

## Optimisation de gestion de barrage : le barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal

Assurer la rentabilité d'un barrage multi-objectif en minimisant son impact sur l'environnement et sur les activités humaines traditionnelles, dans un contexte de faiblesse des ressources en eau : c'est ce que visent les règles de gestion établies par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour le barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal.

### Régime naturel d'écoulement du fleuve Sénégal

Situé en Afrique de l'Ouest et long de 1800 km (Figure 1), le fleuve Sénégal est caractérisé par une crue annuelle (juin-octobre) essentiellement alimentée par la mousson sur le haut bassin (Guinée, Mali), suivie d'un tarissement progressif pouvant aboutir à l'arrêt total de l'écoulement en mai ou juin. A l'aval de Bakel situé à plus de 800 km de l'embouchure, la crue ne reçoit plus que des apports assez faibles et se propage dans une vallée à très faible pente où elle inonde un vaste lit majeur, au grand bénéfice de l'environnement et de l'agriculture traditionnelle sur les deux rives du fleuve (Mauritanie et Sénégal), contribuant à alimenter :

- la recharge des nappes phréatiques ;
- les frayères pour la faune piscicole ;
- les pâturages pour le bétail ;
- les forêts comme source de combustible ;
- les cultures de décrue.

L'écoulement annuel naturel du fleuve est très variable (Figure 2). Certaines années, la crue inonde des superficies dépassant largement les possibilités d'exploitation de la population présente. Parfois très faible au contraire, elle sort alors à peine du lit mineur et ne permet quasiment aucune culture de décrue. La faiblesse globale des écoulements constatée depuis le début des années 70 et surtout la succession de crues très faibles dans les années 80 ont des conséquences catastrophiques pour l'écosystème et la population dans la vallée.

### Infrastructures

Sous l'impulsion de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) regroupant le Mali, la

## Dam management optimization: the Manantali dam on the Senegal River

Ensuring the profitability of a multi-purpose dam while minimizing its impact on the environment and on traditional human activities, in a context of low water resources: these are the goals of the management rules laid down by the Institut de Recherche pour le Développement (IRD) for the Manantali dam on the Senegal River.

### Natural regime of the Senegal River

Located in West Africa and 1800 km long (Figure 1), the Senegal River is characterized by an annual flood (June-October), which is mainly fed by the monsoon in the high basin (Guinea, Mali), followed by a progressive drying up, which can lead to the total stop of the flow in May or June. Downstream of Bakel, more than 800 km from the mouth, the flood is minimal but the waters spread through a very flat valley where it inundates a vast flood plain, for the greater benefit of the environment and traditional agriculture on the two banks of the river (Mauritania and Senegal), contributing to:

- Groundwater replenishment
- Spawning grounds for piscicultural fauna
- Pasture for cattle
- Forests, which will be used as a source of fuel
- Flood recession agriculture.

The natural annual flow of the river is very variable (Figure 2). Some years, the flood inundates surfaces that largely exceed the local population's farming capacity. Other years, it is so weak that it hardly leaves the low flow channel and allows only very few recession cultures. Overall lower flows since the beginning of the Seventies, and a succession of very low floods in the Eighties, have had catastrophic consequences for the ecosystem and the valley's inhabitants.

### Infrastructures

At the instigation of the Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS), which includes Mali, Mauritania and Senegal, two dams were built on the Senegal River to support development in the area:

- Inaugurated in 1987, the Manantali dam (height 60 m,

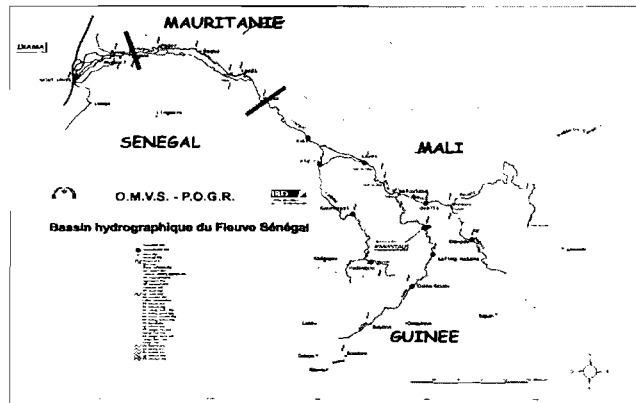


Figure 1 : voir pages couleur - see colour pages

implantés sur le fleuve Sénégal pour favoriser le développement dans la région :

- Mis en service en 1987, le barrage de Manantali (hauteur 60 m, volume 12 km<sup>3</sup>, superficie 460 km<sup>2</sup>) vise à produire de l'énergie (205 MW installé) et régulariser les débits : soutien d'étiage pour l'agriculture irriguée et la navigation ; laminage des fortes crues ; soutien des faibles crues pour le maintien de l'équilibre écologique et l'agriculture traditionnelle dans la vallée. Il contrôle environ la moitié des écoulements du fleuve.
- Depuis 1986, le barrage anti-sel de Diama empêche la remontée d'eau salée qui se produisait auparavant sur plusieurs centaines de kilomètres pendant l'étiage, permettant ainsi le développement de l'agriculture irriguée dans le delta.

### Problèmes de gestion liés au soutien de crue

L'agriculture extensive de décrue suit le retrait des eaux pour semer sur des terres qui ont été submergées par la crue. Ses rendements sont faibles, avec une unique récolte annuelle dépendant de l'ampleur de la crue. Au contraire, l'agriculture irriguée intensive permet de faire deux récoltes par an sur des périmètres spécialement aménagés, à condition d'une disponibilité permanente de l'eau. Pendant toute la phase de tarissement naturel du fleuve, le soutien d'étiage destiné à l'irrigation consiste à lâcher à Manantali des volumes qui ont été stockés en période de crue, au détriment éventuel des cultures de décrue.

Malgré l'eau douce désormais disponible dans le fleuve en quantité suffisante à longueur d'année grâce aux deux barrages, l'agriculture irriguée se développe moins vite que prévu dans la vallée : 125 000 ha actuellement exploités avec un taux d'intensification de 55%, pour un potentiel supérieur à 300 000 ha à 200%. Pour longtemps encore l'agriculture de décrue restera donc vitale pour les populations. Par ailleurs, une régularisation excessive des débits du fleuve déséquilibrerait encore plus l'écosystème de la vallée qui a déjà beaucoup souffert de la faiblesse des crues des 30 dernières années, avec une diminution notable de la flore arbustive. En raréfiant les inondations du lit majeur, elle pénaliserait la recharge des nappes phréatiques et entraînerait un appauvrissement de la faune piscicole. L'aridité de la région confère à la vallée du Sénégal une importance toute particulière et l'on aurait tort d'en négliger l'équilibre écologique, très lié à la crue annuelle.

Pour ces diverses raisons, le soutien de crue initialement envisagé comme provisoire doit être pérennisé. Or dans un contexte d'écoulement naturel déficitaire, il pénalise d'autres usages apparemment plus rentables. En effet, pour obtenir à l'entrée de la vallée (Bakel) une crue provoquant l'inondation souhaitée, il faut parfois lâcher à Manantali de forts débits qui ne peuvent être intégralement turbinés. Ces gros volumes évacués abaissent le stock disponible pour le soutien d'étiage destiné à l'irriga-

volume 12 km<sup>3</sup>, surface 460 km<sup>2</sup>) aims to produce energy (205 MW installed) and to regulate the flow of water: it provides low water levels for irrigated agriculture and navigation, reduces the impact of strong floods, and supports low floods to help maintain an ecological equilibrium and traditional agriculture in the valley. It controls approximately half the flows of the river.

- Since 1986, the anti-salt dam of Diama has prevented

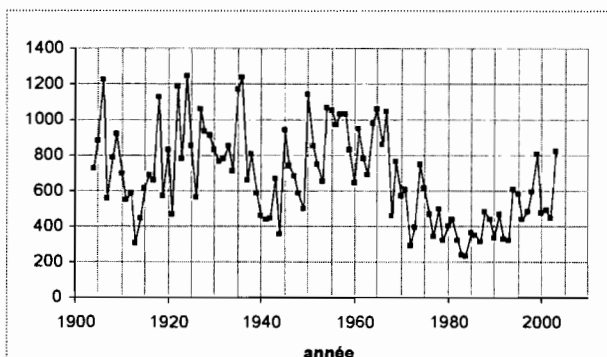


Figure 2 : Evolution du débit moyen annuel du Sénégal à Bakel en régime naturel depuis 1904.

*Evolution of the annual average flow of the Senegal at Bakel in natural mode since 1904.*

the upwelling of salt water, which used to occur over a distance of several hundred kilometers during the low water period, thus allowing for the development of irrigated agriculture in the delta.

### Flood support management problems

Flood recession cultures are sown in ground that was submerged by the flood, once the waters have receded. The yields are low, with a single annual harvest depending on the extent of the flood. Intensive irrigated agriculture, on the other hand, can yield two harvests a year in especially designed fields, provided water is available year-round. During the natural dry season, the low water levels needed for irrigation are supported by the release from Manantali of water stored during the flood, to the potential detriment of flood recession cultures.

Although fresh water is now available in the river in sufficient quantity during all the year thanks to the two dams, irrigated agriculture has developed less quickly than expected in the valley: 125,000 ha currently farmed at an intensity rate of 55%, with a potential of more than 300,000 ha at 200%. Flood recession agriculture will therefore remain vital for the valley's inhabitants for a long time yet. In addition, excessive regulating of the flows may further unbalance the valley's ecosystem that has already suffered so much from the low floods of the 30 last years, with a notable reduction in shrubs. If the flood plains are only rarely allowed to flood, this may prevent the groundwater from being replenished and would lead to a depletion of the fish fauna. Due to the aridity of the region, the Senegal valley assumes particular

tion, ainsi que la chute exploitable pour la production d'énergie.

Comment donc concilier le soutien de crue avec les autres objectifs assignés au barrage de Manantali ? C'est à cette question qu'a été consacrée une grande partie du Programme d'Optimisation de Gestion des Réservoirs réalisé par l'IRD à la demande de l'OMVS, sur financement du Fonds d'Aide pour la Coopération (France).

### Optimisation du soutien de crue

Le premier objectif consiste à définir un soutien de crue permettant de réaliser une superficie donnée de cultures de décrue, tout en lâchant le moins possible d'eau non turbinée à Manantali. L'analyse repose sur les données suivantes :

- Chroniques journalières de cote du plan d'eau pour certaines stations du lit mineur. Ces observations remontent jusque 1904 pour les principales stations.
- Mesures de débit à certaines stations.
- 3 ans de cote journalière de plan d'eau sur 10 plaines témoin inondées du lit majeur.
- Statistiques agricoles de superficies de cultures de décrue (période 1946-1999).
- Imagerie satellitaire : les scènes Spot ou Landsat utilisées (Figure 3) permettent de mesurer précisément des superficies inondées sur les plaines témoin et l'ensemble de la vallée pendant la crue pour 7 années situées entre 1986 et 1999. Elles donnent aussi une bonne estimation des superficies inondées maximales de ces 7 crues.

Ces données permettent d'établir différentes modélisations :

- Evolution du niveau dans les plaines témoin en fonction du niveau dans le lit mineur.
- Relations entre niveau et superficie dans les plaines témoin.
- Relation entre les superficies inondées maximales des 10 plaines et celle de l'ensemble de la vallée.
- Relation entre superficie inondée maximale et superficie totale de cultures de décrue.
- Relations entre la superficie des cultures de décrue et certaines caractéristiques de la crue à Bakel (moyenne des N plus fortes cotes journalières de l'année).
- Relations entre niveau et débit aux stations du lit mineur : bi-univoques à l'amont de Bakel et non bi-univoques à l'aval.
- Modèle de propagation calé entre stations successives du lit mineur, en débit à l'amont de Bakel (délai de plusieurs jours entre stations) et en cote à l'aval (délais de plusieurs semaines).

A partir de ces modélisations, on obtient les résultats suivants qui permettent de réaliser l'inondation souhaitée en causant un minimum de perte de production d'énergie :

*importance, and its ecological equilibrium, which is linked to the annual flood, must be protected.*

*For these reasons, flood support, which had initially been seen as a temporary measure, must now be perpetuated. However, in a context of weak natural flow, this will penalize other uses that may seem more profitable. Indeed, in order to obtain a strong enough flood at the entry of the valley (Bakel), it may sometimes be necessary for Manantali to release strong flows that exceed the capacity of the turbines. These large volumes lower the stock available for supporting the low water levels needed for irrigation and for energy production.*

*How to reconcile flood support with the other objectives of the Manantali dam? This was one of the central issues for the Program of Optimization of Management of the Reservoirs (POGR), which was carried out by the IRD at the request of the OMVS, with financing by the Funds of Assistance for the Co-operation (FAC, France).*

### Flood support optimization

*The first goal was to define a level of flood support that would allow for a given surface of recession cultures, while releasing as little water as possible outside of the turbines at Manantali. The analysis used the following data:*

- *Daily chronicle of water levels for certain stations of the low flow channel. These observations have been noted down 1904 at the main stations*
- *Measurements of discharge at certain stations*
- *3 years of daily water levels on 10 control flood plains*
- *Agricultural statistics on recession culture acreages (period 1946-1999)*
- *Satellite imagery: the Spot or Landsat scenes used (Figure 3) provide precise measurements of the inundated surfaces within the control plains and for the whole valley, during the floods between 1986 and 1999. They give also a good estimate of the annual maximum submerged surfaces of these 7 floods.*

*Various modelings were established with these data:*

- *Evolution of the level in the control plains depending on the level in the low water channel*
- *Relations between level and surface in the control plains*
- *Relation between the maximum submerged surfaces of the 10 plains and that of the whole valley*
- *Relation between maximum submerged surface and total surface of recession cultures*
- *Relations between the surface of recession cultures and some characteristics of the flood in Bakel (average of N highest daily water levels of the year)*
- *Relations between level and discharge at the stations of the low flow channel: bi-unique upstream of Bakel and non-bi-unique downstream*
- *Model of the propagation between successive stations of the low flow channel, in discharge upstream of Bakel (several days between stations) and in level downstream (several weeks).*

- Définition de l'hydrogramme (débit en fonction du temps) objectif minimal de crue du Sénégal à Bakel, en fonction de la superficie de cultures de décrue envisagée (Figure 4). Cet hydrogramme permet de submerger les zones à cultiver pendant au moins 25 jours, créant une réserve d'eau suffisante dans le sol pour le développement des plantes jusqu'à maturité.

- Procédure de calcul du débit à lâcher à Manantali pour obtenir l'hydrogramme objectif de crue à Bakel, en fonction des débits naturels observés sur le Bakoye et la Falémé.

- Détermination du meilleur moment dans l'année pour faire le soutien de crue : en moyenne, c'est avec un début de palier de débit maximal positionné au 28 août (Figure 4) que l'hydrogramme objectif de crue peut être réalisé à Bakel avec un minimum de volume lâché non turbiné à Manantali.

Cette date de crue est par ailleurs suffisamment précoce pour permettre le développement complet des cultures de décrue avant la saison froide.

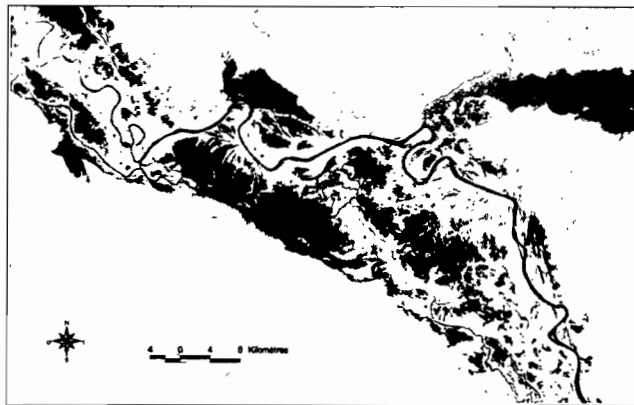


Figure 3 : voir pages couleur - see colour pages

*These modelings gave the following results, which will allow the required flooding with a minimal loss of energy production:*

- *Definition of the minimal flood hydrogram (discharge as a function of time) for the Senegal in Bakel, depending on the required surface of recession cultures (Figure 4). This hydrogram will submerge the zones to be cultivated for at least 25 days, creating sufficient water reserves in the ground for any plants to develop to maturity.*

- *Calculation of the discharge to be released at Manantali to produce the required flood hydrogram in Bakel, depending on the natural discharges observed on the Bakoye and Falémé Rivers.*

- *Determination of the best timing for flood support: on average, the maximum discharge phase should commence on August 28 (Figure 4) to produce the required flood hydrogram in Bakel*

*with a minimum volume released outside of the Manantali turbines. This date is also sufficiently early to allow complete development of the recession cultures before the cold season.*

### Recherche de compromis entre objectifs de gestion

Maintenant que l'on sait comment dépenser le moins d'eau possible pour réaliser une crue correspondant à une superficie donnée de cultures de décrue, la question est de savoir quelle superficie viser pour ne pas grever la production d'énergie de façon insupportable. La réponse est apportée par le logiciel Simulsen de l'IRD, qui permet de simuler au pas de temps journalier la gestion d'un barrage à objectifs multiples tel que Manantali, pour tester et comparer les performances de différents scénarios de gestion.

Chaque scénario simulé est caractérisé par un certain nombre de consignes assorties de rangs de priorité, visant chacune à satisfaire un objectif de gestion dans l'immédiat ou à préserver le stock ou le volume vide nécessaire dans la retenue pour la satisfaction future de l'objectif. Par exemple :

- Lâcher un débit suffisant pour produire une puissance objective ou pour atteindre un hydrogramme objectif minimal à Bakel (soutien d'étiage pour les cultures irriguées ou soutien de crue pour les cultures de décrue)
- Lâcher un débit suffisamment faible pour ne pas dépasser un débit maximal de sécurité (laminage des fortes crues à Bakel).

### Search for compromise between management goals

*With these results, we know how to use as little water as possible to produce a flood corresponding to a given surface of recession cultures. The next question is which area to flood so as not to penalize energy production in an intolerable fashion. The answer is provided by the IRD's Simulsen software, which can simulate daily time-steps for the management of a multiple-purpose dam such as Manantali and test and compare the results of different scenarios.*

*Each simulated scenario is characterized by prioritized rules that aim either at satisfying a management goal immediately or at preserving the required stock or empty volume in the reservoir to satisfy the goal later on. For example:*

- *Releasing a sufficient discharge to produce a given amount of electric power or a minimal hydrogram at Bakel (support of low water levels for irrigated cultures or flood support for recession cultures)*
- *Releasing a sufficiently low discharge so as not to exceed a safety limit of discharge (reduction of the strong floods at Bakel)*
- *Releasing a sufficiently high (resp. low) discharge to preserve a sufficient empty volume (resp. water stock) in reservoir, allowing for future protection against high floods (resp. of support of low water levels or power production).*

- Lâcher un débit suffisamment fort (resp. faible) pour préserver un volume vide (resp. un stock d'eau) suffisant dans la retenue, permettant la satisfaction future de l'objectif de laminage de crue (resp. de soutien de débit ou de production de puissance).

A chaque pas de temps, le logiciel calcule le débit à lâcher en fonction des limites déterminés à partir des consignes simulées, considérées par priorité décroissante. Pour tester les potentialités de Manantali, plus de 200 scénarios de gestion ont été simulés sur la base des débits naturels de la période 1970-2000, considérée comme une hypothèse plutôt pessimiste pour la ressource en eau à venir. Ils diffèrent entre eux par les besoins envisagés pour l'agriculture irriguée (actuels, doublés ou triplés), la superficie souhaitée pour les cultures de décrue (45000 à 60000 ha) et le niveau minimal de plan d'eau dans le réservoir au 20 août en deçà duquel on renonce au soutien de crue pour l'année en cours.

Tous les scénarios simulés satisfont pleinement les besoins de l'agriculture irriguée du fait que parmi leurs consignes prioritaires figurent non seulement le soutien d'étiage mais aussi la préservation du stock nécessaire. Certaines années cette préservation peut entraîner l'arrêt du soutien de crue destiné aux cultures de décrue, pour lesquelles les superficies obtenues, comme la production annuelle d'énergie, varient selon les scénarios. Les moyennes inter-annuelles de ces deux facteurs apparaissent liées de façon linéaire sur l'ensemble des scénarios simulés, pour chaque scénario de besoin envisagé pour l'agriculture irriguée (Figure 5) Ainsi, le soutien de crue entraîne en moyenne une perte de production de puissance de 614 watts (resp. 660 ou 789 W) par hectare supplémentaire obtenu pour les cultures de décrue, dans le cas des besoins actuels (resp. doublés ou triplés) de l'agriculture irriguée.

La fonction de répartition des superficies de cultures de décrue obtenues permet également d'évaluer les performances des scénarios de gestion testés. Dans le cas des besoins actuels de l'irrigation, la Figure 6 montre que l'absence totale de soutien de crue (scénario C), très rentable pour la production d'énergie (869 GWh/an), est inacceptable pour les cultures de décrue. En effet, la superficie obtenue est alors inférieure une année sur deux à 23 000 ha, valeur dépassée neuf années sur dix en régime naturel. Le soutien de crue systématique (scénarios B1 et A1 visant respectivement 45 000 et 60 000 ha de cultures de décrue), ne semble pas non plus acceptable, cette fois à cause d'une production moyenne d'énergie (resp. 769 et 703 GWh/an) trop inférieure au seuil de rentabilité économique évalué à 800 GWh/an pour Manantali.

Le meilleur compromis consiste à faire un soutien de crue sous condition de stock disponible. Ainsi le scénario B2 envisage de le réaliser en visant 45 000 ha de cultures de décrue, chaque fois que le plan d'eau dépasse la cote 199 m au 20 août. Les résultats obtenus sont alors acceptables

*At each time step, the software calculates the released discharge based on the limits determined by the simulation rules, considered by decreasing priority.*

*In order to test the potentialities of Manantali, more than 200 management scenarios were simulated on the basis of natural flow of the period 1970-2000, considered as a rather pessimistic assumption for future water resources. They differ from each other as to the needs for irrigated agriculture (current, doubled or tripled), the desired surface for the recession cultures (45,000 to 60,000ha) and the minimal level of water needed on August 20 in the reservoir to allow flood support for the current year.*

*All the scenarios fully satisfy the needs for irrigated agriculture because they include the necessary stock preservation with a high priority among the simulation rules. Some years, this preservation may stop the flood support intended for the recession cultures, the surfaces of which, like the annual production of energy, vary according to scenarios. The inter-annual averages of these two factors appear linearly related for all scenarios regarding the irrigated agriculture (Figure 5). Thus, the flood support involves a mean power production loss of 614 Watts (resp. 660 or 789 W) per additional hectare obtained for the recession cultures, in the present-needs (resp. doubled or tripled needs) scenario for irrigated agriculture. The distribution function of the recession culture surfaces obtained also allows us to evaluate the performances of the management scenarios tested. In the present-needs case irrigation, Figure 6 shows that the total absence of flood support (scenario C), which is very profitable for energy production (869 GWh/year), is unacceptable for the flood recession cultures. Indeed, the annually surface obtained every other year is less than 23,000 ha, a value which is exceeded nine years out of ten in natural mode. The systematic flood support (scenarios B1 and A1 respectively, aiming for 45,000 and 60,000 ha of recession cultures) is not acceptable either, because the average energy production (resp. 769 and 703 GWh/year) is much lower than the economic break-even point (800 GWh/year) for Manantali.*

*The best compromise consists in providing support provided stock is available. Thus scenario B2 plans for 45,000 ha of recession cultures, provided that the water level exceeds 199 m in the reservoir on August 20. Its results are acceptable for energy production (793GWh/year) and for the recession cultures, with a very low surface occurring approximately only one year out of 10, as in natural mode.*

## **Conclusion**

*Because of the persistent weakness of the natural flows observed in the Senegal basin since the beginning of the Seventies, we have to reconsider the management and the potential performance of the Manantali dam, which was dimensioned with hydrological data prior to 1978. Initially seen as a temporary goal, the flood support intended to help*

tant pour l'énergie produite (793 GWh/an) que pour les cultures de décrue, une superficie très faible ne se produisant environ qu'une année sur 10 comme en régime naturel.

## Conclusion

La faiblesse persistante des apports en eau observée sur le bassin du fleuve Sénégal depuis le début des années 70, amène à reconsidérer le mode de gestion et les performances potentielles du barrage de Manantali qui avait été dimensionné à partir de données hydrologiques antérieures à 1978. Initialement prévu comme provisoire, le soutien de crue destiné au maintien de l'équilibre écologique de la vallée et aux activités agricoles traditionnelles doit être aujourd'hui considéré comme un objectif de gestion à part entière, malgré son influence négative sur les autres usages économiquement plus rentables.

L'IRD a déterminé un mode de soutien de crue optimisé permettant de réaliser un objectif de cultures de décrue en pénalisant le moins possible la production d'énergie de Manantali. Les simulations réalisées avec son logiciel Simulsen offrent par ailleurs une base objective de discussion pour le choix d'une stratégie de gestion par les pays riverains du fleuve. Ces différents résultats sont utilisés par l'OMVS depuis 2001 pour gérer le barrage.

Toujours dans le cadre d'une recherche appliquée, l'unité DIVHA de l'IRD s'intéresse actuellement à l'utilisation de prévisions météorologiques saisonnières pour la gestion de Manantali, ainsi qu'à une modulation du soutien de crue en fonction du stock disponible.

Ce Programme d'Optimisation de Gestion des Réservoirs est réalisé par l'Unité de Service DIVHA (dynamique, impact et valorisation des hydroaménagements) de l'Institut de Recherche pour le Développement. Le financement est assuré par le Fonds d'Aide et de Coopération (France) avec pour bénéficiaire l'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal).

sites web :

US DIVHA : [www.mpl.ird.fr/hydrologie/divha](http://www.mpl.ird.fr/hydrologie/divha)

OMVS : [www.omvs.org](http://www.omvs.org)

*maintain the valley's ecological equilibrium and traditional agricultural activities must be regarded today as a very important goal, in spite of its negative influence on other uses that may seem more profitable economically.*

*The IRD determined a mode of optimized flood support that will provide for recession cultures as well, while penalizing energy production at Manantali as little as possible. In addition, the simulations carried out with its Simulsen software offer an objective base of discussion to help the bordering countries choose a management strategy. These various results have been used by the OMVS since 2001 to manage the dam. Continuing its applied research, the IRD's DIVHA unit is currently studying the usefulness of seasonal weather forecasting to help manage Manantali, and how to modulate the flood support depending on the stock available.*

*This Dam Management Optimization Program was set up by the DIVHA (Dynamics, Impacts and Development of Hydro Projects) Unit of the Institut de Recherche pour le Développement. Financing is provided by the Fonds d'Aide et de Coopération (France), through the OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal).*

sites web :

US DIVHA : [www.mpl.ird.fr/hydrologie/divha](http://www.mpl.ird.fr/hydrologie/divha)

OMVS : [www.omvs.org](http://www.omvs.org)

**Contact : Jean-Claude Bader**  
Dynamique, Impact et Valorisation des  
Hydroaménagements, IRD  
Maison des Sciences de l'Eau de Montpellier,  
bader@mpl.ird.fr  
**Jean-Pierre Lamagat**  
IRD,  
centre IRD de Dakar,  
lamagat@dakar.ird.sn



## Optimisation de gestion de barrage : le barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal Dam management optimization: the Manantali dam on the Senegal River

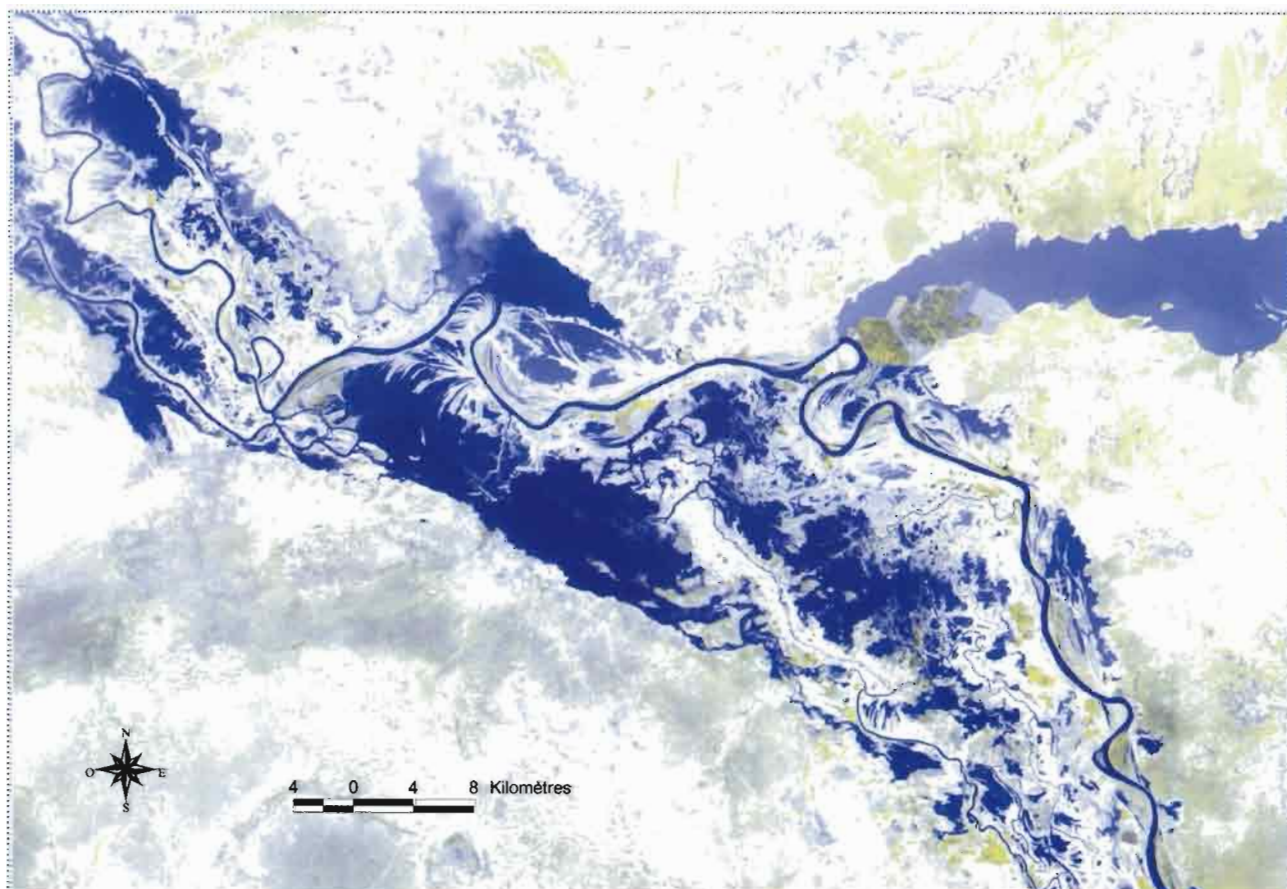
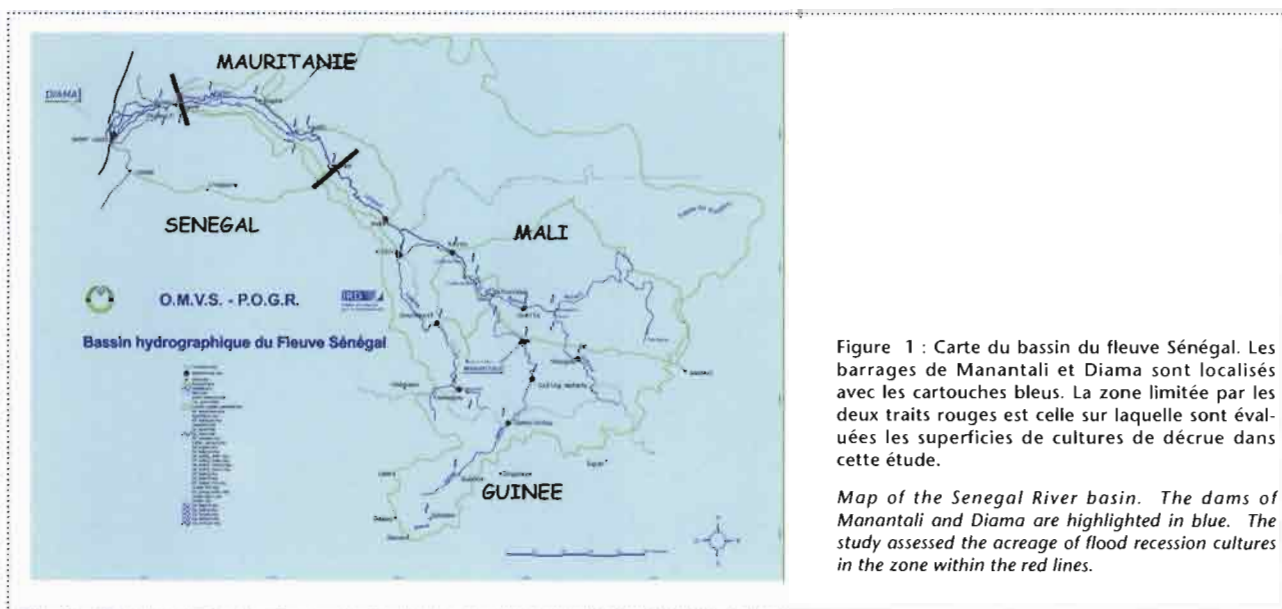


Figure 3 : Vue par satellite de l'inondation du lit majeur du fleuve Sénégal. Région de Kaédi, octobre 1999.

Satellite image of the flooding of the river Senegal floodplain. Region of Kaédi, October 1999.