). Néanmoins, le modèle hydraulique a prouvé la faisabilité de ce scénario et, afin d'éviter des modifications de la végétation du bassin de Bell, l'alternance annuelle des deux cheminements de l'inondation (Lemer – Bell – Ntiallakh et Cheyal – Tichilitt – Lekser – Ntiallakh) semble indiquée en attendant la réalisation du curage du marigot de Bell. Mieux encore, la construction d'un nouvel ouvrage permettrait l'alimentation directe de l'estuaire en contre-saison à partir de Diama à travers l'extrémité Nord-Est de la dune de Birette.

Conclusion

Dans le bas-delta mauritanien, la collaboration entre chercheurs, gestionnaires et populations locales s'est avérée efficace pour définir une gestion des eaux qui soit consensuelle mais aussi « ajustable », c'est-à-dire dont les schémas d'inondation sont renégociés à l'épreuve des faits. La modélisation hydraulique vient en appui à ce processus de concertation entre acteurs en permettant de définir des scénarios possibles d'inondation du bassin. Ce type de gestion de l'eau a été appliqué à l'échelle des petits bassins, mais il convient de tenir compte également des contraintes externes à ce système que peuvent constituer les décisions concernant la gestion du barrage de Diama, l'impact des nouveaux arrivants ou bien encore des pollutions des eaux en provenance du futur émissaire du delta programmé en rive gauche. Une telle gestion des eaux nécessiterait donc d'être conçue également à une échelle régionale, voire à l'échelle du bassin versant, ce qui pose des problèmes d'ordre institutionnel.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes et les institutions qui ont permis la réalisation de ce travail.

La modélisation hydraulique a été effectuée avec le logiciel Mike 11 du Danish hydraulic institute dans le cadre d'une thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur de Strasbourg (directeur de thèse Michel Mietton),

avec le soutien financier
de la Fondation internationale pour le Banc d'Arguin (FIBA)
et du programme SEAH (Systèmes écologiques et actions de l'homme)
et avec le concours des populations du delta mauritanien,
de l'équipe du Parc national du Diawling, du bureau UICN en Mauritanie
(conseiller technique : O. Hamerlynck), de l'équipe du programme Zones
humides de l'UICN (chef de programme : Jean-Yves Pirot)
et de l'équipe des travaux spéciaux de l'Institut géographique national (IGN).

Bibliographie

Barbier B., Acreman M.,
Knowler D., 1997 –
*Evaluation économique des zones
humides. Guide à l'usage des
décideurs et planificateurs.* Bureau
de la convention de Ramsar, 144 p.

Barry B., 1972 –
*Le royaume du Waalo : le Sénégal
avant la conquête.* Paris, Maspéro,
393 p.

Diagana C. H., 1997 –
« Premières observations
sur l'écologie du peuplement
ichthyologique de la zone inondée
et de l'estuaire du Parc national
du Diawling (Mauritanie) ».
In Colas F. (éd.) : *Environnement
et littoral mauritanien*, actes colloque,
Nouakchott, Mauritanie, 12-13 juin
1995, Cirad, Montpellier : 135-142.

Duvail S., Mietton M.,
Hamerlynck O., 1998 a –
« L'après-barrage dans le delta
mauritanien : scénarios de gestion
des eaux et modèles de
développement ». *In* Mainet G. (éd.) :
Iles et littoraux tropicaux, actes des 7^e
Journées de Géographie tropicale,
Presses académiques, Ouest-
Editions, Bordeaux, tome II : 681-694.

Duvail S., Hamerlynck O.,
Ould Baba M. L., 1998 b –
« Une alternative à la gestion
des eaux du fleuve Sénégal ? ».
In : 2^e conf. int. *Zones humides
et le développement*, Dakar,
8-14 novembre 1998.

Duvail S., Mietton M.,
Gourbesville P., 2001 –
Gestion de l'eau et interactions
société-nature : le cas du delta
du Sénégal en rive mauritanienne.
NSS, 9 (2) : 5-16.

Faucheux S., Hue C., 2000 –
Politique environnementale
et politique technologique :
vers une prospective concertative.
NSS, 8 (1-3) : 31-44.

Gannett Fleming Corddry &
Carpenter Inc., Orgatec, 1980 –
*Assesment of environmental effects
of proposed developments
in the Senegal River Basin.*
Doc. OMVS, Dakar, 158 p.

Hamerlynck O., Ould Baba M. L.,
Duvail S., 1999 –
The Diawling national park,
Mauritania : joint management
for the rehabilitation of a degraded
coastal wetland. *Vida Silvestre
Neotropical*, 7 (1) : 59-70.

- Laë R., 1994 –
« Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». In Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger*, Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.
- Le Fur J., 2000 –
« Modélisation de décisions en exploitation halieutique ». In : *Du bon usage des ressources renouvelables*, IRD, Coll. Latitudes 23 : 345-358.
- Lebourgeois V., 1999 –
Eléments sur l'hydrologie du N'Tiallakh dans le cadre de la création d'un estuaire artificiel (bas-delta mauritanien du fleuve sénégal, Mauritanie). Mém. DESS, univ. Limoges, 32 p.
- Lefevre J.-C., 2000 –
« Structure des habitats et biodiversité ». In Fustec E., Lefevre J.-C. (éd.) : *Fonctions et valeurs des zones humides*, Dunod : 183-210.
- Legay J. M., 2000 –
Prévoir l'avenir ? *NSS*, 8 (1-3) : 3.
- Lévêque C., Pavé A., Abbadie L., Weill A., Vivien F. D., 2000 –
Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. *Natures, Sciences, Sociétés*, 8 (4) : 44-52.
- Marchesin P., 1992 –
Tribus, ethnies et pouvoir en Mauritanie. Karthala, Paris, 437 p.
- Morand P., Bousquet F., 2000 –
« Simulation de l'exploitation de ressources (fleuve Niger) ». In Gillon Y., Chaboud C., Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables*, IRD, Paris : 375-392.
- Morel D., 1998 –
Eléments sur l'hydrologie et la végétation du Parc national du Diawling (1998). Rapport de stage de l'Institut supérieur européen des métiers de l'environnement (ISEME), Fontenay-le-Comte, 33 p.
- Coyne & Bellier, 1998 –
Etude complémentaire des endiguements du fleuve Sénégal. Première phase. Rapport d'inventaire – diagnostic. Doc. OMVS, Dakar, Sénégal, 64 p.
- Ould al-Barrâ Y.,
Ould Cheikh A. W., 1998 –
Il faut qu'une terre soit ouverte ou fermée : du statut des biens fonciers collectifs dans la société maure. *Revue du Monde Musulman et de la Méditerranée*, série Histoire, 79-80 : 157-180.
- Ould Baba M. L., Duvail S., Hamerlynck O., Semega B., 1998 –
« Développement d'un modèle hydraulique pour la gestion du Parc national de Mauritanie ». In : *2^e conf. internationale sur les Zones humides et le développement*, Dakar, Sénégal, 8-14 novembre 1998.
- Ould Cheikh A. W., 1985 –
Nomadisme, islam et pouvoir politique dans la société maure précoloniale. Thèse doct. Sociologie, Univ. Paris-V.
- Ould Sehle D., 1999 –
Etude des pâturages du bas-delta mauritanien. Mémoire DEA, univ. Dakar, 75 p.
- Rouchier J.,
Requier-Desjardins M., 2000 –
La modélisation comme soutien à l'interdisciplinarité en recherche-développement. Une application au pastoralisme soudano-sahélien. *NSS*, 8 (3) : 61-67.
- UICN, PND, MDRE, 1997 –
Plan directeur d'aménagement du Parc national du Diawling et de sa zone périphérique, 1997-2001. Doc. MDRE, Nouakchoit, 63 p.
- Vazart P., 1957 –
Etude humaine de la région de N'Diogo. Doc. Mission d'aménagement du Sénégal (MAS), Saint-Louis, Sénégal, 9 p.