

Pierre MICHEL
Géographe,
Université Louis Pasteur
Strasbourg
LA 95 CNRS

Mamadou SALL
Géographe, Université de Dakar
Sénégal

6

Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Sénégal

RÉSUMÉ

Le Sénégal a façonné une vallée alluviale large de 10 à 25 km en aval de Bakel (fig. 1). Après la transgression du Nouakchottien, le fleuve a construit un réseau de hautes levées et un delta très allongé à l'W de Bogué ; puis il a tracé des méandres avec des faisceaux de levées plus petites (fig. 2). Des cuvettes de superficies très variables s'étendent entre les hautes levées très ramifiées. La crue annuelle inonde plus ou moins le lit majeur (fig. 3). Depuis 1970 les modules du fleuve ont été déficitaires à cause de la sécheresse persistante (fig. 4). Les sols dépendent du modelé et de la submersion par les hautes eaux ; ils deviennent salés dans le Delta.

La géodynamique est liée surtout à la crue annuelle, mais en saison sèche les terrains subissent les effets du climat sahélien. Les eaux sapent les rives concaves des méandres qui s'agrandissent. D'après des mesures faites de 1974 à 1980, le recul moyen annuel de la berge a varié de 1,71 m à 0,64 m d'amont en aval. Les eaux inondent ensuite le lit majeur et s'y décantent. L'épaisseur des dépôts argileux est de 1 à 1,50 m dans les cuvettes bien vidangées, mais dépasse 3 m dans les dépressions où l'eau stagne longtemps ; ainsi la sédimentation varierait de 0,2 à 0,8 mm par an. Les cuvettes sursalées du Delta évoluent en sebkhas. De nombreuses nebkas témoignent de l'importance de la déflation éolienne sur les anciennes levées fluvio-deltaïques. S'adaptant au milieu naturel, les paysans de la vallée pratique depuis très longtemps la culture de décrue du sorgho. Elle a beaucoup diminué depuis que les modules du fleuve sont déficitaires. Des paysans ont établi des « petits périmètres » irrigués sur les hautes levées. La culture de décrue n'était pas possible dans le Delta à cause de la salinité des terres. Plusieurs « grands périmètres » de riziculture et un casier sucrier y ont été aménagés depuis 1950 (fig. 5).

Ces premières installations hydro-agricoles ont déjà engendré des modifications de la géodynamique. Elles se manifestent par un certain déplacement du colmatage, qui se produit maintenant surtout dans le bas estuaire non endigué, et par un changement dans l'évolution des grandes cuvettes du Djoudj et du Ndiel (fig. 5), qui est inversée. La première, devenue parc national aux oiseaux, est inondée artificiellement et se colmate. La seconde sert d'exutoire aux eaux salées du casier de Richard-Toll et évolue en sebkha. Les cuvettes aménagés, qui ne font pas l'objet d'une culture de contre-saison, sont aussi le siège d'une active déflation éolienne et de formation de nebkas.

Pour parvenir à une maîtrise totale de l'eau, l'O.M.V.S. a établi un programme de développement intégré comprenant la construction des barrages de Diama et de Manantali (fig. 1), qui a commencé en 1981 et 1982. Le premier, situé dans le Delta, stockera de l'eau douce dans le lit mineur jusqu'à Bogué. Ainsi le colmatage pourrait devenir prédominant à l'amont du barrage au détriment de la sédimentation actuelle dans le bas estuaire. Le second, qui se trouve dans le haut bassin au Mali, sera un barrage-réservoir. Les effets du colmatage sur l'évolution de la retenue doivent être examinés à la lumière des données relatives aux systèmes d'érosion. Dans les domaines guinéen et soudano-guinéen, l'érosion et les transports sont très faibles si la végétation n'est pas dégradée, mais ils augmentent dans le domaine soudanien. Ainsi se pose le problème de l'évacuation de cette importante charge solide puisque la régularisation du fleuve se traduira par une réduction des débits de crues.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL PROCESSES AND THE MANAGEMENT OF THE ALLUVIAL VALLEY OF THE SENEGAL

The Senegal is characterised by an alluvial valley 10 to 25 km wide downstream of Bakel (fig. 1). After the Nouakchottian transgression, the river built up a network of high levees and an elongate delta west of Bogué, and subsequently traced out a series of meander belts studded with bands of smaller levees (fig. 2). Basin of very variable size are found within the highly ramified network of high levees. The extent of annual flooding of the valley varies (fig. 3). Since 1970, annual flood discharge of the river has been on the wane because of the persistent Sahel drought (fig. 4). Soil types are closely dependent on landform types and on the degree of annual flooding during periods of high discharge. Within the delta pedogenesis is closely controlled by salinity.

Geomorphic processes active within the valley are predominantly generated by the annual flood but in the dry season, the landscape is subject to a Sahel type climate. Flood waters actively sap the concave banks of meander bends which are thus enlarged. Annual rates of bank erosion vary from 1.71 m upstream to 0.64 m downstream. Bank erosion is attended by submersion of the floodplain where suspended floodwater-borne material settles out. In the better drained flood basins, clayey deposits attain a thickness of 1 to 1.5 m but are more than 3 m thick in the poorly drained basins. The annual rate of sedimentation thus varies from 0.2 to 0.6 mm. Basing with high salt concentrations in the delta zone evolve as sebkhas. The presence of numerous nebkhas along ancient fluviodeltaic levees brings out the importance of aeolian deflation. In adaption to their natural environment, peasants in the Senegal valley have for a long time cultivated sorghum during the flood abatement period. Recent deficits in flood discharge have severely restricted this practice. The peasants have established small irrigated plots on the high levees. In the delta area, where sorghum cultivation is rendered impossible by heavy salt concentrations, several big parcels devoted to rice cultivation and a sugar plantation were set up since 1950 (fig. 5).

These hydro-agricultural installations have had a marked effect on geomorphic processes in the Senegal valley. The zone of active sedimentation has now shifted downstream especially towards the lower part of the estuary which was not dyked up. The geomorphic regime of the Djoudj and Ndiael basins (fig. 5) has also been drastically modified. The first, declared a national bird reserve, is artificially flooded and is gradually sealing up while the latter serves as an outlet for salt water from the Richard Toll sugar plantation and now evolves as a sebkha. Basins cultivated during the flood period and left unexploited during the dry season become exposed to aeolian deflation and develop into nebkhas.

aval de Bakel le fleuve traverse un vaste bassin sédimentaire du Tertiaire. Il a entaillé les grès argileux du Continental terminal et façonné une grande vallée alluviale, dont la largeur varie de 10 à 25 km (P. MICHEL, 1957, 1973). Elle s'étire sur 430 km jusqu'à Richard-Toll, formant un immense arc de cercle (fig. 1). Puis le Sénégal traverse une région plate, c'est le Delta (J. TRICART, 1955, 1961). Il dessine une grande boucle et se dirige vers le SSW pour se jeter dans l'océan au S de Saint-Louis par une embouchure instable (fig. 5).

Le fleuve trace de nombreux méandres dans cette vaste plaine alluviale ; ainsi la pente générale de son profil en long est extrêmement faible, de l'ordre de 0,02 ‰ (P. MICHEL, 1973). Le fleuve se divise en deux bras en aval de Kaédi : le petit bras, appelé Doué, longe le bord sud de la vallée et rejoint le cours principal un peu en aval de Podor (fig. 1). Les divers dépôts forment des micro-reliefs qui jouent un rôle primordial dans la submersion du lit majeur par la crue annuelle et la culture de décrue traditionnelle. Ce modelé intervient aussi dans les aménagements hydro-agricoles en cours ou à venir.

LA FORMATION DE LA VALLÉE ET SON MILIEU NATUREL

Le Sénégal a creusé sa vallée pendant le Quaternaire ancien et moyen dans des sédiments tendres, par étapes successives dont témoignent les restes de terrasses graveleuses (P. MICHEL, 1957, 1968 a). Dans sa partie aval il a même entaillé son lit sous le zéro actuel lors de la dernière régression marine. Le climat est devenu aride pendant l'Ogolien, de 21 000 à 13 000 ans BP. De vastes ergs de dunes longitudinales NE-SW se sont alors formés dans le Trarza et le Brakna (SW de la Mauritanie) ainsi que dans le Cayor (W du Sénégal). Ils ont barré progressivement le fleuve jusqu'à la hauteur de Kaédi (fig. 1). Lorsque le climat est redevenu humide, le niveau de la mer était encore bas. Le Sénégal entailla alors les cordons dunaires successifs pour rejoindre de nouveau l'océan. Entre 11000 et 8000 ans BP, lors d'une période nettement plus humide, les dunes fixées par la végétation se sont rubéfiées. Le niveau marin se releva progressivement. Au maximum de la transgression, pendant le Nouakchottien vers 5500 ans BP, la mer a occupé tout le Delta et formé un golfe allongé dans la basse vallée jusqu'à Bogue qui se trouve à 250 km de la côte (fig. 1).

Puis le golfe marin a été partiellement fermé par une série de cordons littoraux et s'est transformé en une vaste lagune (P. MICHEL, P. ELOUARD, H. FAURE, 1968). Le Sénégal a édifié alors un réseau de hautes levées, flanquées de deltas de rupture de levées (fig. 2). En aval de Bogue il a construit un delta très allongé qui comblait peu à peu la lagune. Ces hautes levées post-nouakchottiennes, fluviales ou fluvio-deltaïques, sont toujours formées de sable fin et limon jaunes, bien compactés. Elles ont incorporé du sel dans la région du Delta (J. TRICART, 1955, 1961). Ces dépôts sablo-limoneux sont de plus en plus ramifiés et occupent près de la moitié de la vallée alluviale¹. Ces terrains élevés sont appelés *fondé* par les paysans toucouleur (fig. 3).

Il semble que l'édification des hautes levées s'est arrêtée vers 2000 ans BP lorsque le climat était un peu plus sec. Mais les eaux du fleuve sapaient ces bourrelets à la montée de la crue dès que l'une des rives était légèrement concave. La majeure partie du matériel était déposé à faible distance devant la berge convexe. Ainsi le Sénégal a tracé une succession de grands méandres avec des faisceaux de levées subactuelles (fig. 2) ; elles sont plus basses et présentent des formes plus fraîches que les grandes

1. P. MICHEL (1973) : cf. les cartes en couleurs hors texte à 1/200 000.

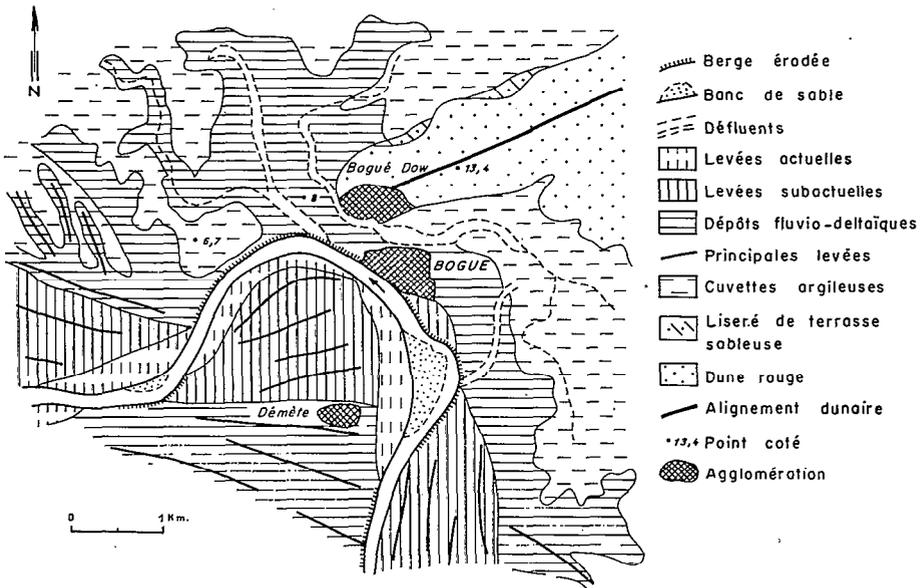


Fig. 2 : Croquis géomorphologique des environs de Bogué.

levées post-nouakchottiennes. Les anciennes embouchures furent fermées par l'avancée des dunes littorales. Le fleuve a alors abandonné son delta et traversé des vasières dans la région de Saint-Louis pour se jeter dans l'océan par un estuaire (fig. 5).

Entre les divers réseaux de levées et deltas, parfois enchevêtrés, s'étendent des cuvettes de formes et de superficies très variables (fig. 2). Elles sont inondées par la crue annuelle du Sénégal depuis plusieurs millénaires. Les eaux s'y sont décantées. C'est pourquoi une couche d'argile brune tapisse le fond de ces cuvettes, recouvrant les sables blancs du golfe nouakchottien dans la basse vallée et des dépôts fluviatiles sablonneux plus en amont. Ce sont les terrains *hollaldé* (fig. 3).

La vallée alluviale du Sénégal se situe dans le domaine sahélien. Les précipitations moyennes annuelles diminuent de 700 mm, dans la région de Bakel, à 300 mm dans la

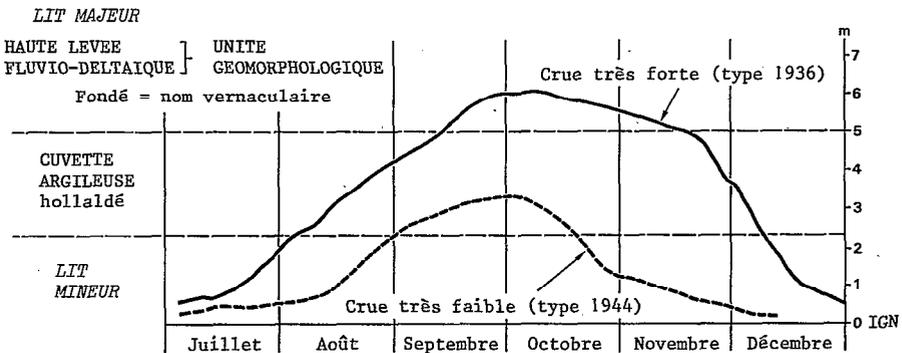


Fig. 3 : Hauteurs de crues du Sénégal à Podor.

basse vallée (fig. 1). Mais les pluies sont irrégulières et surtout très déficitaires depuis une douzaine d'années. Ainsi l'isohyète 250 mm, qui passe normalement au N de la basse vallée, se situait en 1972 dans la région de Matam ! (fig. 1). Cette sécheresse accentuée et prolongée se répercute évidemment sur le régime hydrologique, la végétation et la vie rurale (A. LERICOLLAIS, 1976, Ch. TOUPET, P. MICHEL, 1979).

La crue annuelle du fleuve est alimentée surtout par les pluies abondantes qui tombent sur le massif du Fouta Djallon (C. ROCHETTE, 1974). Mais sa hauteur varie beaucoup d'une année à l'autre et par conséquent aussi l'ampleur de l'inondation du lit majeur (fig. 3). Par crue très forte, type 1936, toute la vallée alluviale est submergée ; seules les parties les plus hautes des systèmes de levées post-nouakchottiennes et de terrasses émergent encore. Les crues très faibles, type 1944, remplissent à peine les parties basses des cuvettes argileuses. Puisque les pluies étaient également déficitaires dans le haut bassin, les crues ont été toutes faibles ou très faibles depuis 1970, mis à part celle de 1974. Ainsi les modules annuels du Sénégal à Bakel se situaient de 1970 à 1981 en dessous du module moyen de 1903 à 1969 qui était de 780 m³/s (fig. 4) ; celui de 1972 n'atteignait que 264 m³/s !

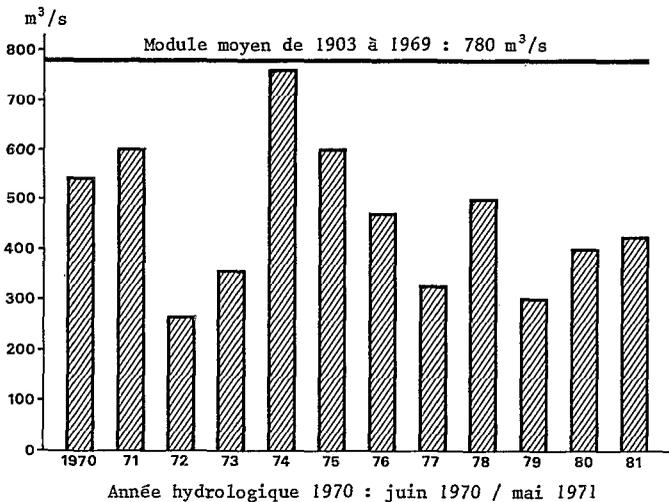


Fig. 4 : Évolution des modules du Sénégal à Bakel de 1970-1981.

Les sols de la vallée alluviale sont tous plus ou moins jeunes. La pédogenèse dépend étroitement du micro-relief, de la nature du terrain et de la durée et la submersion par les hautes eaux annuelles (P. MICHEL, 1968 c). Ainsi fut établie une carte géomorphologique-pédologique de toute la vallée de Bakel à l'embouchure à 1/50 000 dans le cadre des programmes d'études de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) ; elle comprend 35 feuilles ! (SEDAGRI, 1973). Les hautes levées post-nouakchottiennes et les deltas de ruptures de levées portent toujours des sols peu évolués d'apport plus ou moins hydromorphes (P. MICHEL, J.H. DURAND, 1978). Les petites levées sont recouvertes par la crue pendant une durée plus longue ; dans ces conditions se sont formés des sols hydromorphes à pseudogley, marqués par la présence de taches et concrétions ferrugineuses. Les cuvettes de décantation présentent des terrains argileux, riches en montmorillonite. Le plus souvent elles sont bien drainées et la pédogenèse y a façonné des vertisols topomorphes. Mais dans les parties basses où l'eau stagne longtemps apparaissent des sols hydromorphes à gley de

surface ou d'ensemble. Dans la région du Delta, la pédogenèse est marquée essentiellement par la présence de sels d'origine marine. Les sols sont donc presque tous halomorphes. Ainsi des sols salins acidifiés se sont formés aussi bien sur les levées deltaïques que dans les cuvettes de décantation. Les cuvettes submergées régulièrement par l'eau douce de la crue, tendent à se dessaler ; des sols hydromorphes à gley ou pseudogley peuvent y apparaître.

Cette grande vallée alluviale, longue de 430 km, tranche par la diversité de son couvert végétal, plus ou moins verdoyant en saison sèche, sur la monotonie des steppes sahéliennes (P. MICHEL, A. NAEGELÉ, Ch. TOUPET, 1969). Beaucoup de dépressions présentent un aspect boisé assez surprenant sous cette latitude. La forêt est toujours formée d'un peuplement ligneux dense et monophytique d'*Acacia nilotica*. L'importance de l'inondation explique l'absence de tapis herbacé dans ces boisements. Ils occupent encore partiellement de grandes cuvettes argileuses et des sillons allongés entre les bourrelets de levées subactuelles. Mais la mise en culture des terres pendant la décrue a considérablement restreint les surfaces boisées du lit majeur. Sur les terrains en friches apparaît une mosaïque de groupements herbacés, dont le principal est la vétiveraie. Les hautes levées, en partie insubmersibles, sont souvent couvertes de boisements assez touffus, comprenant de nombreuses espèces arbustives. Mais dans la basse vallée, les grands bourrelets ne portent plus que des arbres isolés et des buissons espacés, ne couvrant qu'une faible partie du sol. Quelques rôneraies prospèrent sur des levées récentes et une saulaie ripicole pousse encore, par endroit, sur la rive convexe en pente douce. Par contre, la berge concave des méandres, beaucoup plus raide, n'est guère recouverte de végétation, ce qui facilite son sapement au cours de la crue (fig. 2). La bordure de la vallée est souvent occupée par un boisement dense et complexe qui fait la transition entre *le walo* (lit majeur) et *le diéri*, c'est-à-dire les terrains plus élevés jamais atteints par les hautes eaux, dunes ogoliennes ou glacis. Ce boisement, comme les steppes ou savanes arbustives s'étendant de part et d'autre de la vallée, a beaucoup souffert de la sécheresse (H. POUPON, 1976) et de la fabrication de charbon de bois pour les centres urbains. Les terrains salés du Delta ne portent qu'une maigre steppe à halophytes dont les éléments pérennes sont séparés par des intervalles plus ou moins grands, complètement dénudés en saison sèche. Sur les vasières de la région de Saint-Louis subsiste par place une mangrove assez appauvrie et de petite taille.

Ainsi, la vallée alluviale, formée en cours du Quaternaire récent, présente des milieux très variés. Ces unités de paysage se caractérisent par leur modelé, la durée de submersion, leur sol et leur couvert végétal

GÉODYNAMIQUE ET UTILISATION DES TERRAINS

C'est surtout la crue annuelle du fleuve qui continue de façonner la vallée alluviale, aussi bien le lit mineur que le lit majeur. Mais au cours de la longue saison sèche les terrains subissent les effets du climat sahélien. Le façonnement du lit majeur prend alors un caractère zonal (P. MICHEL, 1968 b).

Les premiers flots de la crue s'écoulent uniquement dans les lits mineurs du Sénégal et du Doué. La vitesse des courants atteint alors 1 à 1,3 m³/s. Les eaux sapent les rives concaves des méandres. Mais le fleuve abandonne les éléments les plus gros (sable moyen) dès que son courant ralentit et les dépose au pied de la rive convexe du méandre suivant sous forme d'un blanc de sable (fig. 2) ; ainsi il continue d'agrandir ses sinuosités ou en crée de nouvelles après le recoupement d'un méandre. Ces sables déplacés sur 2 à 3 km indiquent la limite de la compétence actuelle du Sénégal dans son cours inférieur. Les limons sont transportés en suspension sur des distances

beaucoup plus grandes. Les mesures de débit solide, encore peu nombreuses², indiquent une charge d'éléments en suspension nettement plus élevée à Dagana qu'à Bakel (fig. 1) en début de crue (P. MICHEL, 1973). Une bonne partie de ce matériel fin est acheminée jusqu'à la mer puisque les eaux du fleuve sont alors très boueuses à l'embouchure.

L'importance de cette érosion latérale dépend d'abord du matériel des berges. Les eaux érodent facilement les sables fins et limons des levées post-nouakchottiennes ou subactuelles. Les niveaux d'argiles, plus compacts, résistent mieux à l'attaque et restent souvent en saillie. L'érosion la plus forte se produit dans les sables des dunes ogoliennes fixées ; le Doué les entailles à plusieurs endroits au SE de Podor. Mais l'ampleur du sapement des berges est fonction aussi de l'importance de la crue qui varie d'une année à l'autre. L'érosion peut être catastrophique par très forte crue puisque la plupart des villages dans la vallée sont construits sur les parties hautes des levées post-nouakchottiennes de la rive concave des méandres du Sénégal et du Doué. Ainsi la berge du Sénégal à Moudéri³ a été érodée en plusieurs endroits sur une largeur de 5 m par la seule crue de 1964 et les flots ont englouti un certain nombre de cases (P. MICHEL, 1966). Les petits centres urbains qui jalonnent la vallée sont aussi situés sur des rives concaves de méandres près des mouilles, comme Bogué (fig. 2). La plupart de ces « escales » du fleuve ont été grignotées par le sapement des berges. La comparaison d'anciens plans de Matam (fig. 1) avec la position en 1957 montre que la berge a reculé de 54 m en 60 ans à côté du quai submersible (P. MICHEL 1968 b). De même les renseignements obtenus dans certains villages et la comparaison du levé hydrographique de la mission MAZERAN (1906) avec les photographies aériennes à 1/15 000, prises en 1959, indiquent une érosion moyenne de 1 à 1,50 m par an pour les rives concaves des méandres les plus importants.

Pour mesurer d'une façon précise ce sapement des berges, l'un de nous (P. MICHEL) a mis en place en 1955-56, un dispositif sur la rive concave de trois méandres. Le programme de mesures, interrompu en 1957, a été repris par l'autre auteur (M. SALL) en 1973 et trois nouvelles stations ont été implantées. Les postes d'observations se situent dans la basse vallée, à Dagana et dans la région de Podor (n° 1-5) sur le Sénégal et le Doué, sauf celle de Vaoundé (n° 6) qui se trouve dans la partie amont de la vallée alluviale (fig. 1). Les résultats des différents contrôles de repères (mires, bornes ou arbres peints) ont permis d'établir les deux tableaux de synthèse suivants (M. SALL, 1982).

Ces mesures montrent notamment que l'érosion diminue vers l'aval. Elle est très forte dans le secteur amont à Vaoundé, comme l'indiquait déjà l'observation faite à Moudéri, atteignant 1,71 m/an. Dans la région de Podor, elle varie entre 0,82 et 1,22 m/an, alors qu'à Dagana elle n'est plus que de 0,64 m/an. La nature du terrain intervient : ainsi à Mbantou où le Doué entaille une dune ogolienne, elle s'élève à 1,22 m/an, alors qu'à Léboundou, Diatal et Lam Nadié où le Doué et le Sénégal sapent d'anciennes levées, elle est de 0,94, 0,82 et 0,88 m/an.

Pendant ces six ans, de 1974 à 1980, l'érosion a très peu varié d'une année sur l'autre. Les crues ont été toutes plus ou moins faibles en cette période de sécheresse prolongée et les modules tous déficitaires (fig. 4). Elle peut être assez favorable aux sapements latéraux puisque l'écoulement est canalisé dans le lit mineur pendant l'essentiel de la durée de la crue (fig. 3, type 1944), mais lors des très fortes crues, les courants plus violents peuvent aussi engendrer une érosion brutale, comme à Moudéri

2. Des mesures systématiques sont faites par l'ORSTOM depuis 1978, mais les résultats ne sont pas encore publiés.

3. Ce village, situé à 30 km en aval de Bakel, se trouve au début de la vallée alluviale (fig. 1).

Dynamique des paysages dans la vallée du Sénégal

Station	1974/75	1975/76	1976/78	1978/79	1979/80
DAGANA	0,18	0,70	1,20	0,90	0,87
LEBOUDOU (Doué)	1,02	0,59	2,38	0,85	0,82
MBANTOU (Doué)	1,38	1,39	1,48	1,57	1,51
LAM NADIE	0,99	0,90	1,87	1,00	0,48
DIATAL	0,98	0,96	1,42	0,78	0,76
VAOUNDE	3,14	4,12		1,29	non mesuré
Moyenne, sans Vaoundé	0,91	0,90	1,67	1,02	0,88

N.B. Les mesures ont été faites en période de basses eaux pendant l'année hydrologique juin 1974/mai 1975, etc...

TABLEAU I

Recul des berges aux divers intervalles chronologiques (en mm)

STATION	en m
DAGANA	0,64
LEBOUDOU-Doué	0,94
MBANTOU-Doué	1,22
LAM NADIE	0,88
DIATAL	0,82
VAOUNDE	1,71

TABLEAU II

Tableau récapitulatif des reculs moyens annuels

en 1964. Il faut donc poursuivre les mesures annuelles, en espérant qu'au cours des prochaines années la sécheresse disparaîtra et que le fleuve aura de nouveau des crues fortes ou même très fortes (type 1936). On pourra alors établir l'importance de l'érosion selon les types de crue.

L'inondation du lit majeur ou *walo*, s'effectue progressivement. Au fur et à mesure que le niveau de la crue monte, les eaux passent par les brèches des anciens deltas de rupture de levée (fig. 2), puis par les ensellements des bourrelets de berge. Elles déposent une partie de leur charge, notamment les sables fins et limons, sur la rive convexe des méandres : c'est le *falo* des paysans toucouleur. Dans le lit majeur les courants sont en général très faibles. Les eaux y restent plus ou moins longtemps selon l'importance de la crue et le micro-relief. Les terrains hauts du *fondé*, atteints uniquement par forte crue, ne sont submergés que très peu de temps (fig. 3). Par contre les cuvettes sont inondées en moyenne pendant quatre à douze semaines. Les eaux plus ou moins stagnantes se décantent alors ; leurs éléments en suspension et en solution

précipitent progressivement. Le niveau des eaux baisse par évaporation et par vidange au cours de la décrue ; une partie s'infiltré et engendre un engorgement temporaire des sols argileux. Les marigots de vidange incisent le fond des cuvettes ; ils ne sont pas accompagnés de bourrelets, se distinguant ainsi des chenaux formés à partir d'anciennes ruptures de levées (fig. 2).

Ces terrains argileux ont généralement une couleur brun foncé. Vers les bords des cuvettes ils prennent une teinte brun clair et renferment des éléments siliceux, limon et sable fin. C'est pourquoi les paysans toucouleur distinguent un *hollaldé* noir au centre de la dépression et un *hollaldé* blanc dans la partie périphérique un peu plus élevée. L'épaisseur du dépôt d'argile diminue aussi : elle varie de 1 à 1,70 m dans la partie centrale et de 0,50 à 1 m près des bordures. On peut calculer aisément la vitesse de sédimentation de ces argiles si l'on admet que la décantation des hautes eaux annuelles s'est poursuivie de façon régulière après le dépôt des sables nouakchottiens, c'est-à-dire depuis 5000 ans : elle aurait été de 2 à 3 cm par siècle, soit environ 0,2 à 0,3 mm par an. Naturellement la sédimentation a dû varier d'une année à l'autre en fonction du type de crue (P. MICHEL, 1968 b, 1973). Dans les cuvettes les plus basses et dans celles qui se vidangent mal, le dépôt d'argile est nettement plus épais ; il dépasse souvent 3 m. La vitesse de sédimentation y a donc été beaucoup plus forte : l'apport se chiffre à 6 à 8 cm par siècle, soit environ 0,6 à 0,8 mm par an. Elle diminue aussi de l'amont vers l'aval. Ainsi l'épaisseur de la couche d'argile dans les cuvettes du Delta varie de 0,20 à 1 m (M. SALL, 1982). Cette sédimentation fine dans le lit majeur s'est sûrement ralentie depuis 1970, puisque la superficie des terrains inondés par la série de crues faibles et très faibles s'est rétrécie.

Les terres argileuses des cuvettes se dessèchent progressivement après le retrait des eaux sous l'effet de l'évaporation et de l'harmattan, dont l'air chaud et très sec balaie souvent la vallée de janvier à mai. La présence de montmorillonite confère à ces dépôts des propriétés de gonflement et de retrait importants. La surface du terrain se bosselle ; des micro-vasques circulaires, d'un diamètre de 0,50 à 1 m, apparaissent par endroits. Ainsi ces terres *hollaldé* présentent souvent un modelé *gilgaï* en saison sèche. Un réseau de grandes fentes de rétraction découpe alors ces sols argileux en une multitude de polygones. Elles ont plusieurs centimètres de large et peuvent descendre à une profondeur de 1 m. Sur ce réseau principal se greffe une polygonation secondaire de petites fentes ramifiées qui fragmentent les horizons superficiels du dépôt.

L'importance des terrains salés modifie la dynamique dans le Delta. L'origine du sel est double. En période de basses eaux, un biseau salé remonte dans le lit mineur jusque vers Richard-Toll. Ces eaux estuariennes sont ensuite refoulées dans les marigots de vidange lors de la montée de la crue et restent dans les parties basses de cuvettes. Mais il existe aussi des masses de sels résiduels : les sédiments fluvio-deltaïques s'étant accumulés en aval de Richard-Toll dans des milieux lagunaires saumâtres ou salés selon les saisons, du sel a été incorporé dans le matériel meuble. Il évolue à l'intérieur de celui-ci en circuit fermé (J. TRICART, 1955, 1961). En saison des pluies il est lessivé des parties non submergées des levées ou des cuvettes et s'accumule en profondeur dans les profils. En saison sèche il remonte en surface et se concentre suivant la porosité du matériel sous forme de cristaux ou d'efflorescences. Ainsi certaines cuvettes sursalées sont devenues des *sebkhas*. C'est surtout le cas des dépressions de l'Aftout es Sahel et des parties basses du terrain entre les dunes littorales et le Sénégal, ainsi que du Djoudj, à l'intérieur de la grande boucle du fleuve (fig. 5). Le sel floccule les argiles en agrégats de la taille des limons, aisément mobilisables par le vent. Ainsi ces *sebkhas* sont soumises à une importante déflation éolienne, surtout en fin de saison sèche lorsque soufflent des vents assez violents, alizés maritimes et tornades sèches (J. TRICART, 1954). Une partie du matériel transporté en saltation est arrêté par la végétation de salicornes et de tamaris sur les bordures de cuvettes. Il s'y dépose en petits bourrelets irréguliers d'agrégats salés.

Les levées fluvio-deltaïques post-nouakchottiennes de la basse vallée sont aussi balayées par les vents qui emportent aisément les sables fins et limons, mais déposent une partie de leur charge dès qu'ils rencontrent un léger obstacle, touffes d'herbes ou petit buisson. C'est pourquoi la surface de ces anciennes levées présente souvent des successions de bosses aplaties (P. MICHEL, 1968 b). La déflation devient plus importante sur les formations deltaïques à salinité plus forte, s'étendant à l'ouest de Richard-Toll. Les accumulations limono-sableuses forment des successions de nebkas aplaties, fixées par de petites plantes herbacées. Il est parfois possible d'observer une véritable zonation de ces édifices éoliens, comme entre la cuvette du Ndiael et Ross-Bethio (fig. 5). Le bord de la cuvette est entouré d'un bourrelet de quelques décimètres de haut (M. SALL, 1971, 1982). A l'arrière s'étend un moutonnement confus de monticules de 20 à 30 cm de haut et de forme circulaire. De véritables dunes atteignant une hauteur de près d'un mètre, parsèment les dépôts deltaïques autour des campements peul des environs de Ross-Bethio. Les formes des édifices semblent dépendantes de l'ancienneté de l'accumulation. Ainsi les formes triangulaires de type nebka dominant pour les accumulations récentes, tandis que les accumulations anciennes se caractérisent par des formes circulaires. D'ailleurs le modelé de nebkas se développe souvent autour des villages et de campements peul où le tapis herbacé a été détruit par le piétinement et le surpâturage.

La sécheresse persistante depuis 1970 a aggravé la dessiccation des terres et amplifié la déflation éolienne. L'inondation étant faible, les fentes de rétraction dans les cuvettes argileuses se sont agrandies ; ainsi elles absorbent plus d'eau au début de la submersion suivante. Les apports de sels sont plus importants puisque le biseau salé est remonté au-delà de Dagana (fig. 1) à cause du débit très réduit en période de basses eaux. La déflation éolienne se trouve nettement accentuée. Elle creuse le fond des sebkhas et élève les bourrelets périphériques. Les édifices de sable fin-limon remanié par le vent se multiplient sur les levées fluviodeltaïques. Les brumes sèches sont aussi beaucoup plus fréquentes.

Le terrain dénudé de ces anciennes levées se dessèche et durcit légèrement en surface au cours de la saison chaude. Les premières pluies qui tombent à partir de fin mai dans la basse vallée, souvent sous forme d'averses, frappent directement le sol sans protection végétale. Or le niveau du fleuve est encore très bas à cette époque puisque l'étiage absolu n'est atteint que le 3 juin à Bakel. Les eaux de pluies ruissellent d'abord, puis elles peuvent se concentrer en fonction de la pente pour raviner par endroit les parties hautes de bourrelets. Ces premiers ravins s'approfondissent parfois au cours des pluies ultérieures jusqu'à ce que les flots de la crue atteignent leur base (P. MICHEL, 1968 b).

S'adaptant au milieu naturel et à sa dynamique, les paysans pratiquent depuis très longtemps la culture de décrue du sorgho dans la vallée du Sénégal (L. PAPY, 1951). Ils ensementent surtout les terres *hollaldé* des cuvettes de décantation bien drainées (A. LERICOLLAIS, Y. DIALLO, 1980). Lorsque la crue a été forte, ils cultivent aussi des terrains de *fondé*, c'est-à-dire les parties basses des anciennes levées et deltas de rupture post-nouakchottiens (fig. 3). Mais les superficies cultivées varient beaucoup d'une année à l'autre en fonction de la crue. Il s'agit d'un monoculture, sans assolement, ni apport d'engrais. Aussi les rendements sont-ils médiocres⁴. Les terrains sablonneux du *falo* de la rive convexe des méandres servent de jardin potager près des villages ou portent quelques champs de maïs. Puisque les modules du Sénégal sont déficitaires depuis une douzaine d'année (fig. 4), les cultures de décrue ont beaucoup diminué et l'exode rural s'est aggravé. Mais dans certains secteurs de la vallée, des paysans ont

4. cf. les résultats des enquêtes agricoles de la MISOES, in BOUTILLIER, et al., 1962.

établi depuis 1974 de « petits périmètres » irrigués villageois, d'une superficie moyenne de 20 ha (S.M. SECK, 1981). Ils se situent sur le *fondé* que les faibles crues n'atteignent jamais ; des motopompes, généralement sur bacs flottants, permettent l'irrigation en toute saison. Les paysans y pratiquent surtout la riziculture, mais ils plantent aussi des tomates.

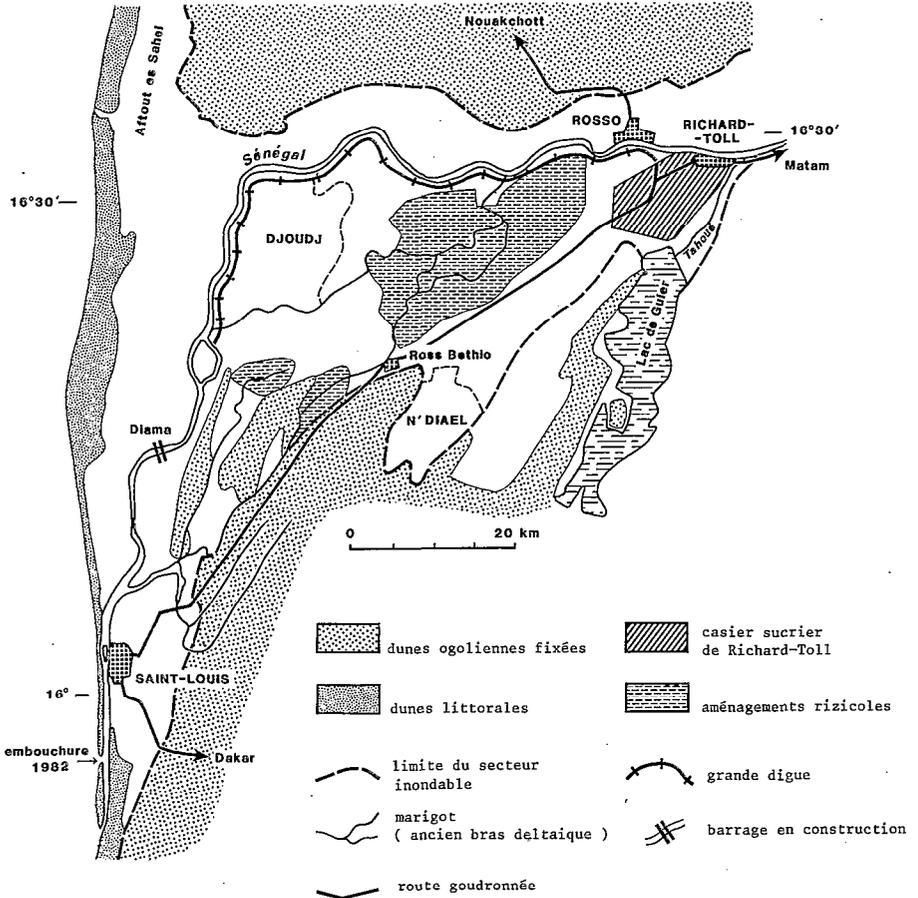


Fig. 5 : Région du delta du Sénégal.

La culture traditionnelle de décrue n'était pas possible dans le Delta à cause de la salinité des terres. Aussi cette région n'était-elle parcourue jusqu'à une date récente que par des éleveurs peul semi-nomades. A partir de 1950 la Mission d'Aménagement du Sénégal (M.A.S.) a créé le casier rizicole de Richard-Toll (L. PAPY, 1951). Le lac de Guier, alimenté par les hautes eaux du Sénégal, sert de réservoir. L'aménagement fut ensuite reconverti en casier sucrier dans les années 1972-75 (fig. 5). Auparavant la

Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta (S.A.E.D.) a créé des « grands périmètres » de riziculture dans la partie moyenne du Delta, autour de Ross-Bethio (fig. 5). Ils sont implantés surtout dans les cuvettes dont les sols ont été dessalés par les eaux douces de la crue. Une grande digue a été construite le long du fleuve pour empêcher la submersion naturelle et des stations de pompage ont été établies. Un colonat a été installé dans cette région à densité de population très faible. Des « petits périmètres » sont aussi apparus dans le Delta. La S.A.E.D. a aménagé ensuite deux « grands périmètres » de riziculture dans la basse vallée, juste en amont de Dagana et près de Nianga, au S de Podor (fig. 1). Des aménagements rizicoles ont été réalisés aussi par la Mauritanie, sur la rive droite du fleuve.

Le tableau ci-dessous dresse le bilan des aménagements en décembre 1980 ; il indique la superficie en ha des périmètres aménagés (source : O.M.V.S. 1980) :

ETATS	DELTA			VALLEE		Total au 31/12/80	Prévision 1976-81	% réalisé
	Grands périmè- tres	Petits périmè- tres	Agro- industrie (sucre)	Grands périmè- tres	Petits périmè- tres			
Maurita- nie	1800	1466	-	700	1338	5305	10000	53,5
Sénégal	7730	1174	7520	2711	4095	23230	33000	69,75
TOTAL	9530	2640	7520	3411	5433	28535	43000	66,36

RÉPERCUSSIONS DES AMÉNAGEMENTS DANS LE DELTA

Ces premières installations hydro-agricoles ont déjà engendré des modifications de la géodynamique. Elles se manifestent par un certain déplacement du colmatage, un changement dans l'évolution des grandes cuvettes du Djoudj et du Ndiel (fig. 5) et un accroissement de la déflation éolienne.

L'étude des tendances actuelles du colmatage pose de difficiles problèmes de méthode : les débits solides demeurent encore insuffisamment connus ; l'irrigation nécessite de perpétuels prélèvements de quantités variables suivant les types de culture⁵ ; enfin l'absence d'un bilan exhaustif portant sur la période antérieure aux aménagements rend délicate la détermination de leurs effets sur le régime sédimentaire (M. SALL, 1982). L'image du 30-9-1972 prise par le satellite landsat 1 dans les canaux 5 et 7 a servi à l'inventaire spatial des zones inondables du Delta (partie sénégalaise uniquement). L'image est adéquate pour l'hydrologie et l'utilisation des sols puisqu'elle correspond à l'arrivée de l'onde de crue dans le cours inférieur du fleuve (M. SALL, 1979).

⁵ 12 à 17 000 m³/ha pour le riz d'hivernage, 20 000 m³/ha pour le riz de contre-saison, 10 000 m³/ha pour la tomate.

Le tableau ci-dessous évalue les apports massiques avant l'aménagement, puis dans les périmètres aménagés et le bas estuaire, ensuite dans le lac de Guier (M. SALL, 1981) :

	Superficies (ha)	Turbidité moyenne	Stock accumulé	Vitesse de l'accumulation
Terrains inondables (avant aménagement)	65000	110 mg/l	71500 t	1,37 cm/siècle
Périmètres aménagés	15000	96,5 mg/l	21712 t	1,80 cm/siècle
Région non endiguée (bas estuaire)	6250	75 mg/l	4687 t	0,93 cm/siècle
Lac de Guier	24000	85 mg/l	24480 t	1,27 cm/siècle

Dans le secteur endigué et le bas estuaire, l'inventaire spatial réalisé à partir du canal 7 confirme les statistiques de la S.A.E.D. En admettant des prélèvements moyens de 15 000 m³/ha pour l'irrigation des casiers et des turbidités moyennes de 96,5 mg/l, l'apport massique peut être estimé à 22 000 t/an. Comparé à l'apport de la crue sur l'ensemble des terrains inondables du Delta avant l'endiguement du lit mineur, soit environ 70 à 75 000 t, on enregistre une nette atténuation du colmatage actuel. Tout se passe comme si la migration vers l'aval de la zone de sédimentation maximale, amorcée avec la régression post-nouakchottienne, a été accélérée par l'endiguement du lit mineur (M. SALL, 1981). Même si l'on ignore encore les tonnages de sédiments fins qui se dispersent en mer à l'embouchure, on peut dire qu'une bonne fraction de la charge solide, canalisée dans le lit mineur par la digue, participe ensuite au colmatage du bas estuaire où l'on observe une sédimentation actuelle plus importante sur des schorres à herbacées.

Par contre, l'endiguement du lit mineur n'a pas eu d'effet sur le colmatage du lac de Guier (fig. 5). Ce lac allongé d'une superficie de 24 000 ha, communique avec le fleuve par la Taoué, marigot sinueux récemment régularisé ; la vallée morte du Boumoum, qui rassemble l'ancien réseau du Ferlo, débouche dans la partie méridionale du lac (fig. 1), barré depuis 1957 par la digue de Keur Momar Sarr. L'alimentation du lac de Guier commence en juillet avec la montée des eaux, les vannes du barrage de Richard-Toll étant alors ouvertes. Elle cesse en avril avec l'arrivée du biseau salé. Selon les estimations de la M.A.S., la capacité du stockage du lac serait de 750 Mm³ à la cote +3 et de 460 Mm³ à la cote +2 IGN. Si l'on tient compte de cette capacité et pour des turbidités moyennes de 85 mg/l, l'apport massique serait d'environ 25 000 t. La pérennité du colmatage est ainsi assurée par l'alimentation du lac pendant la crue.

Pour déterminer la résultante des effets antagonistes du colmatage et de la déflation éolienne dans le bilan sédimentaire des cuvettes, des semis de sable et des mires ont été mis en place en 1974 dans le Djoudj occidental et le Ndiael (M. SALL, 1982). Ces deux grandes cuvettes sont localisées dans le secteur endigué du Delta (fig. 5). Elles présentent comme caractères communs d'être plus ou moins salés (apports de sels actuels pour le Djoudj, sels résiduels pour le Ndiael) et de présenter aujourd'hui, du fait des aménagements hydro-agricoles, un régime hydrologique presque totalement artificialisé. Le Ndiael fonctionne comme exutoire des eaux de drainage du casier sucrier de Richard-Toll, tandis que plusieurs stations de pompages, jointes à divers autres aménagements, permettent de maintenir en submersion presque permanente une partie du Djoudj, érigée en Parc national aux oiseaux.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats des divers contrôles effectués :

Dates	Prairie à salicornes partie haute	Prairie à salicornes partie basse	Partie centrale de la cuvette
11.3.74	Installation	Installation	Installation
17.4.76	0,0	0,8	1,5
29.3.78	0,0	0,0	1,0
20.5.80	nm	1,4	1,9
11.4.81	nm	0,5	1,5
total (7 ans)	0,0	2,7	5,9

n.m. = non mesurable

TABLEAU V
Colmatage dans le Djoudj occidental, en mm

Dates	Bordure de la cuvette partie basse du bourrelet 1	Partie centrale de la cuvette 2	Partie centrale de la cuvette
11.3.74	installation	installation	installation
17.4.76	+ 18,5	+ 10,0	- 2,5
28.3.78	+ 8,0	+ 8,5	- 0,5
11.4.81	+ 16,4	+ 14,5	- 4,0
Total (7ans)	+ 44,9	+ 33	- 7,0

TABLEAU VI
Ablation et colmatage dans le Ndiael, en cm

Ces premières données quantitatives suggèrent les remarques suivantes :

le régime hydrologique actuel du Djoudj, caractérisé par la présence d'un plan d'eau dont la permanence est entretenue par pompage des eaux du fleuve, favorise le colmatage dans la partie inondée de la cuvette, au détriment des actions éoliennes qui dominaient jadis après la submersion temporaire. L'inondation prolongée depuis une dizaine d'années explique l'importance de la sédimentation d'environ 0,8 mm/an : cette vitesse de colmatage est identique à celle que les dépressions de la basse vallée ont connu depuis la fin de la transgression nouakchottienne, lorsque l'eau y stagne très longtemps. Au niveau des prairies périphériques une légère accumulation se produit dans les parties basses où la submersion est de faible durée, tandis que les parties hautes se caractérisent par

- une certaine stabilité, les apports de limons éoliens étant entraînés vers le bas par le ruissellement consécutif aux premières averses.
- le Ndiael, qui dans les conditions naturelles ne fonctionne guère en sebkha faute de concentrations suffisantes de sel (J. TRICART 1954, 1961), représente maintenant un cas typique de l'instauration d'une dynamique sédimentaire de type sebkha à cause de l'intervention de l'homme. Cette grande cuvette s'étendant au pied de dunes ogoliennes fixées (fig. 5) est, en effet, progressivement enrichie en sels par les eaux de drainage provenant du casier rizicole, puis sucrier de Richard-Toll : leur degré de salure est indiqué par les mesures de conductivité électrique, en micromhos : 28-3-78 : 43 000, 4-1-79 : 71 000, 11-4-81 : 56 000. Ces eaux de drainage ne suffisent pas cependant à entretenir une submersion permanente susceptible de bloquer les actions éolienne. Celles-ci se manifestent donc par intermittence sur un matériel de surface meuble, constitué d'agrégats aisément mobilisables. Ainsi se forme un bourrelet éolien de sebkha autour du secteur tour à tour inondé, puis évacué par les eaux de drainage salées.

L'accumulation forcée de sable fin et d'agrégats de limon salé revêt une grande ampleur lorsque l'obstacle végétal est un rideau de tamaris ou des buissons de *Salvadora persica*, comme sur les levées deltaïques en bordure d'axes de drainage. J. TRICART (1954) a décrit le tronçonnement des chenaux du Ndiadier et du Sorong par des coulées de limons éoliens qui s'engouffrent dans des brèches ouvertes à travers les rideaux de tamaris. C'est la réplique d'actions qui furent responsables, à l'échelle historique, de la désorganisation de certains bras du Sénégal et du réaménagement de tracés hydrographiques, particulièrement dans le secteur maritime du Delta. Des processus analogues, déclenchés et amplifiés par les aménagements, font peser maintenant de lourdes menaces sur les réseaux de canaux d'irrigation et de drainage (M. SALL, 1982). Les périmètres planés constituent, en effet, de belles surfaces de déflation ; en outre, la succession de labours profonds, conjugués aux effets du sel, détruit la texture de l'horizon superficiel du sol. Ainsi les cuvettes qui ne font pas l'objet de culture de contre-saison pendant la longue saison sèche sont-elles le siège d'une active déflation éolienne et de formation de nebkas ; les accumulations empiètent assez souvent sur les systèmes de canalisation pour former de véritables bouchons.

EFFETS PRÉVISIBLES DES BARRAGES DE RÉGULARISATION

Pour parvenir à une maîtrise totale de l'eau du fleuve, considérée comme le facteur fondamental de la croissance de l'économie agricole de la vallée, l'O.M.V.S. a établi un programme de développement intégré comprenant comme objectifs principaux la construction des barrages de Diama et de Manantali (fig. 1), celle d'un port en eau profonde à Saint-Louis, l'amélioration de la navigabilité du fleuve de Saint-Louis à Kayes et surtout l'aménagement de 250 000 ha de terre du lit majeur pour l'irrigation (W. REICHHOLD, 1978). Les effets prévisibles des deux barrages sur l'environnement ont fait l'objet d'une évaluation⁶. Si l'impact des ouvrages sur la faune et la flore a été analysé de manière exhaustive, il n'en est pas de même des effets sur les processus d'érosion et d'accumulation, faute de données quantitatives suffisantes sur la dynamique actuelle du bassin-versant. C'est pourquoi nous essayerons de déterminer brièvement quelles seront les nouvelles tendances des activités d'érosion et de transport dans

6. Par GANNET FLEMING, CARPENTER and GORDDRY Inc, en association avec ORGATEC (Société Africaine d'Études Techniques).

le lit mineur, de colmatage du lit majeur, en fonction du régime hydrologique artificiel résultant des deux ouvrages et des systèmes d'érosion qui se manifestent dans le bassin-versant (P. MICHEL, 1973).

Le barrage de Diama, dont la construction a commencé en 1981, est situé dans le Delta à 27 km en amont de Saint-Louis (fig. 5). Il aura pour principale fonction d'empêcher la remontée du biseau salé en amont de l'ouvrage. L'endiguement des rives du fleuve en amont du barrage permettra la constitution d'une retenue dont les caractéristiques sont les suivantes (Sources O.M.V.S.) :

	Cote 1,5 IGN	Cote 2,5 IGN
Longueur du réservoir	360 km	380 km
Superficie interne de la retenue	235 km ²	440 km ²
Volume d'eau stocké	0,25 Mm ³	0,58 Mm ³

Les digues auront une largeur de 6 m et les vannes qui y seront incorporées permettront la recharge de certains marigots de part et d'autre de la retenue. Le barrage de Manantali se trouve dans le haut-bassin, en amont de Kayes au Mali, sur le Bafing, le cours supérieur du Sénégal (fig. 1). C'est un grand barrage-réservoir mis en chantier en 1982. Le volume d'eau dans le réservoir sera de 3,5 Mm³ et il s'étendra sur 275 km² lors du remplissage maximal à la cote 187 m IGN (source : Groupement Manantali). Ce barrage doit aussi servir à la production d'hydro-électricité⁷. Il est prévu l'aménagement d'une voie navigable de 55 m de largeur minimale, le maintien en permanence d'une hauteur d'eau minimale de 2 m, grâce à un débit régularisé de 300 m³/s à Kayes et 150 m³/s à Podor, et le creusement d'un chenal entre l'estuaire et l'océan à travers le cordon littoral de la « Langue de Barbarie », à 7 km en aval du pont Faidherbe de Saint-Louis (fig. 5). Ces différents travaux nécessiteront le dragage de 200 000 m³ de roche et de 175 000 m³ de sable (groupement Manantali).

Les barrages de Diama et de Manantali n'entreront pas en fonction en même temps. Au cours de la première phase, le barrage de Diama étant seul opérationnel et le régime du fleuve n'étant pas encore régularisé, la fonction de stockage de la retenue sera aléatoire à l'image de la crue. Cependant comme l'extension de la retenue vers l'amont jusqu'à Bogué (fig. 1) se traduira par un relèvement du niveau du fleuve lors des années de crue forte, le colmatage pourrait devenir prédominant à l'amont du barrage, au détriment de la sédimentation actuelle dans le bas estuaire et sur les dépôts de vase du proche plateau continental. Puisque rien ne laisse prévoir une remobilisation durable des sédiments accumulés entre Bogué et Diama, le colmatage actuel de l'estuaire et son expression géomorphologique, l'extension des schorres à herbacées, risquent d'être compromis (M. SALL, 1982). La vitesse de colmatage de la retenue du barrage de Diama devra être suivie attentivement quand on sait que dans les conditions naturelles par année de crue moyenne, quelques 900 000 t de matières en suspension se déposent dans le lit majeur entre Bakel et Saint-Louis⁸.

La deuxième phase correspondra au remplissage du barrage-réservoir de Manantali : le régime hydrologique sera caractérisé par l'établissement d'une crue artificielle

7. Pour la création d'une industrie lourde utilisant les gisements de fer et de bauxite du Mali occidental et Sénégal oriental.

8. D'après FLEMING, SPENCER CORDDRY Inc.

de 2 500 m³/s chaque année entre juin et septembre. Les effets du colmatage sur l'évolution de la retenue de Manantali doivent être examinés à la lumière de données relatives au système d'érosion propre au domaine guinéen et soudano-guinéen (P. MICHEL, 1970). Le Bafing supérieur, débouchant dans ce réservoir, vient de ces domaines bioclimatiques caractérisés par une saison des pluies de 5 à 8 mois et des précipitations annuelles supérieures à 1 200 mm. La végétation dense de forêt ou savane arborée entrave les actions mécaniques, lorsqu'elle n'est pas dégradée, et l'altération chimique et biochimique prédominant, décomposant les roches en matériel fin. Il en résulte que les cours d'eau manquent d'abrasif : les versants n'en fournissent pas et la forêt-galerie empêche les sapements latéraux. Ainsi ils n'érodent pas les seuils rocheux et ne charrient guère de matériel grossier ; seuls des éléments fins sont transportés au loin, en suspension. Cette faiblesse des transports solides, favorable à l'installation de barrages, a été confirmée récemment par des études d'évaluation : le colmatage s'effectuerait au rythme de 530 000 t/an, ce qui n'affecterait la capacité de stockage de la retenue que dans un délai de 450 ans (GANNET FLEMING et *al.*, 1979).

Mais la dégradation accélérée du couvert végétal par l'homme dans les hauts massifs du Fouta Djallon central a de graves répercussions sur le système morphogénique. Les pluies souvent brutales, atteignant parfois une intensité de 100 mm/h, tombent sur une terre dénudée ou mal protégée par un maigre tapis herbacé. Elle engendrent une érosion des sols dont les mécanismes ont été étudiés par des pédologues et des géographes, notamment J. TRICART (1956 a). Cette dégradation peut se répercuter aussi sur la dynamique du haut Bafing et de ses petits affluents. Les nappes phréatiques sont moins alimentées et les sources tarissent plus vite en saison sèche. Ainsi le régime des rivières deviendra plus torrentiel. Surtout leurs eaux se chargent en éléments grossiers, graviers et sables, et peuvent déclencher une érosion des seuils vers l'aval par creusement de marmites. Ainsi une sédimentation accrue risque de se produire dans le réservoir de Manantali (J.M. AVENARD, P. MICHEL, 1982). Il faudra donc surveiller étroitement l'évolution du milieu naturel dans les secteurs menacés et prendre des mesures de protection efficaces, le cas échéant.

En aval de Manantali, le Bafing-Sénégal coule dans le domaine soudanien jusqu'à Bakel et reçoit le Bakoy, puis la Falémé (fig. 1). La savane arborée ou arbustive, souvent dégradée ou brûlée par les feux de brousse, protège mal le sol. La fragmentation mécanique des roches et les transports par ruissellement se développent sur les interfluves. De profonds ravinements apparaissent par endroits à proximité des cours d'eau. Ils entaillent surtout les dépôts sablo-argileux de la terrasse qui s'est formée lorsque le fleuve était barré à l'aval par les alignements de dunes ogoliennes. J. TRICART (1956 b) avait déjà observé de nombreux ravinements le long du cours moyen du Baoulé, affluent du Bakoy, lors d'un survol du haut bassin du Sénégal. Ces ravins sont fréquents près de la basse Falémé, mais ils se multiplient aux environs de Kayes où l'érosion a sculpté à proximité du fleuve toute une série de cañons miniatures très digités, aux parois subverticales hautes de 5 à 6 m (P. MICHEL, 1978). Ils dissèquent en badlands de bonnes terres aux sols profonds que les paysans recherchent pour planter du mil ou de l'arachide. Leur mise en culture accélère encore le ravinement⁹.

Ainsi le Sénégal et ses affluents reçoivent du matériel sableux. La discontinuité de la forêt-galerie dans le secteur sud-soudanien, son absence dans le secteur nord-soudanien permettent une érosion des berges par sapement latéral lors des crues, ce qui accroît considérablement leur charge solide (P. MICHEL, 1973, 1978). La Falémé transporte maintenant du sable grossier et des graviers, dont de grands bancs encom-

9. L'implantation de séries de repères permettrait de mesurer exactement le recul des parois et l'allongement des ravins par érosion régressive.

brent son cours inférieur. Les principaux cours d'eau disposent donc d'un certain abrasif pour attaquer les seuils rocheux qu'ils franchissent par des chutes ou des rapides. Le Sénégal et le Bakoy inférieur continuent à approfondir et à élargir les grandes marmites des seuils du Félou et de Billy. Le Baoulé tout comme la basse Falémé agrandissent leurs nombreuses sinuosités par érosion des rives concaves.

La régularisation du fleuve par la mise en service du barrage de Manantali se traduisant par une réduction des débits et des niveaux d'eau des crues, il importe dès maintenant de poser le problème de l'évacuation de cette importante charge solide. Charriée vers l'aval lors des années de crue forte, elle sera augmentée encore par les sapements latéraux dans la vallée alluviale et risque d'accélérer le colmatage de la retenue de Diama. Accumulée dans le lit mineur après de faibles parcours lors des années de crue inférieure à la moyenne, ces dépôts sont capables de provoquer des engorgements localisés du lit mineur qui pourraient engendrer des divagations.

CONCLUSION

L'évolution géomorphologique au Quaternaire récent, marqué par d'importantes modifications climatiques et les variations du niveau marin, a mis en place un modelé alluvial qui commande l'inondation du lit majeur par la crue annuelle ; la pédogenèse et le couvert végétal dépendent directement de ces deux facteurs. La dynamique actuelle se caractérise par l'agrandissement des méandres et une sédimentation argileuse dans les cuvettes basses du lit majeur ; en saison sèche la déflation éolienne se manifeste dans les cuvettes sursalées du Delta (sebkhas) et sur les levées fluvio-deltaïques. Les premiers aménagements dans le Delta se traduisent déjà par une modification de la dynamique des grandes cuvettes du Djoudj et du Ndiel, ainsi que par un accroissement de la déflation éolienne.

La construction des barrages de Diama et de Manantali pour régulariser le débit du Sénégal dans sa vallée alluviale devrait entraîner une moindre efficacité du transport dans le lit mineur et des engorgements localisés en alluvions que la faible compétence du fleuve ne permettra pas d'évacuer ; la décantation des eaux dans le lit majeur diminuera probablement aussi avec le passage à la submersion contrôlée pour les cultures irriguées. Le colmatage progressif de la retenue de Diama est donc à craindre. Il s'agit là de tendances qui risquent de s'amplifier si diverses précautions ne sont pas prises dans le sens d'une atténuation de l'érosion dans certains secteurs du haut-bassin. Un véritable programme de surveillance devrait être conçu dès maintenant et appliqué lors de la mise en service des barrages. Enfin la télédétection spatiale pourrait contribuer à cette surveillance, notamment par la mise en œuvre d'un modèle sédimentaire des deux retenues (M. SALL, 1981).

BIBLIOGRAPHIE

- AVENARD (J.M.), MICHEL (P.) — 1982 — Aspects de la dynamique actuelle dans la zone tropicale à saison sèche de l'Afrique de l'Ouest. U.E.R. de Géographie, Université de Strasbourg I, 42 p.
- BOUTILLIER (J.), et al. — 1962 — La moyenne vallée du Sénégal. Presses Universitaires de France, Paris, 368 p.
- GANNET FLEMING, CARPENTER and CORDDRY, ORGATEC — 1979 — Effets sur l'environnement d'aménagements prévus dans le bassin du fleuve Sénégal. Harrisburg, Pennsylvania.

- GROVE (A.T.) — 1972 — The dissolved and solid load carried by some west african rivers : Senegal, Niger, Benue and Chari. *Journ. of Hydrol.*, Amsterdam, vol. 16, 227-300.
- JUTON (M.) — 1972 — Étude statistique des faibles débits du fleuve Sénégal. Étude hydro-agricole du bassin du Sénégal, O.M.V.S., Dakar, 13 p.
- LERICOLLAIS (A.) — 1976 — La sécheresse et les populations de la vallée du Sénégal. *In* : La désertification au Sud du Sahara. Nouv. Ed. Afric., Dakar, 111-117.
- LERICOLLAIS (A.), DIALLO (Y.) — 1980 — Peuplement et cultures de saison sèche dans la vallée du Sénégal. ORSTOM.-O.M.V.S., Paris, 6 cartes couleurs au 1/100 000 + 7 notices explicatives.
- MICHEL (P.) — 1957 — Rapport préliminaire sur la géomorphologie de la vallée alluviale du Sénégal et de sa bordure. *Bull. M.A.S.*, Saint-Louis, n° 111, 85 p. multigr.
- MICHEL (P.) — 1966 — Les applications des recherches géomorphologiques en Afrique Occidentale. — *Rev. Géogr. Afr. Occid.*, Dakar, n° 3, 37-60.
- MICHEL (P.) — 1968 a — Genèse et évolution de la vallée du Sénégal, de Bakel à l'embouchure (Afrique occidentale). *Zeitschr. Geomorph.*, N.F. 12, 318-349.
- MICHEL (P.) — 1968 b — Le façonnement actuel de la vallée du Sénégal et de ses bordures, de Bakel à Richard-Toll. *Comité Trav. hist. sci.*, Paris, *Bull. Sect. Géogr.* t. 80 (1967), 447-484.
- MICHEL (P.) — 1968 c — Morphogenèse et pédogenèse. Exemples d'Afrique occidentale. *Sols afric.* vol. 13, 2, 171-194.
- MICHEL (P.) — 1973 — Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique. Thèse Strasbourg (1970). Mémoire ORSTOM, Paris, n° 63, 3 tomes, 752 p., 6 cartes couleurs au 1/200 000.
- MICHEL (P.) — 1978 — La dynamique actuelle de la géomorphologie dans le domaine soudanien de l'Ouest africain : exemples du Mali occidental et Sénégal oriental. *Géo. Eco. Trop.*, Liège, n° 1, 1-20.
- MICHEL (P.), DURAND (J.H.) — 1978 — La vallée alluviale du Sénégal (Afrique de l'Ouest). Relations géomorphologie — sols — aptitudes culturales et leur cartographie au 1/50 000. *Catena*, vol. 5, 2, 213-225.
- MICHEL (P.), ELOUARD (P.), FAURE (H.) — 1968 — Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent de la région de Saint-Louis (Sénégal). *Bull. I.F.A.N.*, Sénégal, A, t. 30, 1, 1-38.
- MICHEL (P.), NAEGELÉ (A.), TOUPET (Ch.) — 1969 — Contribution à l'étude biologique du Sénégal septentrional. I. Le milieu naturel. *Bull. I.F.A.N.*, Sénégal A, t. 31, 3, 756-839.
- PAPY (L.) — 1951 — La vallée du Sénégal. Agriculture traditionnelle et riziculture mécanisée. *Cahiers Outre-Mer*, n° 16, 277-324.
- POUPON (H.) — 1976 — Influence de la sécheresse de l'année 1972-1973 sur la végétation d'une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal. *In* : La désertification au Sud du Sahara. Nouv. Ed. Afric., Dakar, 96-101.
- REICHHOLD (W.) — 1978 — Der Senegalstrom, Lebensader dreier Nationen. Weltforum Verlag, Munich-Londres, Afrika Studien n° 102, 383 p.
- ROCHETTE (C.) — 1974 — Le bassin du fleuve Sénégal. Monographie hydrologique ORSTOM, Paris, n° 1, 441 p.
- SALL (M.) — 1971 — Le développement des nebkas dans le moyen delta du Sénégal. *In* Actes du Colloque de Moscou, U.G.I., Commission des processus géomorphologiques actuels.
- SALL (M.) — 1979 — Hydrologie et géomorphologie du delta du Sénégal et de ses bordures (Aftout es Sahéli et Ferlo nord-occidental) d'après les images Landsat du 30-9-1972. *Photointerprétation*, Paris, n° spécial Sénégal, fasc. 4, 29-35.
- SALL (M.) — 1981 — Régime sédimentaire du delta et du lac de Guiers et modèle d'interprétation des données multispectrales appliquées à la qualité des eaux. *In* : Télédétection et cartographie thématique : Nord-Sénégal et basse Gambie Équipe TECASEN, Départ. Géogr. Dakar, rapport n° 3, 49-60.
- SALL (M.) — 1982 — Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal occidental. Thèse Strasbourg (1983) — 2 tomes, 604 p. multigr. + fasc. planches h.t.
- SECK (S.M.) — 1981 — Irrigation et aménagement de l'espace dans la moyenne vallée du Sénégal.

Dynamique des paysages dans la vallée du Sénégal

- Participation paysanne et problèmes de développement. Thèse Saint-Etienne (1981). 2 tomes, 625 p. multigr.
- SEDAGRI — 1975 — Carte pédologique et géomorphologique de la vallée et du delta du Sénégal au 1/50 000 et carte d'aptitudes culturales des terres au 1/50 000. O.M.V.S. — P.N.U.D., F.A.O., Paris, 70 feuilles couleurs + Étude pédologique (texte), 252 p.
- SOGREAH — 1972 — Étude du barrage du delta. Rapport final, vol 1-3. F.A.O. Projet hydro-agricole, O.M.V.S.
- SOGREAH — 1975 — Étude du barrage de Manantali : Rapport final, vol. 1. F.A.O. Projet hydro-agricole, O.M.V.S.
- TOUPET (Ch.), MICHEL (P.) — 1979 — Sécheresse et aridité : l'exemple de la Mauritanie et du Sénégal. *Géo. Eco. Trop.*, Liège, n° 3, 137-157.
- TRICART (J.) — 1954 — Influence des sols salés sur la déflation éolienne en Basse-Mauritanie et dans le delta du Sénégal. *Rev. Géom. dyn.*, t. 5, n° 3, 124-132.
- TRICART (J.) — 1955 — Aspects sédimentologiques du delta du Sénégal. *Geol. Rundschau*, t. 43, n° 2, 384-397.
- TRICART (J.) — 1956 a — Dégradation du milieu naturel et problèmes d'aménagement au Fouta Djallon (Guinée). *Rev. Géogr. alpine*, n° 1, 7-36.
- TRICART (J.) — 1956 b — Types de fleuves et systèmes morphologiques en Afrique occidentale. Comité Trav. hist. sci., Paris, *Bull. Sect. Géogr.*, t. 68, 303-344.
- TRICART (J.) — 1961 — Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Mémoire B.R.G.M., Paris, n° 8, 137 p., 3 cartes couleurs au 1/100 000.
- TRICART (J.) — 1981 — Géomorphologie et quaternaire d'après une image R.V.B. : la vallée du Sénégal entre Bogué et Podor (Sénégal, Mauritanie). *Ann. Géogr.* n° 499, 311-326.