

Regulation du Fleuve Senegal et flux de matieres particulare vers l'estuaire depuis la construction du Barrage de Diama

ALIOUNE KANE

Université Cheikh Anta Diop, BP. 5005, Dakar-Fann, Sénégal
akane@ucad.sn

Résumé Les observations et les mesures permettent de quantifier les volumes de matières en suspension qui aboutissent vers l'embouchure du fleuve Sénégal et mettent en évidence les principaux changements dans l'hydrologie et la morphologie de l'estuaire. Les échantillons sont récoltés au cours de la saison des hautes eaux, pendant les saisons hydrologiques de 1989 à 1993 et comparées aux résultats obtenus à Saint-Louis en 1981 et 1982 avant la mise en eau du Barrage de Diama (1985).

Mots clés barrages; Diama; estuaire; matières en suspension; régulation hydrique; Sénégal River

Regulation of the Senegal River and the suspended sediment flux near its estuary since construction of the Diama barrage

Abstract The daily and monthly regimes of total suspended solids (TSS) transport of the Senegal River (280 000 km²) to the ocean (1989–1994) is now regulated by the Diama barrage (established in 1986) located near the estuary. Since 1988, the Manantali reservoir, situated in the (high) basin has also controlled the riverine fluxes. The annual TSS loads vary between 0.63 and 1.9 Mt year⁻¹, depending on the hydrological year and reservoir operation, with weighted TSS averages of between 90 and 218 mg l⁻¹ at Diama. Specific solid transport in this Sahelian basin is very limited.

Key words barrages; Diama; estuary; suspended matter; riverine flux regulation; Senegal River

LA RÉGULATION DU FLEUVE SÉNÉGAL

Le Fleuve Sénégal est l'un des grands systèmes hydrographiques de la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest. Le bassin versant du Fleuve Sénégal couvre approximativement une superficie de 280 000 km², il est compris entre 10°30' et 17°30' de latitude nord et entre 7°30' et 16°30' de longitude ouest. Le Fleuve Sénégal long de 1800 km de long est par l'importance de ses écoulements la septième artère fluviale africaine et le deuxième axe hydrographique de l'Afrique de l'Ouest après le Niger (4200 km).

De forme ovoïde, orienté selon un grand axe SW–NE, le bassin versant du Fleuve Sénégal comprend deux parties distinctes (Fig. 1):

- (a) le cours supérieur avec les trois branches-mères de la Falémé, du Bafing, sur lequel se situe le barrage-réservoir de Manantali construit en 1988, et du Bakoye draine le massif du Fouta Djallon et le haut plateau mandingue. Ce bassin amont à l'exutoire de Bakel couvre une superficie de 220 000 km².
- (b) le bassin inférieur ou la vallée alluviale qui s'étend depuis Bakel jusqu'à Dagana,

parsemée de hautes levées fluvio-deltaïques. Le Fleuve Sénégal est formé par la réunion du Bafing et du Bakoye à Bafoulabé, à 255 km en amont de Bakel.

- (c) le delta, situé à l'aval de Richard-Toll et prolongé par un estuaire à partir duquel le fleuve se jette à la mer par une embouchure unique.

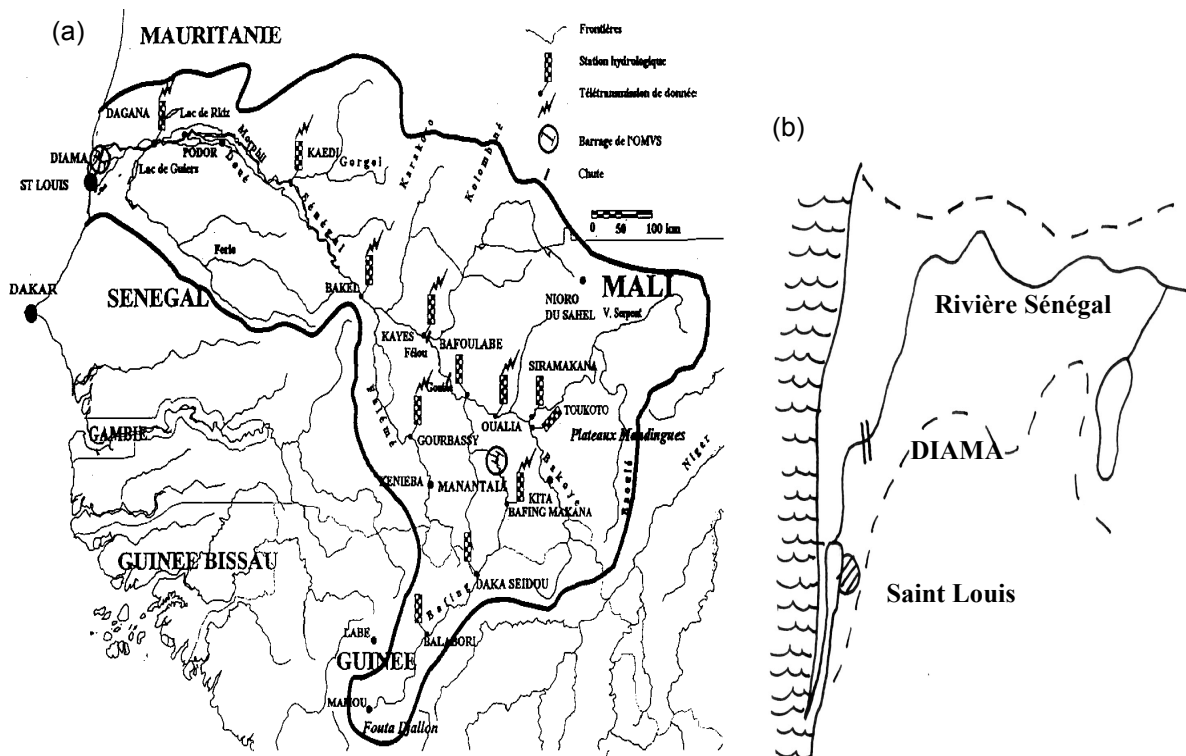


Fig. 1 (a) réseau hydrographique du Fleuve Sénégal (Albergel *et al.*, 1993); (b) localisation du delta (Campus; 1993).

La zone d'étude couvre le delta du Sénégal (Fig. 1), situé dans le domaine sahélien, sur une bande de 10 à 25 km de large, caractérisé par une extrême fragilité de son équilibre écologique.

La morphologie du cours inférieur du Fleuve Sénégal est celle d'un delta, dont les branches ont été à l'Holocène, recapturées par le cours principal brusquement détourné vers le sud (Michel *et al.*, 1993). Dans l'ultime partie de son cours, le Sénégal abandonne la direction est-ouest pour obliquer vers le sud et longer la mer en s'en rapprochant progressivement. Au niveau et en aval de la ville de Saint-Louis, le fleuve n'est plus séparé de l'océan que par un unique et mince cordon sableux de largeur décroissante du nord au sud, la Langue de Barbarie.

Dans le contexte de la sécheresse persistante depuis le début des années 1970, la réalisation du programme de grands aménagements par l'OMVS (L'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal, regroupe les états du Sénégal, du Mali et de la Mauritanie) est perçue comme la seule alternative face à une conjoncture climatique et économique défavorable depuis plusieurs décennies.

Le barrage anti-sel de Diama (Fig. 1(b)), construit à 50 km de l'embouchure du Fleuve Sénégal, était fonctionnel dès le 14 novembre 1985 et définitivement achevé en

1986. La fonction première de cet ouvrage est d'arrêter l'avancée de la langue salée dans le lit du fleuve pendant la saison des basses eaux et dont l'effet se faisait sentir jusqu'à 200 km en amont de l'embouchure. Le barrage a comme autres vocations, de créer en amont du barrage un lac artificiel d'une superficie de 235 km² et d'une capacité de 250 millions de m³ destinés essentiellement à l'irrigation de quelques 120 000 ha de terres et d'alimenter le lac de Guiers en eau douce.

Le barrage régulateur de Manantali, (Fig. 1(a)) construit sur la branche mère du Fleuve Sénégal, le Bafing constitue le second volet du programme. Il est achevé en 1988 et est destiné à la régularisation des débits à Bakel autour de 300 m³ s⁻¹, à la création d'un lac artificiel, le lac de Manantali, dont le bassin couvre 50 000 ha. Il permet de stocker jusqu'à 12 milliards de m³ d'eau. Il est aussi prévu l'irrigation de 275 000 ha de terres dans la vallée, la navigation jusqu'à Kayes et la production d'un minimum de 800 GWh d'électricité par an.

La mise en service du barrage de Diama en 1985 introduit une réduction des apports solides, et modifie le régime hydrologique vers le bas estuaire, mais affecte aussi le bilan sédimentaire qui contribue à l'entretien des zones littorales et de la côte au sud de l'embouchure du Fleuve Sénégal.

Il était donc nécessaire d'effectuer un suivi dans le cadre de divers programmes EQUÉSEN (GAC *et al.*, 1993; Kane, 1986, 1997); Campus (Michel *et al.*, 1993) afin:

- (a) de quantifier les matières en suspension dans l'eau et de caractériser les mouvements de transport des sédiments;
- (b) de mettre en évidence les processus morphodynamiques nouveaux et leur influence à l'embouchure.

Par l'observation et la mesure, les nouvelles tendances morphodynamiques sont analysées. Les travaux réalisés sont de deux types au niveau du barrage de Diama.

Il s'agit d'abord du contrôle des entrées d'eau dans l'estuaire depuis 1986 à partir des manœuvres des vannes du barrage pendant la saison des hautes eaux; et des lâchers sporadiques de la saison sèche. Contrairement à la période d'avant barrages où les débits étaient estimés dans le bief à partir des écoulements de la station Dagana, désormais les quantités déversées vers l'embouchure sont connues de façon précise à partir des calculs effectués grâce aux abaques du barrage de Diama. Cependant, l'hydrologie de la zone amont du barrage de Diama est conditionnée par la gestion du barrage de Manantali qui assure la régulation des débits fluviaux.

Le second volet est le contrôle des flux de matières particulaires et dissoutes qui sont assujettis aux processus d'érosion mécanique et d'altération chimique du haut bassin, dans le massif du Fouta Djallon.

Les observations sur les transports solides ont pu être réalisées depuis 1989 par la mise en place d'un dispositif de mesures à Diama; exutoire aval situé au débouché de l'estuaire désormais artificiel, à une cinquantaine de km de l'embouchure du fleuve, avec un échantillonnage quotidien pendant le déroulement de la crue, puis hebdomadaire pendant la phase de décrue jusqu'à la date de fermeture des vannes du barrage. Les débits solides ont été mesurés systématiquement pendant 5 ans (1989 à 1993).

Le suivi concerne l'ampleur des changements du régime hydrologique, le cheminement des eaux continentales au rythme de la gestion des barrages, la caractérisation des transports particulaires vers l'océan.

REGIMES HYDROLOGIQUES (NATURELS ET REGULARISES) DU FLEUVE SENEGAL

Dans le bassin du Fleuve Sénégal, l'hydrologie continentale a intéressé de nombreux auteurs dont les travaux des programmes Campus et Equesen. Les écoulements de surface et les apports particuliers sont surtout l'objet de cette partie à la lumière des modifications intervenues suite à l'édification d'ouvrages sur le cours principal du Fleuve Sénégal. Les barrages de Diama et Manantali ont donc entraîné un changement du régime hydrologique du fleuve et par-delà celui du flux des matières en suspension et des matières dissoutes (Gac & Kane, 1986; Kane, 1997).

L'information est complète sur l'importance des écoulements depuis 1903 aux stations-clefs de Bakel à l'amont et de Dagana à l'aval jusqu'à la mise en eau des barrages de Diama (1985) et de Manantali (1988). Avec l'achèvement du barrage de Diama, il est désormais possible d'évaluer les écoulements du Fleuve Sénégal vers son embouchure, ce qui n'était guère possible dans la situation antérieure avec les seuls enregistrements fragmentaires du marégraphe de Saint-Louis. Dans cette situation de maîtrise de l'eau, les flux transitant vers l'estuaire sont actuellement connus.

A la station hydrologique de Diama, les écoulements sont déterminés théoriquement par l'abaque du constructeur qui fournit le débit en fonction de l'ouverture de la vanne et de la charge amont (Piekutowski, 1990).

Grâce à cette formule, Piekutowski (1990), a pu déterminer les déversements au barrage de Diama entre 1986 et 1989 et nous avons procédé de la même manière pour les années suivantes. Cependant, il faut souligner que cette équation qui s'applique à un écoulement imparfait (turbulent), pose problème lorsque les déversements sont importants et que s'établit un régime pour lequel le niveau en aval se relève.

BILAN MOYEN ANNUEL DES ÉCOULEMENTS

Kane (1985), Gac & Kane (1986) ont noté déjà que l'irrégularité dans les écoulements étant la caractéristique principale des fleuves tropicaux, le Sénégal n'échappe pas à cette règle.

Depuis le début du siècle (1902–1904 à 1994–1995), le module moyen des écoulements à Bakel (Fig. 1(a)) est de $675 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. De 1903 à 1984, le module moyen interannuel s'élevait à $715 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pour la même période à Dagana, plus en aval (Fig. 1(a)), le module moyen interannuel est de $641 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A Bakel, comme à Dagana, les écoulements extrêmes ont été observés au cours des mêmes cycles hydrologiques: les écoulements maximums ont eu lieu en 1924–1925 ($39.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ à Bakel et $30.6 \times 10^9 \text{ m}^3$ à Dagana). A Diama, en ce qui concerne les volumes mensuels et annuels, l'écoulement annuel a été maximal en 1994–1995, soit 21.1×10^9 milliards de m^3 , et en 1988–1989, sensiblement égal en 1986 et 1989, 1991, 1992, 1993 et minimum en 1987–1988 et en 1990–1991.

Les écoulements les plus faibles ont été enregistrés au cours des cycles 1983-1984 ($6.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ à Bakel et $7.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ à Dagana) et en 1984–1985. L'écoulement est le plus faible du siècle à Bakel.

Depuis le début du siècle, en 1903–1904 jusqu'en 1995–1996, le module moyen annuel à Bakel est de $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, représentant un écoulement moyen annuel de 22 milliards de m^3 ; 94% de cet écoulement transite de juillet à novembre. L'écoulement moyen annuel est d'environ 9,66 milliards de $\text{m}^3 \text{ an}^{-1}$ et présente la saisonnalité typique des fleuves sahaliens avec une période de basses eaux après la période sèche, de décembre à juin (Fig. 2(a)).

Depuis 1968 (Kane & Gac, 1985) ont montré que le module moyen interannuel du Fleuve Sénégal n'a pas cessé de diminuer: de $771 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1968, il est successivement passé à $765 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1971, à $747 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1975, à $736 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1977, à $733 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1979, pour s'établir à $715 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1983, $705 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1989, à $680 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1992 soit après un siècle d'enregistrement des débits, $675 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1994, et enfin à $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1995–1996.

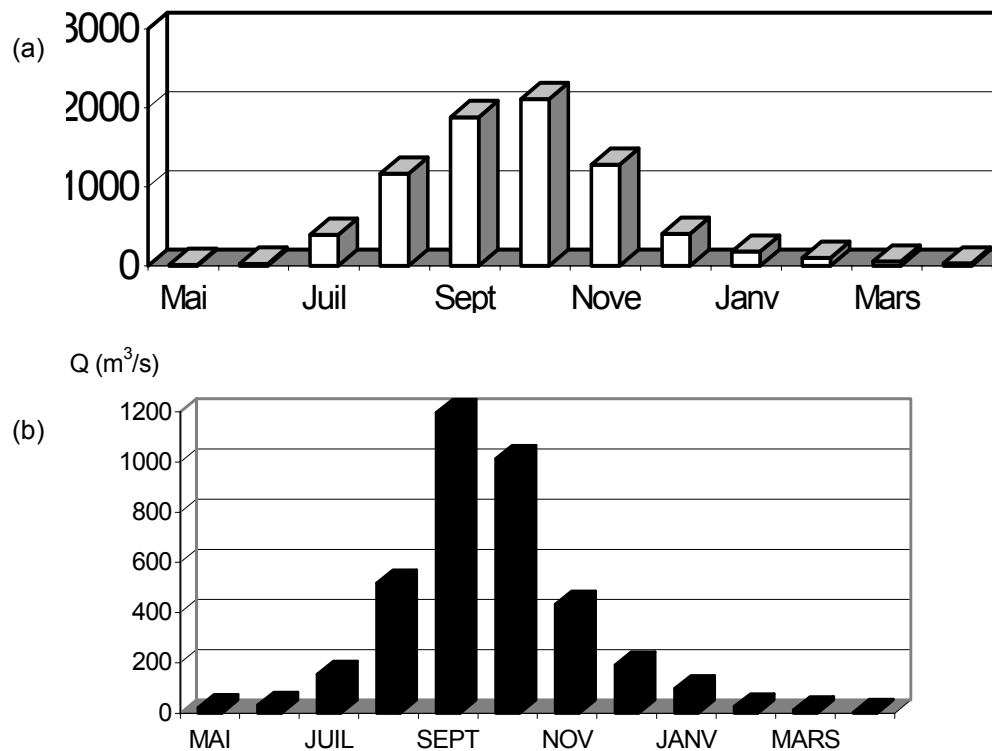


Fig. 2 Evolution des débits moyens mensuels du Sénégal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) (a): Dagana (1903–1983); (b) Diama (1986–1994).

Quelques crues artificielles caractéristiques ont été étudiées après la mise en service du barrage de Manantali en novembre 1987 à Bakel. La gestion de Manantali n'est pas seulement fonction du remplissage du réservoir amont. Elle doit aussi prendre en compte l'élévation du plan d'eau dans la vallée en partie contrôlée par le barrage anti-sel de Diama situé à 50 km de l'embouchure du fleuve. Le module interannuel est de $323 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Manantali et $675 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Bakel, le barrage de Manantali permet donc de gérer l'écoulement de près de 50% des eaux du fleuve arrivant à Bakel. Les débits moyens à Diama de la période d'étude sont présentés au tableau 1 et à la Fig. 2.

Tableau 1 Débits moyens mensuels (m^3/s) est de $6,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ du Sénégal au barrage de Diama

	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	TOT
	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Qmoy $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
1986/87	0.00	0.00	38.60	447.00	1060.30	1144.70	399.80	9.20	0.00	0.00	0.00	0.00	258.30
1987/88	0.00	0.00	0.00	146.10	703.60	748.40	398.80	22.80	0.00	0.00	0.00	0.00	168.30
1988/89	0.00	0.00	2.20	719.50	1084.50	2183.70	193.50	30.80	0.00	0.00	0.00	0.00	423.20
1989/90	0.00	0.00	214.96	415.11	1948.10	1052.00	327.93	75.83	6.02	13.44	0.00	21.19	279.93
1990/91	0.00	0.00	701.10	572.20	1232.74	599.00	247.30	42.10	0.00	0.00	0.00	0.00	225.80
1991/92	0.00	0.00	0.00	460.30	1270.80	927.00	573.10	177.00	70.80	0.00	0.00	96.50	293.40
1992/93	136.50	157.30	238.90	335.60	547.80	557.00	235.60	154.60	76.20	101.70	132.80	86.10	274.70
1993/94	0.00	28.50	268.10	625.30	1216.60	678.70	335.70	30.60	0.00	0.00	0.00	0.00	269.80
1994/95	48.90	60.90	303.70	1105.30	1739.50	1259.70	1221.00	1079.30	823.10	245.90	117.00	13.30	668.10

LES CHANGEMENTS DES DÉBITS JOURNALIERS DEPUIS LA MISE EN EAU DES BARRAGES À BAKEL ET À DIAMA

Dans le cour supérieur du Fleuve Sénégal, à Bakel, le régime hydrologique est désormais tributaire de la pluviométrie dans le haut bassin, mais aussi des options de gestion des barrages (Fig. 3).

Gac *et al.* (1991) ont souligné les importants déficits du Fleuve Sénégal au cours des dernières années, mais aussi “la particularité (étiages soutenus) des crues artificielles engendrées par le barrage de Manantali”. Les débits moyens mensuels du Fleuve Sénégal à Bakel se présentent ainsi:

- (a) de 1903 à 1995: ensemble des observations (module interannuel = $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)
- (b) 1972 à 1995: 24 derniers cycles hydrauliques ($473 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$: déficit moyen de 30%)
- (c) de 1988 à 1995: 8 années de crues artificielles ($541 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$: déficit moyen de 20%)

L’observation des débits journaliers à Bakel, permet de constater une réduction des débits de crue. La sévérité de la sécheresse actuelle est ainsi nettement perceptible au niveau des débits maximum des pointes de crue, à Bakel, la moyenne des maximums annuels des 16 années de mesure (1968–1994) s’élève à $2970 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour une moyenne de $4370 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ sur 82 ans; à Dagana, les résultats sont analogues: $1570 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour les 16 dernières années et $2330 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour les 82 années d’observation. A l’aval comme à l’amont, la réduction dans les écoulements est de l’ordre de 32% depuis 1968 (EQUESEN, 1993).

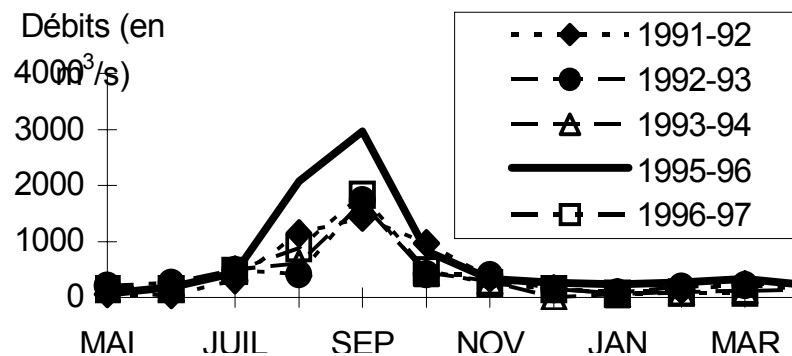


Fig. 3 Évolution de l’hydrogramme de crue à Bakel après la mise en service du barrage de Manantali en 1988.

La régulation hydrique du fleuve est encore plus sensible à Diama (voir plus loin Fig. 5).

Les débits maximums enregistrés depuis la mise en fonctionnement du barrage de Diama sont notablement plus faibles que ceux mesurés auparavant à Dagana et à Saint-Louis: 1986: $1537 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1991: $801 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1987: $1446 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1988: $2600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1989: $1377 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1990: $1060 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; 1991: $801 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contre un peut plus de $4\ 000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ antérieurement.

Evolution des matières en suspension a l'aval de Diama en fonction des débits (1986–1995)

Les données traitées et présentées ici sont issues des mesures du projet EQUEN (1993) et Kane (1997). Ces campagnes de mesure ont été effectuées au début des années 1980 à la station de Saint-Louis et vers les années 1990 à la station de Diama-Amont. Malheureusement, les concentrations de matières en suspension, ne font plus l'objet d'un suivi systématique dans la partie estuarienne, ce qui explique que nous ne disposons pas de données plus récentes.

Chaque prélèvement a consisté en une prise d'eau journalière de 64 l effectuée à l'aide d'une bouteille à renversement d'un litre munie d'un messenger. Les échantillons ont été collectés à différentes profondeurs sur cinq ou sept profils transversaux. Le régime des cours d'eau a guidé la répartition et la densité du prélèvement au cours de la période des hautes eaux, pour déterminer les principales caractéristiques du transport solide en suspension et évaluer les flux particuliers annuels.

Avant la régulation du fleuve, les variations saisonnières de la turbidité montraient un maximum centré en période de hautes eaux et un minimum qui coïncide avec la période de basses eaux (Fig. 4). Trois grands événements se succédaient dans un ordre chronologique immuable: maximum de la charge solide, maximum des écoulements et maximum de la charge soluble

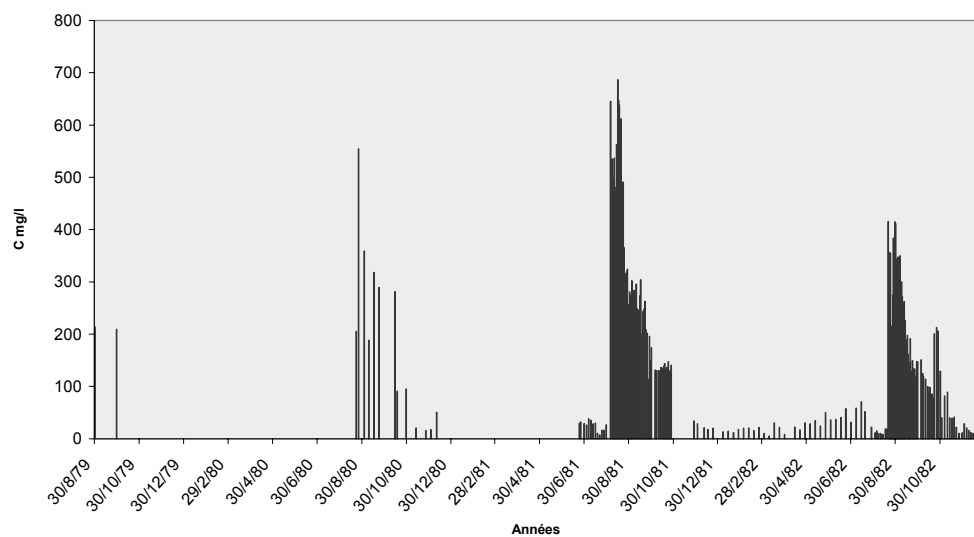


Fig. 4 Evolution de la concentration de MES à la station de Saint-Louis (1979–1982) avant la régulation.

On note une augmentation rapide des MES avec l'arrivée des eaux de crue annuelle qui transportent les sédiments provenant de l'érosion du bassin versant. Les concentrations restent relativement élevées (près de 200 mg l^{-1}) jusqu'en fin septembre-début octobre. Dès le mois d'octobre, les charges solides diminuent très rapidement.

Depuis 1985, le régime des MES est complètement modifié. Au cours des cycles successifs de crue artificielle à la station de Diama-amont, les plus fortes concentrations journalières observées ont été de 740 mg l^{-1} (01 septembre 1989), de 380 mg l^{-1} (30 août 1990), de 665 mg l^{-1} (04 septembre 1991), de 530 mg l^{-1} (15 septembre 1992) et de 580 mg l^{-1} (15 août 1993). A la station de Saint-Louis, les plus fortes concentrations journalières observées au cours des deux cycles successifs entre 1980 et 1982 ont été de 685 mg l^{-1} (15 août 1981) et de 415 mg l^{-1} (20 août 1982).

Les moyennes annuelles calculées par Kane (1997) sont de 218 mg l^{-1} en 1989/90, 90.5 mg l^{-1} en 1990/91, 187 mg l^{-1} en 1991/92, 125 mg l^{-1} en 1992/93, et 190 mg l^{-1} en 1993/94, elles sont tout à fait comparables (sauf pour l'année 1990) avec celles obtenues à Saint-Louis et qui se sont établies à 252 mg l^{-1} en 1981/82 et 156 mg l^{-1} en 1982/83, (Fig. 4) ce qui classe le Sénégal parmi les organismes fluviaux à teneurs en MES moyennes.

L'évolution des relations entre les débits calculés au barrage de Diama et les concentrations mesurées sont présentées à la Fig. 5 pour deux années sélectionnées, l'artificialisation du régime des MES est évidente. En 1990, le maximum de MES se produit après les plus hautes eaux, en 1993 il est nettement avant celles-ci.

Le flux annuel est établi ainsi: (a) le flux journalier est calculé à partir de la concentration mesurée et du débit moyen journalier; (b) le flux annuel est ensuite établi à partir de la somme de ces flux journaliers. Il arrive de posséder plusieurs mesures de concentration alors qu'une seule valeur moyenne de débit est disponible. Dans ce cas, pour un débit moyen de la période i , le flux de la période i est calculé à partir de la moyenne des concentrations mesurées durant cette période i .

FLUX DE MATIÈRES EXPORTÉS À SAINT-LOUIS ET DIAMA (ZONE DE L'EMBOUCHURE)

L'évolution de la vallée estuarienne est sous la dépendance des apports sédimentaires transportés par les flots annuels de la crue d'une part, et d'autre part par les actions de remontée des eaux océaniques dans l'estuaire pendant la saison des basses eaux. Le transport solide du Fleuve Sénégal reste relativement faible, mais surtout variable d'une année à l'autre.

LES DONNÉES ANTÉRIEURES

Des mesures épisodiques ont été faites avant 1980 sur certaines stations du Fleuve. Riou (1936) signale des mesures faites à Bakel et Saint-Louis en 1908, 1934–1935. De ces mesures, il conclut qu'à partir d'un écoulement de 39 milliards de m^3 , le Sénégal transporte 4 millions de tonnes de limons parmi lesquelles 30% se déposeraient dans la plaine d'inondation et 70% seraient jetés à la mer.

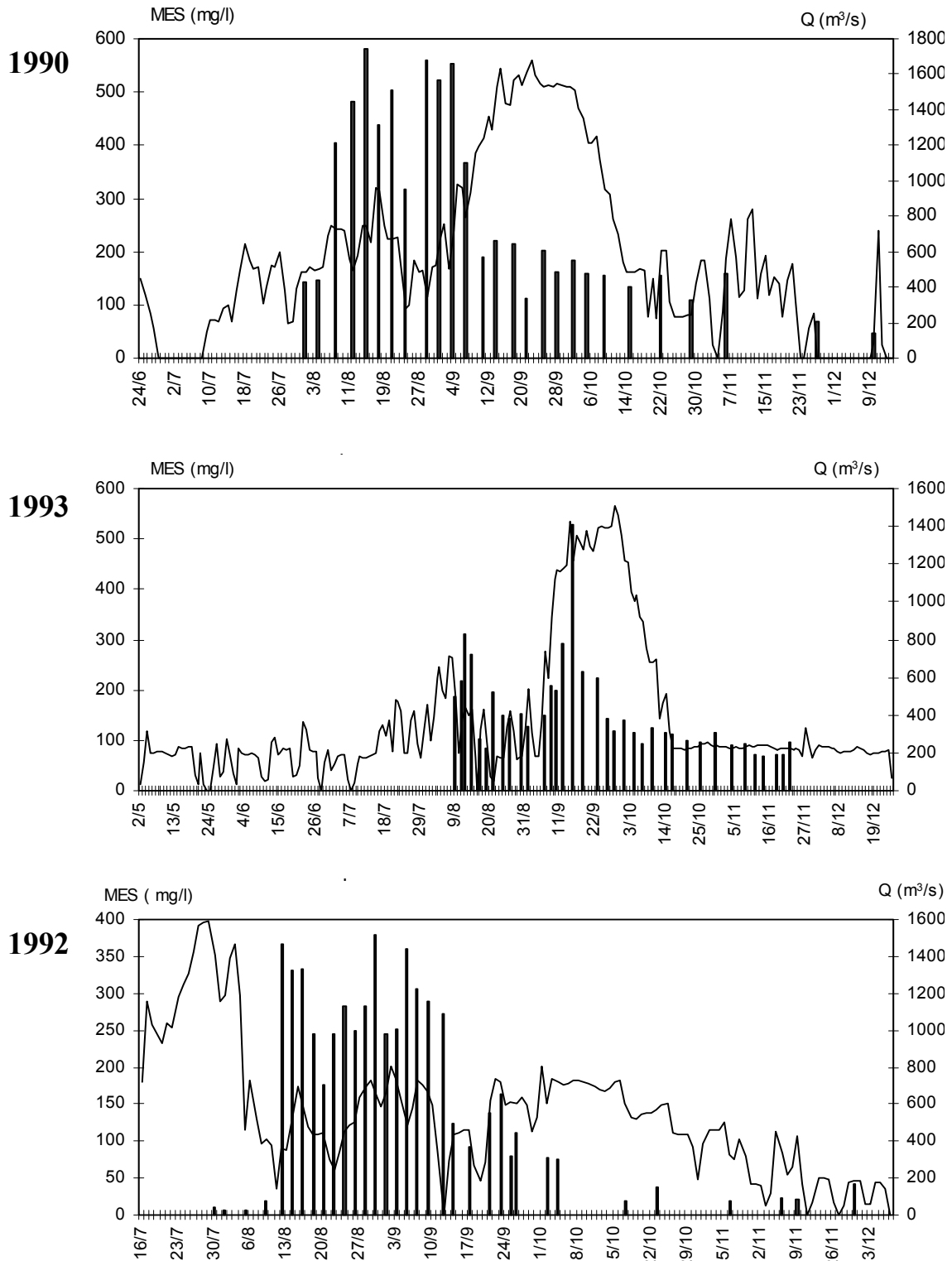


Fig. 5 Exemples des variations des concentrations moyennes journalières des matières en suspension avec les débits à Diama en 1990 et 1993.

Les mesures effectuées par Seguy (1935) et Mandin (1957) à Dagana, Bakel et Fadougou révèlent que la charge moyenne de matières en suspension (MES) en début

de crue est estimée à 250 mg l⁻¹ à Dagana et 170 mg l⁻¹ à Bakel. En reprenant les mesures de la Mission d'Aménagement du Sénégal (MAS), Michel *et al.* (1993) estime que l'apport détritique annuel varie de 1 à 2.8 millions de tonnes. La mission Surveyer-Nenniger-Chenevert (1972) a pour sa part estimé à 1 million de tonnes les quantités de matières en suspension véhiculées par le Fleuve Sénégal vers son embouchure.

Il faut souligner que les véritables mesures de matières en suspension sur la partie estuarienne avant la mise en service de Diama n'ont débuté qu'à partir des années 1980 avec notamment un vaste programme de l'ORSTOM (actuel IRD) qui a permis (Gac & Kane, 1986; Kane, 1997) de suivre l'évolution des MES dans l'estuaire à la station de Saint-Louis pendant les années 1981–1982 et 1982–1983. Les résultats obtenus lors de ces deux années de mesures ont permis d'estimer les apports respectivement à 2.85 et 1.185 millions de tonnes.

L'afflux de matières en suspension (tableau 2) a été pratiquement trois fois plus important en 1989–1990 et 1991–1992 qu'en 1990–1991 alors que les volumes écoulés ne varient guère dans cette proportion (8.7×10^9 m³ en 1989–1990; 6.9×10^9 m³ en 1990–1991; 9.1×10^9 m³ en 1991–1992).

Ces chiffres sont à rapprocher de ceux obtenus à la station de Saint-Louis en régime naturel.

D'une manière générale, les cycles hydrologiques montrent qu'à l'échelle mensuelle, les mois d'août, de septembre et d'octobre rassemblent la quasi totalité (95%) de la charge solide. Il faut souligner la diminution drastique du tonnage à partir du mois de novembre (environ 2% et même moins) et les pourcentages insignifiants du mois de décembre (moins de 1%). Près de la moitié des flux détritiques annuels sont exportés au cours du mois de septembre (58.77% en 1989–1990 et 47.78% en 1990–1991). Les débits solides sont très irréguliers sur l'année (Fig. 6).

La Fig. 6 reprend à la station de Diama, l'analyse du transport mensuel (10³ tonnes) en fonction des volumes d'eau écoulés (10⁶ m³). Les relations à l'échelle mensuelle entre les volumes écoulés et les concentrations moyennes forment des boucles d'hystérésis. Dès l'amorce de la décrue la baisse des valeurs de concentration est perceptible, toutes les figures montrent une très grande hétérogénéité entre saison des hautes eaux et celle des basses eaux.

La relation établie entre le volume d'eau écoulé et le flux de matières à Diama de 1989 à 1993 montre une assez bonne corrélation (R = 0.78) entre ces deux paramètres

Tableau 2 Bilan des flux particuliers à l'embouchure du Fleuve Sénégal après la mise en service du barrage de Diama (année hydrologique: mai à avril).

	Concentration moyenne (en mg l ⁻¹)	Volume écoulé (en km ³ an ⁻¹)	Masse
Diama			
Cycle 89/90	218	8.7	1.9
Cycle 90/91	90	6.9	0.63
Cycle 91/92	188	9.1	1.7
Cycle 92/93	125	7.6	0.96
Cycle 93/94	190	8.5	1.8
Saint-Louis			
Cycle 81/82	252	11.4	2.85
Cycle 82/83	156	7.6	1.2

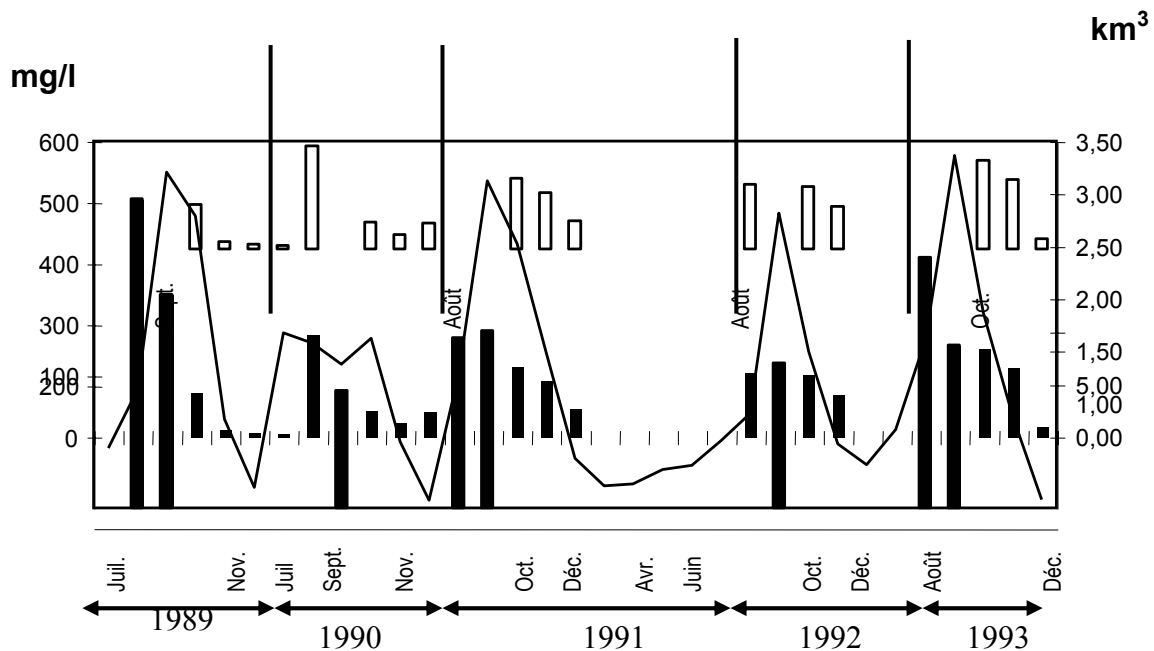


Fig. 6 Evolution mensuelle des débits solides (histogramme) et débit liquide (courbe) à Diama—amont de 1989 à 1993 pendant les mois des hautes eaux.

pendant la saison de crue, certes il apparaît une relative dispersion des points mais on peut dire avec Gourcy (1994) “le transport de matière est lié à l’écoulement et donc directement à l’érosion du bassin versant”.

En définitive le transport solide du Fleuve Sénégal reste relativement faible au cours de ces cycles hydrologiques (en moyenne de l’ordre de 2 millions de tonnes/an), mais surtout variable d’une année à l’autre. Il s’agit essentiellement de matériaux fins.

C’est un fleuve de faible compétence dans son estuaire, argiles et limons transportés en suspension auront donc tendance à se déposer. A l’heure actuelle le Fleuve Sénégal ne joue pas un rôle essentiel dans l’édification de la flèche littorale de la Langue de Barbarie, il peut en revanche contribuer à l’érosion du cordon au cours de la crue.

Aujourd’hui, on constate une prépondérance de la dynamique marine sur celle fluviale (CAMPUS, 1993). L’estuaire se caractérise par la réduction des profondeurs et des largeurs de Saint-louis vers l’embouchure à la suite d’une forte sédimentation et de l’incapacité du fleuve à évacuer sa charge. Mais l’actualité et la pertinence de ces données sont désormais remises en question par la création d’une nouvelle embouchure.

Une nouvelle donne est à considérer dans l’évolution morpho-sédimentaire de l’estuaire du Fleuve Sénégal avec l’ouverture d’une brèche qui consacre la création d’une nouvelle embouchure à 7 km de Saint-Louis. En effet, depuis le 3 octobre 2003 un nouveau point de communication fleuve-océan est créé par l’ouverture, sur la Langue de Barbarie d’un canal de 4 m large et 100 m de long. Cet ouvrage avait pour objectif de sauver la ville de Saint-Louis des eaux de crue qui menaçaient de l’inonder.

Depuis son ouverture, le canal n’a cessé de s’élargir sous les effets combinés de la houle et de la dérive littorale orientée nord-ouest sud-est, et est passé de 4 m en octobre 2003 à près de 800m en juillet 2004, avec cependant une certaine tendance à la stabilisation constatée depuis la fin du mois de mai 2004.

L'ouverture de cette brèche a enclenché le processus de fermeture de l'ancienne embouchure qui peut être traversée à gué à marée basse. Ce phénomène laisse présager d'une évolution lagunaire de la partie située entre la nouvelle embouchure et l'ancienne, avec les nouvelles conditions morpho-sédimentaires sur l'ensemble de l'estuaire. Les travaux en cours permettront prochainement de répondre aux nombreuses interrogations soulevées par cette nouvelle embouchure.

CONCLUSION

Les matières en suspension (MES) sont caractérisées par une grande variabilité journalière de leur concentration, malgré un rythme saisonnier immuable. Le transport de matières en suspension reste relativement faible et le fleuve ne joue aucun rôle important dans l'édification de la langue de Barbarie.

Cependant, la création d'une nouvelle embouchure par l'ouverture d'une brèche à 7 km au sud de Saint-Louis perturbe fortement, sans qu'il en soit encore possible de préciser dans quel sens, le fonctionnement d'ensemble de la zone estuarienne.

BIBLIOGRAPHIE

- EQUESEN, (1993) Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal, Rapport final, 6 Tomes 12 chap., Projet CEE/ORSTOM/UCAD/ISRA, Dakar, 35 p. Doc. multigr.
- Gac J. Y., Carn M., Cecchi P., Cogels F. X., Kane A. & Saos J. L. (1991) Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal. Rapport CEE, projet Equesen, no. 5, 202 p.
- Gac J. Y., Coly A., Niang A., Carn M. & Cogels F. X. (1993) Bilan hydrologique du lac de Guiers en 1992. Vers une gestion concertée des crues du fleuve Sénégal ?. Rapport Cee, projet Equesen, 22 p.
- Gac J. Y. & Kane A. (1986) Le fleuve Sénégal: bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulaires à l'embouchure. *Bull. Sci. Géologiques, Strasbourg*, **39**, 99-130.
- Gourcy L. (1994) Fonctionnement hydrogéo-chimique de la cuvette lacustre du fleuve Niger (Mali): Bilans et suivi des flux hydriques et dissous et des flux de méthane. Doctorat en Sciences, Université Paris XI Orsay, 272 p, 8 annexes.
- Kane, A. (1985)– Le bassin du Sénégal à l'embouchure flux continentaux dissous et particulaires, invasion marine dans la basse vallée du fleuve: contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien. Th. 3^e cycle Géogr. Physique, Univers. Nancy II / ORSTOM / NANC.I.E.–NANCY.
- Kane, A. (1993) Les transports de matières en suspension du fleuve Sénégal. Mélanges Frecaut René, p 201-210. L'eau, la terre et les hommes: au fil de l'eau, hommage à René Frecaut. Sous la direction de Madeleine Griselin. Nancy, Presses Universitaires de Nancy, France.
- Kane, A. (1997) L'après-barrages dans la vallée du fleuve Sénégal: Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Dakar, Senegal.
- Mandin, R. (1957) Rapport sur les mesures de débits solides à Dagana-Bakel- Fadougou. *Bull. Amen. Fleuve Sénégal (MAS)*, **44**, 60 p.
- Michel, P., Barusseau, J. P., Richard, J. F. & Sall, M. (1993) L'après barrages dans la vallée du Sénégal: modifications hydrodynamiques et sédimentologiques, conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles. Projet Campus (1989-1992). UFR de Géographie Cérég (Strasbourg), Labo. de rech. en sédimentol. marine (Perpignan), départ. de Géog., Départ. de Géol. de Dakar, coll. Etudes, Presses Universitaires de Perpignan, France.
- Michel, P. (1973) Les bassins du Sénégal et de la Gambie: étude géomorphologique. Thèse Lettres, Géographie, Univ. Strasbourg; Mém. Orstom, Paris, **63**, 3 tomes,
- Piekutowski, T. (1990) Déversements au barrage de Diama, 1986-1989. Rapport établi pour le projet Usaid-Omvs de suivi des eaux souterraines. Saint-Louis, juin 1990, 8 p. + annexes
- Riou C. (1936) - Rapport général. Proposition pour l'amélioration de la navigabilité du fleuve Sénégal. Aménagement de la vallée et utilisation de ses forces hydrauliques. Rapport MAS, Bull; **53**, septembre 1936, Saint-Louis, Sénégal.
- Seguy, J. (1955) - Rapport sur les mesures de débits solides du fleuve Sénégal à Dagana (Campagne 1955). *Bull. de la MAS* **42**.
- Senegal-Consult (1970) - Etude de pré-investissement pour la régularisation du fleuve Sénégal. projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Haut-Sénégal. Volumes 3A, 3B, Hydrologie, textes et annexes, appendices.
- Surveyer, Nenniger, Chenevert, [initials??] (1972) Etude de la navigabilité des ports du fleuve Sénégal. Etudes portuaires à Saint-Louis, Kayes et Ambidédi. En collaboration avec C. Ostensfeld et W. Jonson. Danish Institute of Applied Hydraulics. Projet Onu 51/71 Saint-Louis, OMVS.