

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE



"EAU ET MILIEU PHYSIQUE DANS LE BASSIN DE L'AXE GOROM-LAMPSAR"

TRAVAIL D'ETUDES ET DE RECHERCHES
MEMOIRE DE MAITRISE

présenté par
ABDOULAYE FAYE

sous la direction de
M. ALIOUNE KANE
Maître - Assistant

ANNEE UNIVERSITAIRE 1989-1990

*Mémoire de Maîtrise réalisé avec le concours matériel et le soutien financier
du Programme CEE/ORSTOM N°TSE 0198-F EDB
PROJET EQUESEN*

Troisième partie : L'impact des facteurs du milieu physique	
sur les eaux	37
I. Les sédiments et le colmatage du chenal	42
I.1. Caractéristiques granulométriques et texturales ...	43
I.1.1. Les sédiments de fond de chenal	43
I.1.2. Les sédiments des levées	44
I.1.3. Les sédiments des cuvettes	45
I.1.4. Les sédiments des canalisations.....	46
I.1.5. Les sédiments de nebka	46
II. L'origine des sédiments rencontrés dans le chenal.	47
III. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux..	50
III.1 Nature physico-chimique des eaux au mois de juin.	51
III.1.1.Les caractéristiques physiques	51
III.1.2.Les caractéristiques chimiques	53
III.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux au mois de Septembre.....	57
III.2.1.Les caractères physiques	57
III.2.2.Les caractères chimiques	59
IV. Les aménagements hydro-agricoles	62
IV.1. Les aménagements techniques	63
IV.2. La gestion de l'eau dans le bassin	66
CONCLUSION GENERALE	69
Bibliographie	73
Abréviations	77
Liste des figures	77
Liste des tableaux	78
Annexe	80

AVANT-PROPOS

Nous avons voulu, par le choix de ce sujet, apporter notre modeste contribution à la connaissance du delta du fleuve Sénégal dont l'aménagement continue de poser des problèmes de divers ordres.

C'est sous cet angle que nous avons abordé l'eau dans son environnement et les problèmes auxquels sa maîtrise et sa gestion (en quantité et en qualité), restent confrontées dans un cadre géographique tout à fait particulier.

A noter cependant que notre travail n'a jamais eu la prétention d'être l'oeuvre d'un spécialiste. Il est tout naturellement un essai d'application des méthodes de travail et de recherche que nous avons reçues au cours de notre formation universitaire.

Un nombre plus ou moins important de difficultés a accompagné la réalisation de ce T.E.R. Aux problèmes d'ordre pécuniaire, sont venus s'ajouter l'éparpillement de la documentation et les contraintes de déplacement sur le terrain.

Enfin, ce travail du débutant que nous sommes nous initiant à la recherche par la recherche, ne serait-il jamais achevé sans l'aide constante, la disponibilité et les conseils de notre encadreur, de nos frères et de tous nos amis.

Il nous est dès lors très agréable aujourd'hui d'exprimer nos plus vifs remerciements à toutes les personnes qui nous ont, sans réserve, apporté leurs enseignements, leur soutien moral et financier, et leurs encouragements nécessaires à l'achèvement de ce travail.

A notre maître et directeur de recherche, Monsieur Alioune KANE, Maître-assistant qui a suivi ce travail du début à la fin, avec ses critiques, ses suggestions et ses conseils. Nous lui savons gré. Nous lui sommes reconnaissant pour sa disponibilité et son ardeur pour assurer notre encadrement aussi bien à Dakar que sur le terrain.

Notre profonde gratitude ne saurait exprimer toute la reconnaissance que nous devons à Monsieur Mamadou M. SALL, Professeur au département de Géographie. Nous le remercions très vivement pour avoir accepté de lire notre manuscrit, et pour ses suggestions sur le croquis géomorphologique.

A Monsieur Abdoulaye FAYE, Maître-assistant au Département de Géologie, pour avoir mis à notre disposition un certain nombre d'instruments de travail sur le terrain, pour avoir accepté de lire la partie consacrée à l'analyse physico-chimique des eaux. Pour tout ceci, nous lui disons merci.

Nous renouvelons nos plus profonds remerciements à toute l'équipe du Laboratoire de pédologie de la S.A.E.D. à Ross-Bethio. Nous pensons très sincèrement à MM. BOKOUM, DIALLO et DIEME qui ont assuré les analyses de sédiments et d'eau.

A tout seigneur, tout honneur, c'est au Département de Géographie de l'Université Cheikh Anta DIOP que notre intérêt pour la recherche a été développé. Nous sommes reconnaissant à l'ensemble du corps professoral.

Permettez-nous aussi de remercier tous les organismes, instituts et services qui ont eu à nous apporter leur aide :

- le Centre de documentation de l'O.M.V.S. : M. Djibi SALL, le Directeur, et ses collaborateurs : Cheikh DIA, M. MBAYE, etc. Nous les remercions pour leur confiance et les facilités qu'ils ont bien voulu nous accorder.

- Le Centre de documentation de la S.A.E.D. à Ndiaye, Mlle Marie MBENGUE m'a reçu avec amitié et disponibilité dans le centre.

- le C.N.R.A. de Bambey (I.S.R.A.) : M. Madiagne DIAGNE, chef du laboratoire de bioclimatologie et ses collaborateurs : Ndongo NGOM, M. FALL, etc., ont facilité notre séjour dans ce centre et ont mis à notre disposition leur banque de données.

- le Service régional de l'Hydraulique de Saint-Louis : M. SECK, ingénieur délégué et Monsieur DIAGNE pour l'intérêt porté à nos travaux.

Nous avons travaillé dans le cadre de deux projets :

- CAMPUS : "l'après-barrage dans le delta et la basse vallée. Modifications hydrologiques, morphodynamiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles".

- EQUESSEN : "Eaux et qualité de l'environnement au Sénégal".

Leur appui sans réserve a été plus que déterminant dans l'exécution de ce travail.

Par ailleurs nous tenons à remercier vivement Messieurs Massoguy GUEYE et Seyni NDAO, respectivement chef de la Division Aménagement et Gestion de l'eau, et chef du Projet Irrigation IV à la SAED à Ross-Bethio, pour leur disponibilité et les renseignements fournis.

Aussi, nous remercions Madame DIOP, Secrétaire du département de Géographie, qui a accepté de dactylographier ce T.E.R.

Monsieur BA, cartographe au département de Géologie, a accepté de mettre au propre le croquis géomorphologique. Nous lui en savons gré.

Nos sincères remerciements sont adressés à nos mentors, Pape Samba DIOP à Saint Louis et Grand Youssou NDIAYE à Ross-Bethio.

Enfin, nos pensées vont à toute notre famille, toujours soucieuse de l'état d'avancement de nos travaux. Une mention particulière est adressée à Messieurs Ngouye FAYE, Ibrahima FAYE et Ousmane FAYE pour tout ce qu'ils ont fait pour le petit frère que nous sommes.

Au terme de cette étude, puisse ce travail apporter satisfaction à l'ensemble des utilisateurs du bassin de l'axe Gorom-Lampsar.

INTRODUCTION

Le bassin de l'axe Gorom-Lampsar est situé dans le Delta du fleuve Sénégal, constitué de terres basses et inondables entre la mer et le désert (fig. 1). Il est drainé par deux défluent ou plus exactement deux "shunts" du fleuve que sont le Gorom et le Lampsar, sur lesquels nous reviendrons en abordant l'hydrographie du bassin.

Dans son contexte régional, le bassin s'étire du NE au SW depuis le village de Ronq jusqu'à la confluence du Lampsar et du Djeuss en aval de Makhana. Ce qui donne à l'axe une longueur de 86 km si on ne tient pas compte de ses affluents.

Le cadre géographique dans lequel est contenu ce bassin correspond approximativement à la zone comprise en latitude entre les parallèles 16°05' et 16°30' Nord, et en longitude entre les méridiens 15°56' et 16°28' Ouest.

L'évolution de ce bassin est comprise dans celle du delta qui a abouti à la mise en place d'un relief monotone caractérisé par une grande extension des surfaces planes et à faible déclivité. Les rares hauteurs étant exclusivement représentées par les dunes ogoliennes ne dépassant presque jamais 15 m.

L'axe Gorom-Lampsar qui est relativement étroit, s'élargit d'amont en aval, et passe de 53 m au niveau de Boundoum à environ 93 m à la station de Ndiol. Les travaux antérieurs donnent à cet axe une largeur moyenne de 64 m. Les nombreux méandres présents dans le cours moyen du chenal s'accompagnent de petites levées en faisceaux isolant des cuvettes de décantation argileuse.

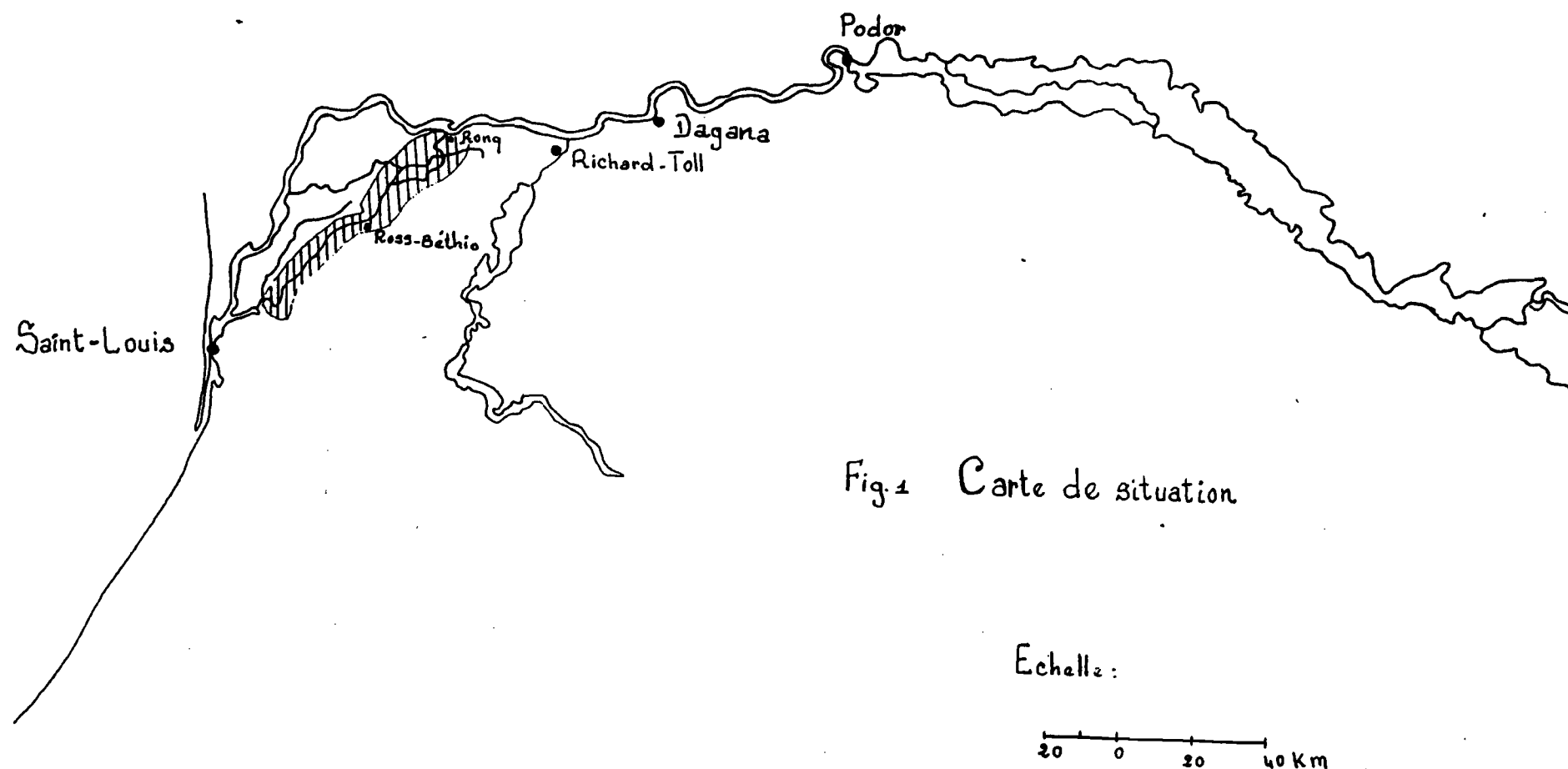


Fig. 1 Carte de situation

Echelle :

20 0 20 40 km



Domaine d'étude (bassin de l'axe Gorom-Lampsar)

Dans ses activités tendant à utiliser les systèmes naturels comme ressource, l'homme a imposé au bassin une autre forme d'évolution en rapport avec la multiplication des ouvrages de barrage, les stations de pompage et les aménagements hydro-agricoles.

Les barrages et les digues, en provoquant l'artificialisation de l'axe, ont modifié la dynamique et le régime hydrologique de la rivière. Ces changements ont entraîné une intensification de la sédimentation et corrélativement, le développement d'une végétation aquatique sur une grande partie de l'axe.

- Les travaux antérieurs

L'importante documentation trouvée au centre de documentation de l'O.M.V.S. à Saint-Louis et à celui de la S.A.E.D. à Ndiaye, montre que la vallée du fleuve Sénégal et le Delta ont fait l'objet de nombreux travaux relevant de plusieurs disciplines scientifiques.

Les études faites sur le bassin du Gorom-Lampsar semblent moins importantes en nombre.

Toutefois on peut citer les thèses de 3^e cycle de A. NDIAYE (1978) et de A. DIA (1986) qui nous ont guidé dans l'exécution de nos travaux.

- Méthodologie

L'interprétation d'une série de photographies aériennes au 60.000e de la mission japonaise de Mars 1989, nous a permis de réaliser le croquis géomorphologique (cf. carte hors texte). Des informations ont été tirées des feuilles au 50.000e de Saint-Louis et de Dagana rééditées par le S.N.G. en 1987.

L'inexistence d'une station météorologique branchée sur le réseau national dans le bassin, nous a amené à travailler essentiellement avec les données climatiques de la station de

l'I.S.R.A. à Ndiol. Pour cela, nous avons été à Bambey pour recueillir toutes les données disponibles entre 1979 et 1989.

Des descentes périodiques sur le terrain nous ont permis de mieux nous familiariser avec le milieu physique du bassin. Nous avons procédé à deux campagnes d'échantillonnage d'eau et à des mesures de quelques paramètres physico-chimiques : respectivement en Juin et en Septembre 1990.

En plus des échantillons d'eau, nous avons extrait des sédiments dans le fond du lit, sur les levées, les cuvettes, dans les canaux d'irrigation et de drainage, et sur les dunes d'obstacle ou nebka.

Tous les échantillons d'eau et de sédiments ont été analysés au laboratoire de pédologie de la S.A.E.D. à Ross Bethio.

Notre T.E.R. qui s'articule autour du thème : "eaux et milieu physique dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar", c'est le cas de le dire, n'est pas la première étude réalisée sur la qualité de l'eau dans le delta du fleuve Sénégal.

Cela dit, il tentera de s'inscrire dans le droit fil d'une entreprise tendant à une meilleure connaissance du delta, à l'ère de l'après-barrage et au moment où les besoins en eau des villes, des campagnes, des divers secteurs de l'économie du pays en général ne cessent de croître.

Ainsi ce travail, modeste du reste parce qu'étant les premiers pas du débutant que nous sommes en matière de recherche, comprendra trois parties.

- la première partie tentera de dresser un tableau des caractéristiques du milieu physique du bassin,
- la deuxième partie traitera des conditions hydriques et de la maîtrise de l'eau ;

- la troisième et dernière partie cherchera à déterminer l'impact des facteurs du milieu physique sur les eaux au plan quantitatif et qualitatif. Ce qui nous permettra de nous pencher sur le colmatage de l'axe et sur la minéralisation des eaux.

Pour terminer, nous avons jugé utile de parler des aménagements afin de voir quelle est leur place dans l'évolution actuelle du bassin.

PREMIERE PARTIE : LES FACTEURS PHYSIQUES ET LES CONDITIONS du milieu

I. LES DONNEES DU CLIMAT

Les données du climat au niveau du bassin de l'axe Gorom-Lampsar obéissent aux conditions climatiques très particulières qui règnent dans le delta du fleuve Sénégal.

Elles sont caractérisées par une situation de transition où s'entremêlent les influences d'un domaine continental sahélien et celles d'un domaine littoral.

Aussi trois masses d'air vont s'y relayer à l'échelle d'une année :

- l'alizé maritime de secteur Nord à Nord-Ouest souffle sur toute la région de Novembre à Mars. C'est un air frais et humide avec une faible amplitude diurne.

Une fois sur le bassin de l'axe Gorom-Lampsar, cet air garde encore une bonne partie de ses propriétés physiques même s'il subit un léger réchauffement par le continent.

- l'harmattan règne surtout en fin de saison sèche, c'est-à-dire d'Avril à Juin. C'est un air chaud et très sec. Il transporte de fines particules et, est responsable des brumes sèches dans les régions sahéliennes.

- la mousson, d'origine australe, est chaude et humide. Cet air qui apporte l'essentiel des pluies dans le delta, n'y séjourne que quelques mois (Juillet à Octobre).

1.1 - Les éléments du climat

Nous nous pencherons sur l'étude de quelques éléments du climat dans la mesure où pris isolément ou dans leur interaction, ils auront une influence certaine sur les eaux du bassin.

1.1.1. - Les pluies

Elles sont globalement très faibles parce que le bassin se situe au Nord de l'isohyète 400 mm.

Les stations pluviométriques situées le long de l'axe ont donné une moyenne annuelle de 280 mm entre 1970 et 1984 avec des maximum de 333,1 mm à Ross-Bethio, 339,6 mm à Ndiaye et à Ndiol en 1981 ; des minimum de 84,7 mm, 84,3 mm respectivement à Ndiaye et à Ndiol en 1984.

La moyenne décennale indicative de la station de Ndiol de 1979 à 1989 est de 235,6 mm. Ce qui nous amène à la conclusion selon laquelle la station a connu une réduction des quantité de pluies (de 16 %) reçues annuellement en rapport avec la sécheresse persistante que subit la zone sahélienne depuis 1968.

Les travaux de OLIVERY (1982) à la station de Saint-Louis montrent que la notion de moyenne annuelle n'a pas une grande signification. En ce sens que l'écart entre l'année la plus pluvieuse pour la station de Saint-Louis 674,9 mm en 1912 et l'année la plus déficitaire 102,5 mm en 1977 est loin supérieur à la normale (335 mm).

Par ailleurs le delta est handicapé par sa situation en latitude. Les pluies y sont concentrées en trois mois (Juillet, Août et Septembre), avec un maximum au mois d'Août. Le tableau 1 nous en donne quelques exemples : 104,5 mm en Août 1985, 138,2 mm en 1986, 191 mm en 1988, etc. A la faiblesse des précipitations, s'ajoute leur irrégularité.

C'est ce que nous avons essayé de mettre en évidence à travers la figure 2 qui montre que par rapport à la moyenne de 235,6 mm (1979-1989 à la station de Ndiol), six années sur dix sont déficitaires. Les années qui ont enregistré les plus importants déficits pluviométriques sont 1983 et 1984 avec respectivement 106,8 mm et 84,3 mm.

Le delta du fleuve Sénégal est caractérisé par des précipitations de type orageux liées essentiellement au passage de lignes de grains (M. LEROUX, 1982). Leur intensité moyenne quoique relativement faible peut présager de leur action érosive principalement sur les levées, au milieu et à la fin de l'hivernage. D'ailleurs on a pu observer sur le terrain des cannelures de 20 à 30 cm de large et de 15 à 20 cm de profondeur, et en extension sur les berges du lampsar près de Ross-Bethio, après une averse au mois d'Août.

Les pluies de "Heug" tombent entre Janvier et Mars (tableau 1); bien que de faible quantité, jouent un rôle important en humectant le sol et par conséquent lui assurent une protection temporaire contre la déflation éolienne.

La répartition spatio-temporelle de la pluviométrie (Tableau 2) nous amène à faire les remarques suivantes :

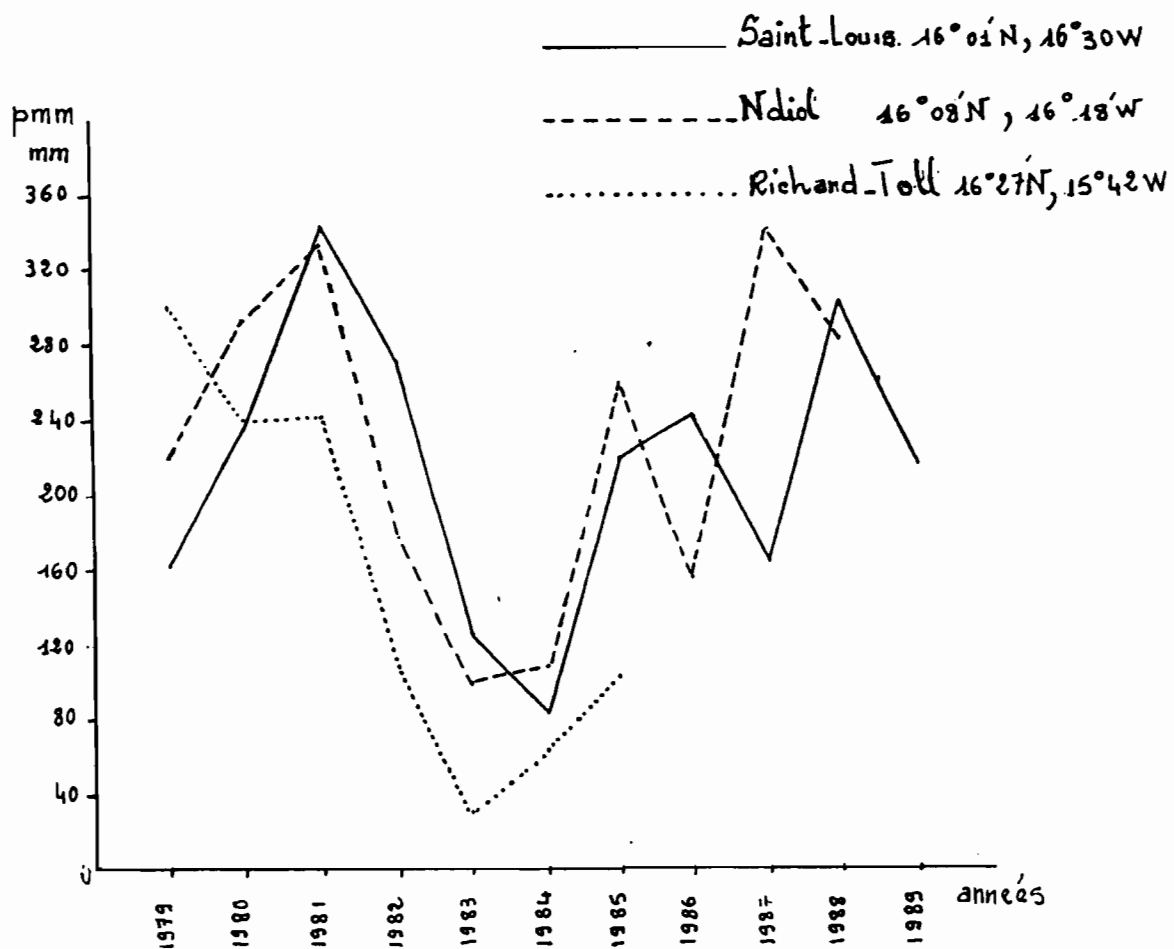
- Diminution des précipitations du Sud vers le Nord ;
- Irrégularité des précipitations à l'échelle du bassin, mais aussi à l'échelle interannuelle.

Selon A. KANE (1985), la période actuelle se caractérise par un déficit pluviométrique sévère et persistant. Depuis 1968, la règle générale est à la péjoration climatique, et les années humides ne sont que des exceptions au sein d'un "train" d'années sèches.

Tableau 1 : Pluviométrie moyenne mensuelle et annuelle (mm) à la station de Ndiol (1979 - 1989).

Mois Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	AN
1979						30	6	70,7	52,9	2,5			162,1
1980							20	115,6	43,9	48,8			128,3
1981	4,5				0,2	5,5	131,1	114,1	88,9				338,8
1982							139,1	104,7	1,5	27,6			272,9
1983		3,3					14,7	76,3	12,5				106,8
1984						3,5	10,5	18,3	24,5	27,0		0,5	84,3
1985	0,9		3,3			0,2	37,3	104,5	73,5				219,7
1986		1,3	0,3				30	138,2	71,9	1,2			242,9
1987						0,4	41,4	43,7	170,3	9,2			265
1988	0,3	16,2				12,2	1,5	191,0	98,3				319,5
1989						37,1	38,3	101,8	19,4				216,6
Moyenne	0,5	2	0,3	-	0,02	8,89	48,09	107,8	65,7	11,6		0,05	235,6

Fig. 2 : Variations interannuelles des pmm à :



La figure 2 montre de manière plus expressive les variations spatio-temporelles de la pluviométrie dans le delta du fleuve Sénégal.

Tableau 2 : Variation spatio-temporelle de la pluviométrie
(1984 - 1989)

Station Année	Saint-Louis 16°01 N 16°30W	Ndiol 16°08N 16°18W	Ndiaye 16°13N 16°16W	Ross-Bethio 16°20N 16°06W
1984	93,4	84,3	84,7	-
1985	261,3	219,7	272	-
1986	156,1	242,9	240,1	322,6
1987	342,4	265	215	184,6
1988	284,4	319,5	263	226,6
1989	239,5	216,6	235	235,9

Tableau 3 : Vitesses moyennes du vent au sol (m/s) à la station

de Ndiol (1987 à 1989)

Mois Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1987	1,6	1,6	1,9	2,2	2,5	3,0	2,9	2,7	1,8	1,4	1,2	2,2
1988	2,9	2,9	2,4	2,6	2,6	2,6	3,1	2,5	1,8	1,3	1,0	1,0
1989	1,3	1,4	3,1	4,1	3,6	3,4	2,9	2,8	2,6	2,7	2,7	1,8
Moyenne	1,9	1,9	2,4	2,9	3,0	2,9	2,6	2,0	1,8	1,8	1,6	1,6

1.1.2. - Les vents

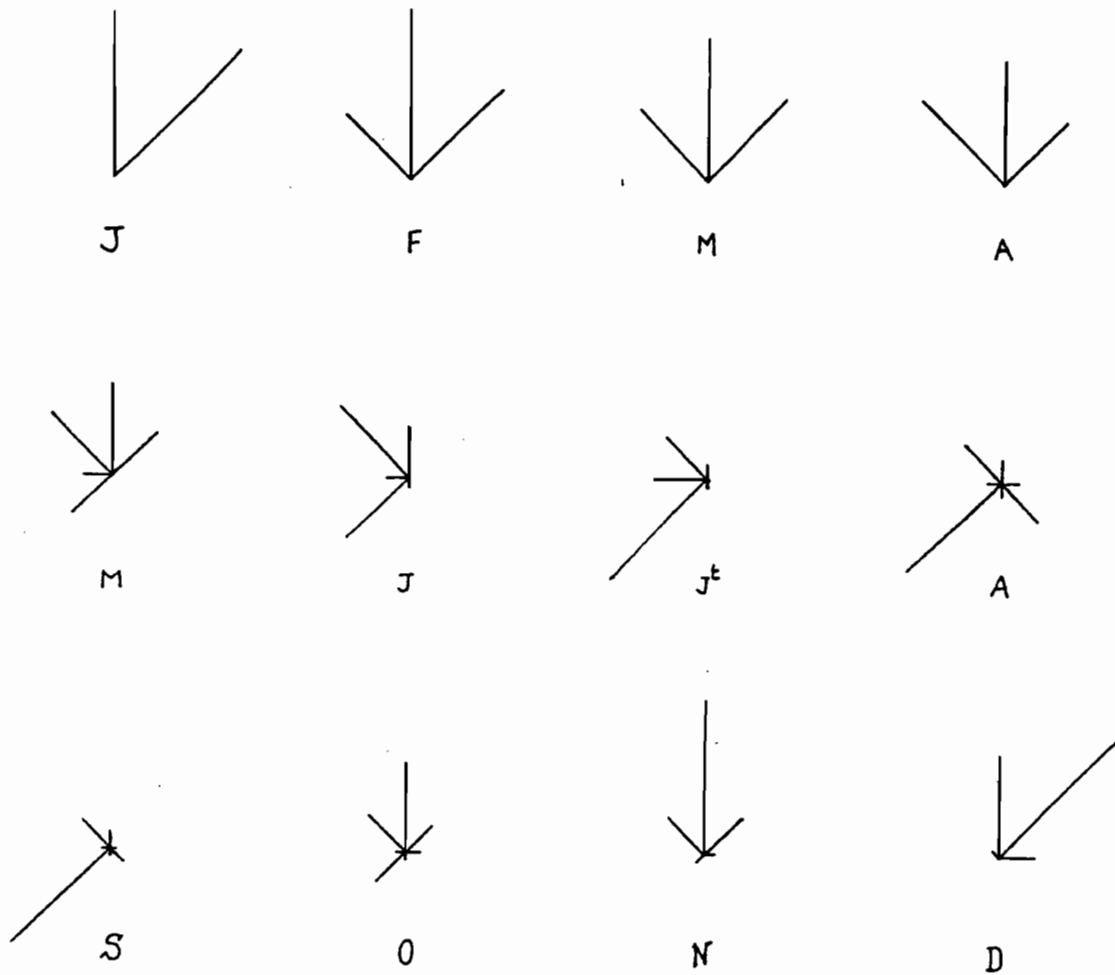
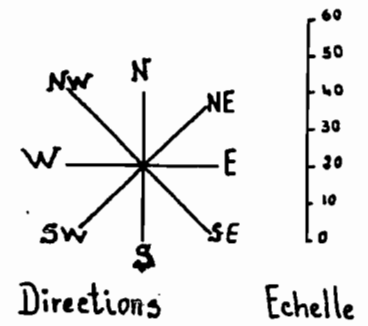
Les vents dominants en surface sont de vitesse, de direction et de nature variables. L'interprétation de la figure 3 nous amène à reconnaître l'existence de trois saisons éoliennes à la station de Ndiol :

- d'Avril à Juillet, légère prédominance des vents du NW à SW au détriment de ceux du N et du NE ;
- d'Août à Octobre, les vents soufflent presque dans toutes les directions. Cependant avec la prédominance des vents du secteur SW jusqu'au mois de Septembre ;
- dès le mois d'Octobre, les vents du Nord reprennent leur prédominance. Selon A. DIA (1986), ces vents peuvent atteindre en moyenne des vitesses de 7 m/s soit 25 km/h dans le delta.

Au niveau de la station climatologique de Ndiol (16°08' N, 16°18' W) sur le bassin de l'axe Goron-Lampas, les vitesses moyennes mensuelles à 2 m du sol dépassent rarement 3 m/s. Cette moyenne qui n'a qu'une valeur indicative parce que calculée uniquement sur trois ans, n'est approchée et même dépassée qu'en saison sèche.

Toutefois, cela peut donner une idée sur la vélocité de ces vents. Aussi, il n'est pas rare d'enregistrer, surtout avec les alizés continentaux, des vitesses de l'ordre de 15 m/s. Ce qui est assez suffisant pour mobiliser des matériaux (argiles,

Fig.3 Fréquences moyennes en pourcentage de la direction du vent au sol
à la station de Ndiol (1987 - 1989)



NB: Ici ne sont représentées que les fréquences $\geq 2\%$

limons et sables de tailles variables), sur de grandes surfaces fragilisées par la faiblesse du couvert végétal et l'absence d'humidification.

Les vitesses moyennes annuelles les plus faibles sont enregistrées aux mois de Novembre et Décembre, c'est-à-dire au début de la saison sèche. D'où la faiblesse de leur pouvoir érosif sur un matériel encore tapissé par une végétation herbacée.

En parlant de la provenance du matériel solide contenu dans les lits des chenaux du delta, M. SALL (1982) a montré que la déflation éolienne dans certaines cuvettes est renforcée par la présence du sel rendant les argiles et les limons floculables, donc plus éolisables.

Une partie de ce matériel éolien sera déposé dans le chenal. De même que les lithométéores (vents de sables, chasse-sable et tourbillons), qui sont fréquents dans le delta en fin de saison sèche (Mai, Juin), apportent également dans le chenal une charge solide.

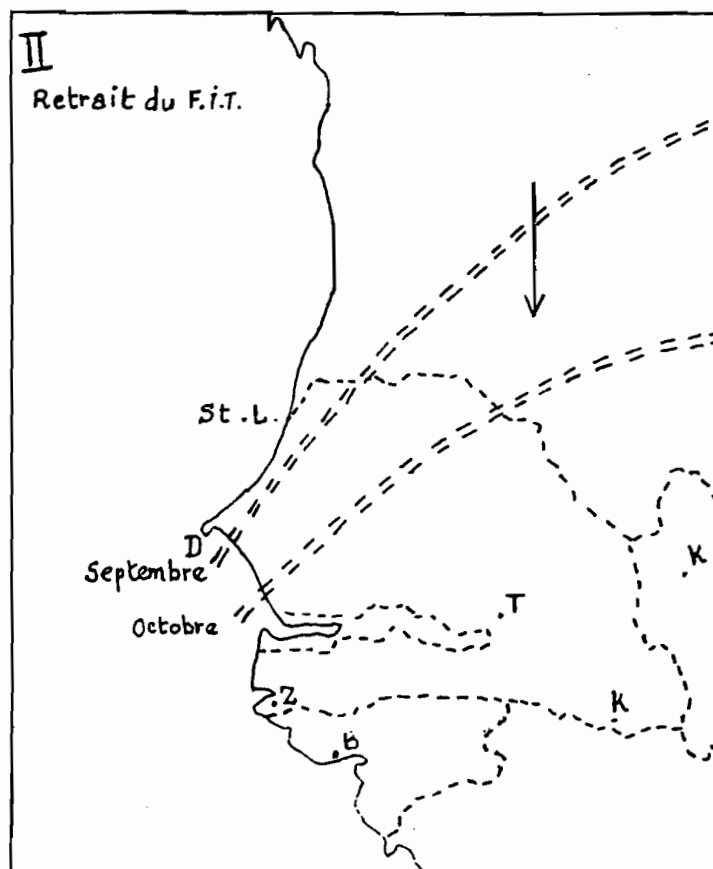
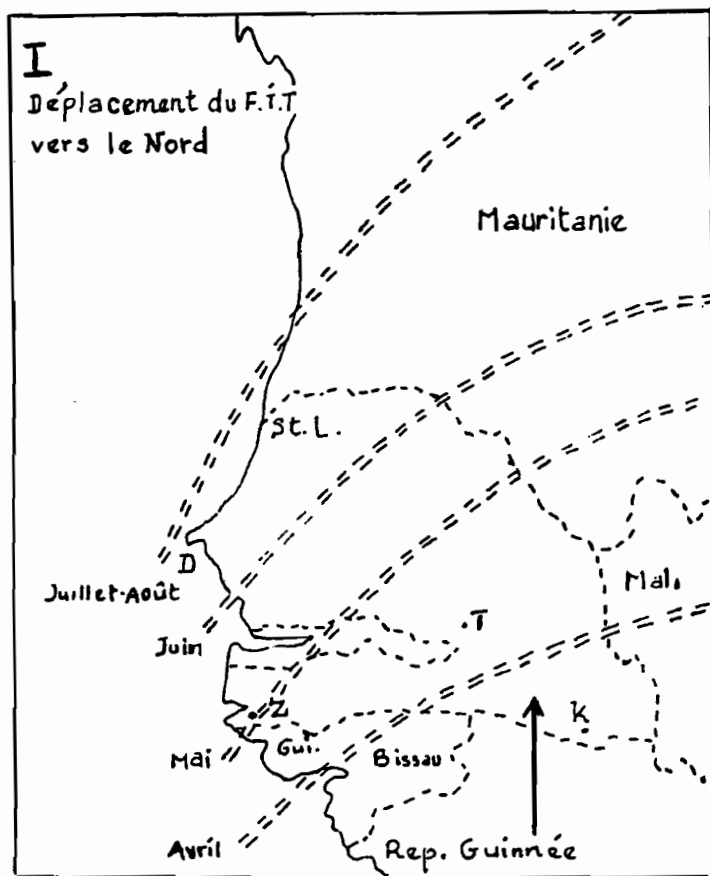
Pendant la saison des pluies, calquée sur le balancement annuel du F.I.T. (-Fig. 4), les vents de mousson de secteur Sud-Ouest règnent dans le delta du fleuve Sénégal. Les vitesses moyennes sont faibles à modérées et varient entre 2,9 m/s en Juillet et 2 m/s en Septembre. Leur fort taux d'humidité atténue l'évaporation.

Cependant, du fait que la saison des pluies ne dure en moyenne que trois mois, les vents en général ne peuvent avoir qu'une incidence défavorable sur le bassin.

1.1.3 - Les températures

Elles varient selon les mois et plus exactement selon les saisons. De Décembre à Mars, elles sont en-dessous de 25° à la

Fig.4 Balancement du F.I.T



J. LE BORGNE

station de Ndiol et de 28° à Richard-Toll. Ce qui montre également une variation liée à la continentalité.

Les maximum de température sont enregistrés au mois d'Octobre, correspondant à la fin de la saison des pluies avec respectivement 29°6 à Ndiol, et au mois de Juin à Richard-Toll avec 30°5 en fin de saison sèche.

L'évolution des températures maximales et minimales (fig. 5) offre la même allure que celle des températures moyennes.

Cependant on remarque une légère réduction des valeurs maximales au profit des températures minimales pendant la saison des pluies grâce au rafraîchissement lié aux pluies et à la couverture nuageuse qui diminuent l'insolation.

De cette situation découle une variation des amplitudes thermiques mensuelles à la station de Ndiol et consignées dans le tableau 3 : amplitudes thermiques mensuelle et annuelle.

ampli- tudes	Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
T _m - T _n		17,4	18,8	18,9	18,1	16,4	10,9	10,5	10,3	10,9	14,9	17,6	16,3	15,1

Elles passent de 14°9 en Octobre à 18°3 en Mars. Pendant l'hivernage, les écarts thermiques mensuels diminuent et varient aux alentours de 10°3.

1.1.4 - L'humidité relative

Elle est fortement influencée par la continentalité. De même que son évolution dans le temps est étroitement liée au régime des vents et à la pluviosité.

Les données sur trois ans relevées à Ndiol, Ross-Bethio et à Richard-Toll, montrent une diminution de l'humidité relative au fur et à mesure qu'on s'éloigne du littoral.

Fig. 5 Courbes des températures - station de Ndiol (1982-1983)

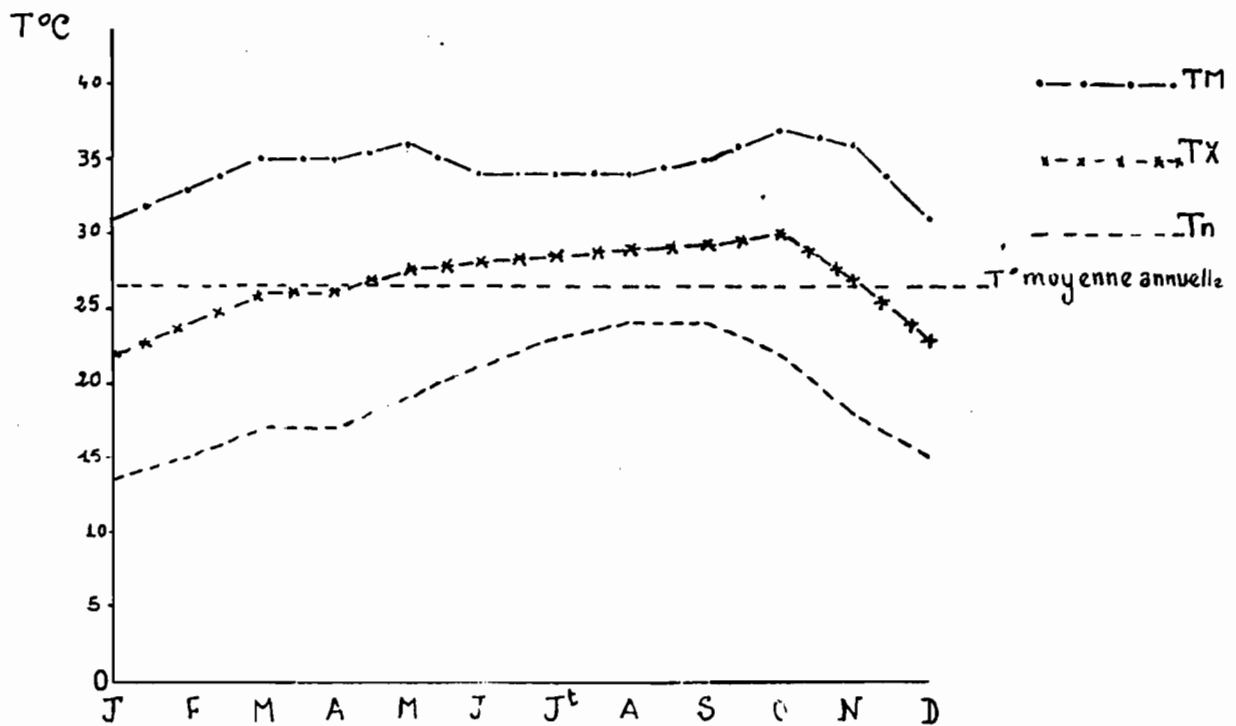
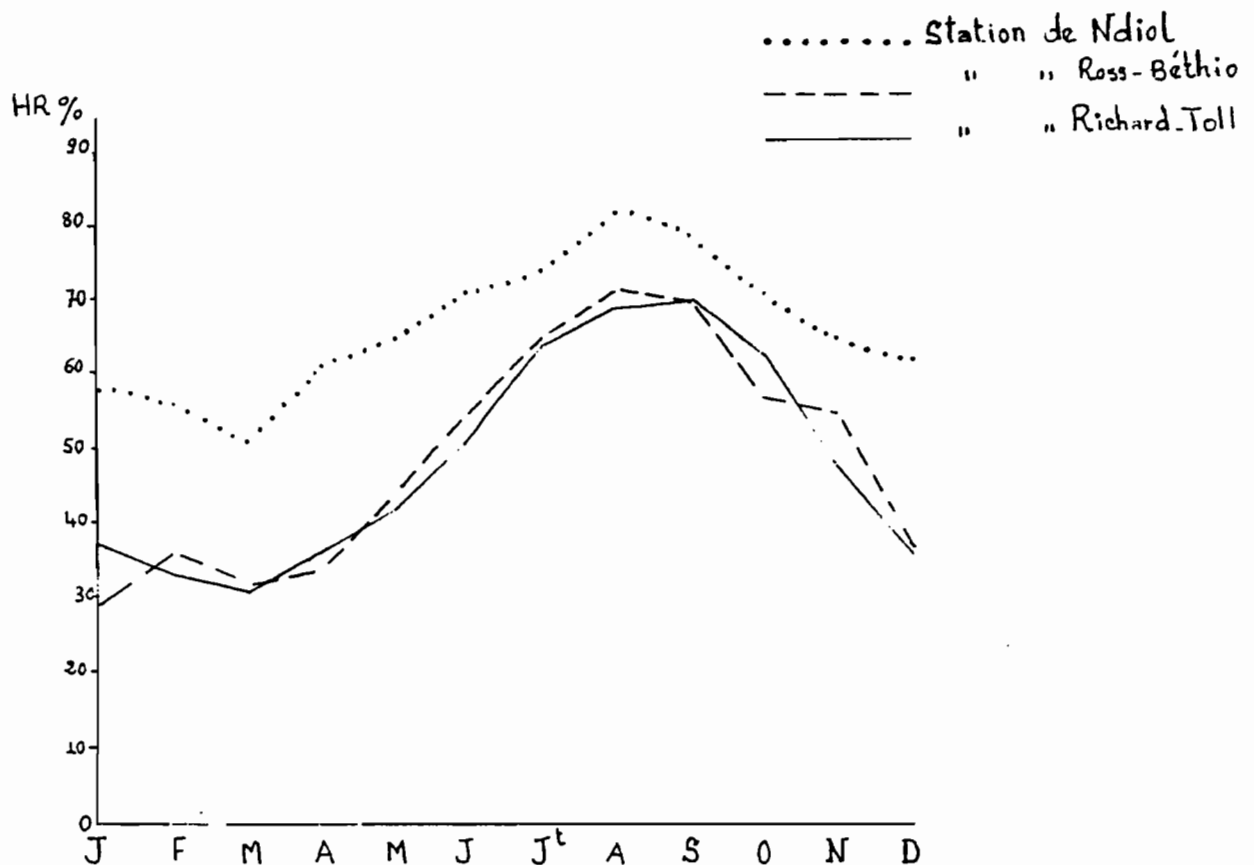


Fig. 6 . Humidité relative moyenne mensuelle (1985 - 1988)



La figure 6 montre que les valeurs les plus faibles sont enregistrées pendant la saison sèche avec respectivement 31 %, 32 % et 51 % à Richard-Toll, à Ross-Bethio et à Ndiol. Ce qui semble être lié à l'installation du courant alizéen. Avec l'arrivée du flux de Mousson, les valeurs augmentent pour atteindre leur maximum au mois d'Août pour Ndiol et Ross-Bethio, et au mois de Septembre pour Richard-Toll. Pendant cette période de l'année, l'humidité relative est partout dans le delta supérieure à 60 %.

Ces forts taux d'humidité relative ne manqueront pas de réduire l'évaporation dans la mesure où cet élément est aussi étroitement lié au déficit hygrométrique de l'air.

I.1.5. - L'évaporation

Comme pour l'humidité relative, l'évaporation suit une évolution annuelle marquée par une importante variation entre saison sèche et saison pluvieuse. Elle est faible pendant l'hivernage avec 180 mm au mois de Septembre à la station de Ndiol et augmente en saison sèche pour atteindre un maximum de 335 mm au mois de Mai.

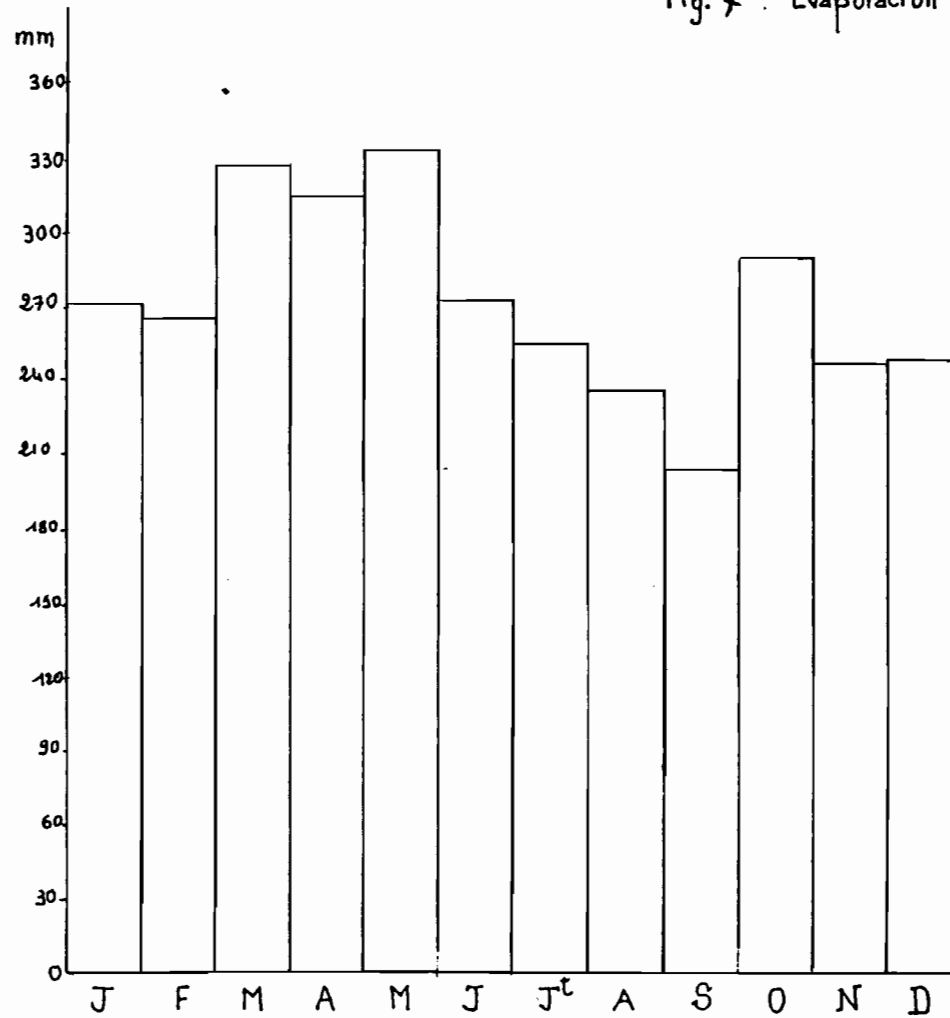
Au niveau de la réserve d'eau de Saint-Louis, au lieu dit Dakar-Bango, les mesures effectuées ont donné une valeur annuelle de 2.021 mm/an (M. SECK)⁽¹⁾. Soit environ 400 % de la pluviométrie annuelle à Saint-Louis. A Richard-Toll, les travaux antérieurs donnent le chiffre de 2.500 mm/an (soit 900 % de la pluviométrie).

Sur l'ensemble du chenal Gorom-Lampsar, la quantité prélevée annuellement est d'environ 10 millions de m³/an (M. SECK). La relative faiblesse de l'évaporation au niveau de Dakar-Bango pourrait s'expliquer par l'influence maritime que connaît la station. Laquelle adoucit les températures et renforce l'humidité de l'air.

(1). M. Seck, Chef du service régional de l'Hydraulique à Saint-Louis. Communication orale

Station de Ndiol ($16^{\circ}08'N$, $16^{\circ}18'W$)

Fig. 7 : Evaporation moyenne mensuelle - Bac (1981-1989)



La valeur annuelle de 2.021 mm à Dakar-Bango nous paraît élevée. Car pour pouvoir passer de l'évaporation sur bac à celle afférente à une nappe superficielle, on doit multiplier la valeur mesurée par le coefficient du bac. Selon G. REMENIERAS (1960), le coefficient d'un bac est le nombre par lequel il faut multiplier le taux d'évaporation mesuré sur le bac pour obtenir celui afférent à une surface d'eau étendue soumise aux mêmes conditions atmosphériques.

S'il s'agit du bac classe A de l'U.S. Weather Bureau, le coefficient est de 0,7 (variable de 0,6 à 0,8).

La figure 7, établie à partir des données sur l'évaporation bac de 1981 à 1989 à Ndiol, renseigne sur l'évolution annuelle de ce paramètre, et nous permet également de nous faire une idée sur l'impact que peut avoir cet élément du climat sur les réserves d'eau du bassin de l'axe Gorom-Lampsar.

Nous constatons à la fin de cette analyse que le climat dans le delta en général et dans le bassin que nous étudions en particulier, a globalement une incidence défavorable sur les eaux. Car il retire du bassin plus d'eau, par le biais de l'évaporation, que les pluies n'en apportent.

Aussi, par les vents, il apporte des sédiments dans le chenal. Ce qui peut entraîner des effets négatifs que nous analyserons ultérieurement.

II. - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET BIOGEOGRAPHIQUES

La géomorphologie du bassin comprend des parties basses ou cuvettes de décantation argileuse que dominent en altitude presque toutes les autres unités physiographiques.

Les dénivellations entre cuvettes et levées sont très faibles (1 à 2 m) et l'ensemble est très plat, inondable à l'état naturel. Les rares hauteurs jamais submergées par les eaux sont constituées par les dunes ogoliennes entre lesquelles s'insinue le Gorom-Lampsar en aval de Ross-Bethio (cf. carte hors texte).

Le bassin est marqué par une présence exclusive de séries sédimentaires meubles datant du quaternaire récent.

L'histoire géologique de ce bassin est complexe et, est inséparable de celle du delta du fleuve Sénégal dans laquelle elle est contenue. Les mouvements eustatiques et les changements climatiques qui ont été très déterminants dans l'évolution de ce delta, ont imprimé à la région toute entière une relative monotonie du relief comprenant essentiellement des dunes, des levées et des cuvettes.

Sable, limon, argile semblent être les faciès caractéristiques dans un milieu où règnent l'eau et secondairement le sel.

II.1. - LES CUVETTES

- Les cuvettes inondables ou cuvettes de décantation sont selon J. TRICART (1954), des dépressions en partie ou en totalité tributaires des chenaux du delta. Leur fond est au-dessous de la cote I.G.N. 0m. Cette inondation a pour principale conséquence de dessaler les horizons supérieurs de ces cuvettes et de diluer les eaux de la nappe sous-jacente qui sont saumâtres. Ce dessalement bien qu'incomplet a entraîné un changement d'espèces au niveau des groupements végétaux. Ce changement s'exprime par l'arrivée de la Typhaie et du recul du *Sporobolus spicatus*, du *Tamarix* et autres espèces halophiles.

Ces cuvettes de décantation sont bien individualisées dans la partie médiane du bassin (entre Ross-Bethio et Ndiol).

Depuis la construction de la digue périphérique sur la rive gauche du fleuve Sénégal en 1964, elles sont devenues moins sujettes aux inondations en période de crue. De même que la construction de la digue en 1976 sur la rive gauche du Lampsar, entre Boundoum-Barrage et Ross-Bethio, a isolé les cuvettes de Grande Digue et de Telel à l'Est du chenal.

Désormais, l'eau de crue est contrôlée par de petits ouvrages qui assurent le lien entre les cuvettes et le chenal, et sur lesquels nous reviendrons.

En raison de leurs importantes potentialités agronomiques, elles ont fait l'objet d'aménagements hydro-agricoles dans leur grande majorité (Boundoum, Grande Digue, Tilène, Pont Gendarme, Ndiaye, Ndiol etc.).

Là où elles ne sont pas isolées par une digue, elles peuvent conserver leur régime naturel et sont alors le siège d'une importante décantation argileuse pendant la crue, et tarissent à cause de l'évaporation et l'infiltration.

Leur fonction première était de collecter le trop plein d'eau dans le chenal en période de crue.

En s'asséchant, elles présentent des fentes de retrait pouvant atteindre 20 à 30 cm de profondeur, par suite du durcissement du matériel argileux. Ces fentes de retrait donnent un micro-modelé très particulier appelé Gilgai qui ne se referme qu'à la prochaine crue.

Cela dit, on peut appeler cette unité physiographique cuvette d'eau douce par opposition à la deuxième génération de cuvettes caractérisées par une importante salure.

- Les cuvettes salées ne font pas légion dans le bassin même si elles sont localisées au Nord-Est de Boundoum-Barrage et de Ross-Bethio (de part et d'autre de la route nationale n° 2). Elles collectent les eaux de pluie et surtout celles de la crue. Ce qui entraîne la dissolution des sels qu'elles contiennent.

Pendant la saison sèche elles tarissent par suite d'une forte évaporation entraînant la recristallisation du sel.

Cette présence du sel favorise et même provoque la floculation des argiles et des limons, devenant ainsi aptes à la déflation éolienne très forte en fin de saison sèche.

Contrairement au modelé des cuvettes d'eau douce en saison sèche, les cuvettes salées présentent une structure poudreuse en surface qui est la conséquence de la floculation des argiles et des limons.

Ces particules argileuses et limoneuses peuvent être mobilisées par le vent et se déposer dans le chenal. Ce qui peut participer à l'augmentation de la minéralisation.

L'importance de la déflation éolienne dans ces cuvettes salées est mise en évidence par la présence de petites dunes d'obstacle ou nebka sur leurs rebords.

Il peut arriver que les sédiments issus des cuvettes salées n'entrent pas directement dans le chenal parce qu'ils sont retenus par la végétation présente sur les berges. Mais le ruissellement pendant l'hivernage prochain les mobilisera pour les faire entrer dans le chenal.

II.2 - LES LEVEES

Elles sont de faible altitude dans le delta et comportent deux générations :

- les levées fluvio-deltaïques essentiellement localisés dans la partie amont du bassin ;
- les levées subactuelles sont plus basses et se sont mises en place à la suite du sapement latéral des premières.

Les levées subactuelles ou "petites levées" sont constituées comme les levées deltaïques de sables et de limons. Elles sont présentes et disposées en faisceaux sur les méandres concaves des chenaux, et ne sont presque jamais submergées par les eaux de crue depuis la construction des ouvrages de barrage.

Quoique de topographie basse , en général, elles isolent des cuvettes inondables.

Pendant l'hivernage, le ruissellement peut créer des ravines sur leurs flancs d'où vont s'échapper des matériaux alimentant le chenal toutes les fois où ces levées ne sont pas protégées par la végétation.

II.3 - LES DUNES

Elles se présentent sous la forme de longs alignements de directions plus ou moins constantes NE-SW (Toundou Besset, Ndiagambal). Localement ces dunes peuvent prendre une direction NNE-SSW par suite d'un léger remaniement (Makhana en aval du bassin).

Selon J. TRICART (1954), ces dunes ogoliennes présentent un aspect général en forme de tôle ondulée. Les sommets sont séparés par des couloirs interdunaires ou "gouds" variant en

largeur et en dénivellation.

Aux environs des villages de Makhana et de Lampsar, ces dunes peuvent atteindre exceptionnellement 10 à 15 m de hauteur (A.NDIAYE, 1978).

En général, ces dunes ont des pentes fortes, mais sont protégées contre le ruissellement par un tapis végétal fait d'arbustes et d'herbes.

Là où ce tapis végétal est très maigre ou inexistant, le ravinement peut être très important.

A Makhana où le chenal coule au pied de la dune, le flanc oriental de celle-ci est sapé par le marigot, et présente une corniche abrupte surplombant d'une manière très nette le talweg. Selon A. NDIAYE (1978), une telle situation a favorisé le recul de la dune par éboulements successifs. Ce qui sans nul doute, augmente la charge solide du chenal.

Le matériel dunaire essentiellement constitué de sable sera d'autant plus difficile à transporter par les eaux de l'axe que le courant est particulièrement faible en raison des nombreux ouvrages hydrauliques qui jalonnent le profil en long du Gorom-Lampsar.

A la longue, le matériel sableux issu de l'érosion des dunes et accumulé au fond du lit, va rendre le colmatage plus important, et par conséquent influencer les capacités de stockage du chenal. La présence de ces sédiments dans le lit très peu profond (1 à 2 m dans le bief amont), va favoriser l'installation et le développement de la végétation.

II.4. - LES SOLS

Le bassin de l'axe Gorom-Lampsar présente plusieurs types de sols qu'on peut rassembler en deux groupes :

- les sols hydromorphes : ils résultent de la submersion plus ou moins durable par les eaux douces de la crue du fleuve. Lorsqu'ils subissent une longue sécheresse (AUDIBERT, 1970), ces sols présentent de larges fentes de retrait visibles en surface et se prolongent parfois jusqu'à 0,80 m. Ces fentes de retrait vont recueillir les sédiments apportés par les vents, mais aussi augmenter la perméabilité de ces sols. Ce qui rend difficile la capitalisation des eaux de pluie déjà trop faibles dans le bassin au début de l'hivernage.

Ces sols sont caractéristiques des cuvettes de décantation en eaux douces. Leurs textures sont très homogènes, elles deviennent fines à très fines de la périphérie vers le centre (Y. LOYER et A. DIALLO, 1979).

- les sols salés ou halomorphes sont très peu étendus dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar.

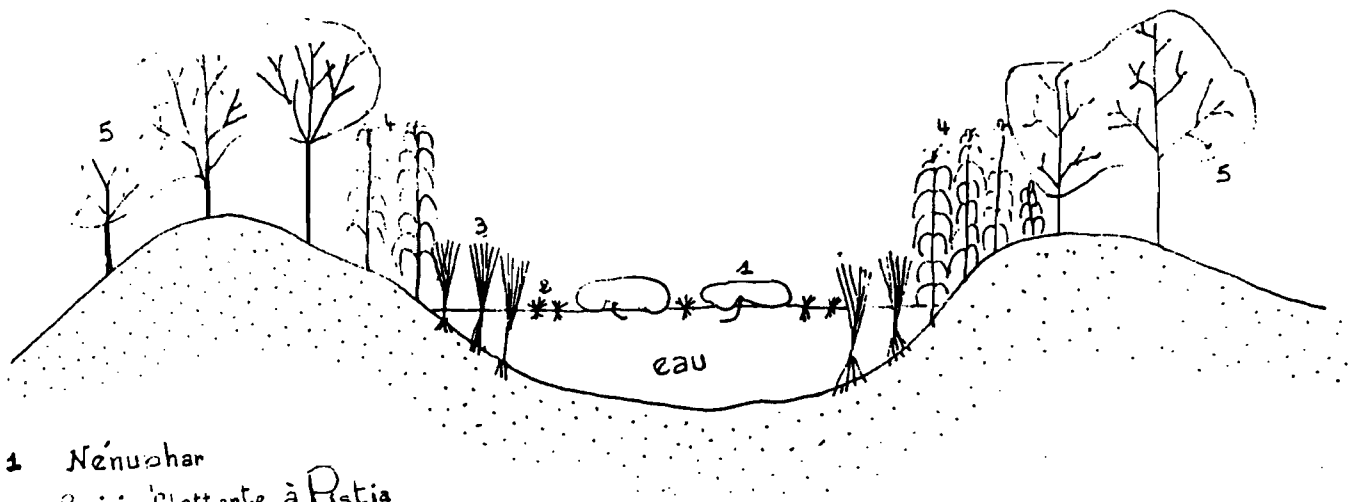
On les rencontre cependant dans la partie amont du bassin (dans certaines cuvettes au Nord-Est de Ross-Bethio, de part et d'autre de la route nationale n° 2).

Ils sont caractérisés par leur structure moiteuse et par un tapis végétal maigre à nu. Ils font l'objet d'une forte déflation éolienne rendue plus intense par la floculation des argiles et limons, facilitée par la présence du sel.

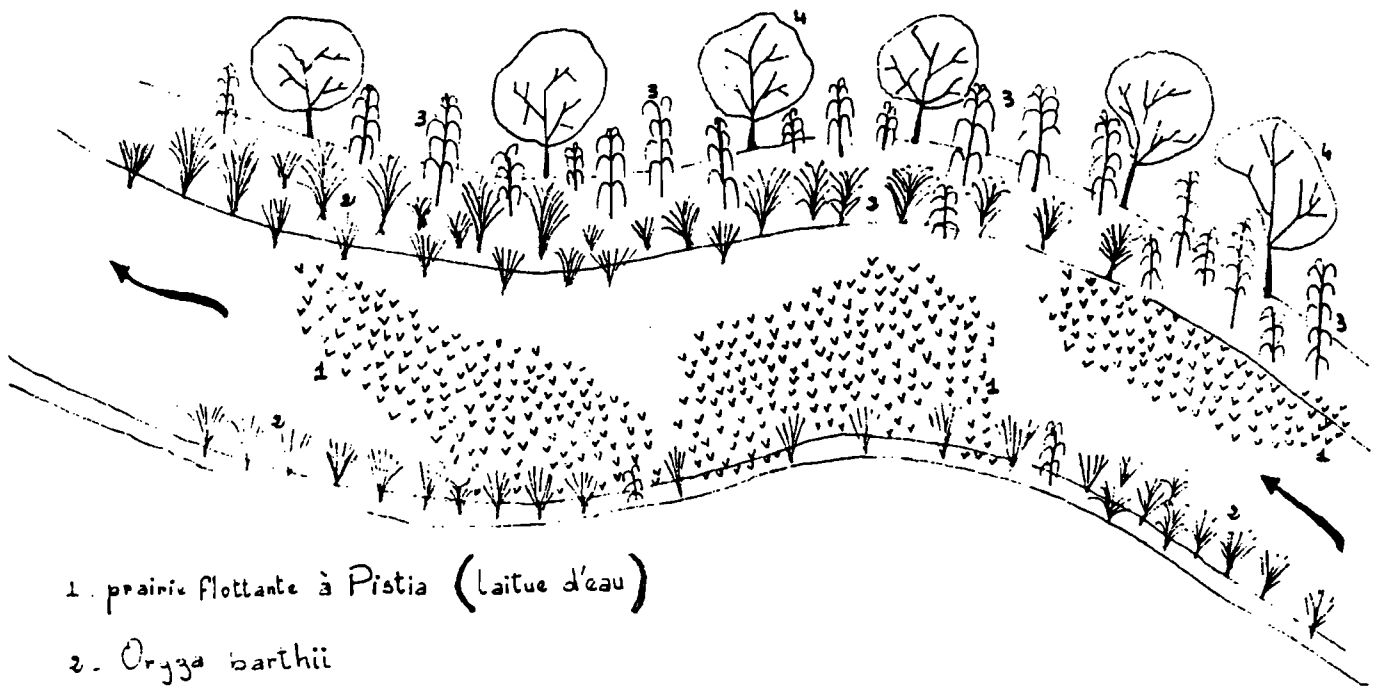
Aussi, ils sont plus perméables que les sols hydromorphes en raison de leur structure particulière.

Pendant la crue, le sel contenu dans ces sols est dissous au niveau des couches superficielles. Et pendant la saison sèche,

Figs. Profil transversal de la végétation du Gorom-ament à l'Est de Boundoum-Barrage



- 1 Nénuphar
- 2 Prairie flottante à Pistia
- 3 Oryza barthii
- 4 Typhaie
- 5 Parkinsonia



1. prairie flottante à Pistia (laitue d'eau)
2. Oryza barthii
3. Typhaie
4. Parkinsonia

Figs bis Profil longitudinal de la végétation du Lampsar à Ross-Béthio

l'évaporation entraîne la recristallisation des sels ; le matériel éolien en provenance de ces sols peut, en entrant dans le chenal, influencer la qualité des eaux du Gorom-Lampsar. De même les eaux qui circulent librement à la surface de ces sols peuvent traduire le mouvement d'une certaine quantité de matières en suspension ou en solution (organiques ou minérales) vers le chenal.

L'étude des sols est très utile en ce sens que leur nature peut augurer de l'importance ou de la faiblesse de la turbidité des eaux d'un chenal. De la même manière, ils peuvent augmenter la minéralisation des eaux par suite de leur érosion-accumulation par le vent ou par la pluie dans le chenal.

Dans le secteur que nous étudions, en raison de leur nature, les sols sont très peu favorables à la capitalisation des ressources en eau. Car au phénomène de l'infiltration s'ajoute une évaporation très importante sous les latitudes sahéliennes.

Une étude faite par la S.E.D.A.G.R.I. (1969 - 1970), a montré que ces sols à l'horizon superficiel friable, caractéristiques des cuvettes salées peu déprimées, sont rencontrées également dans certaines levées fluvio-deltaïques. Ils portent une végétation à faible taux de recouvrement.

Cela dit, c'est l'importance ou la faiblesse du sel qui permet de sérier les sols. Et cette plus ou moins importante salure peut avoir une influence sur la distribution des espèces végétales.

II.5 - LA VEGETATION

De nombreuses études sur le delta du Sénégal ont attesté le caractère azonal de la végétation sur la partie située entre

Saint-Louis et Richard-Toll. En outre elles ont établi qu'il existe une corrélation entre les espèces végétales, les sols et de degré d'immersion. Selon A. DIA (1986), la répartition de la végétation en groupements homogènes obéit à des considérations d'ordre topographique et hydrique.

Dans le cadre de notre étude, nous nous bornerons à étudier la végétation présente dans le lit du Gorom-Lampsar, mais aussi dans les canaux d'irrigation afin de voir comment elle peut influencer les processus hydriques et surtout la qualité de l'eau.

En effet, nous avons pu remarquer que la végétation présente dans le chenal suit une distribution en rapport avec le degré d'immersion, l'abondance ou la faiblesse des sédiments dans le chenal.

Elle est de type azonal et hygrophile, composée de :

- prairie flottante à *Pistia stratioidée*. Elle développe ses rosettes de feuilles épaisses et poilues essentiellement en amont des barrages, là où s'accumulent des sédiments par suite de la diminution du courant d'eau. Sa présence est très marquée sur le chenal au niveau de Ross-Bethio.

Selon A. NDIAYE (1978), cette prairie flottante vulgairement appelé "laitue d'eau" se retrouve également le long des berges sur une largeur de 2 à 4 m en raison de la faible inertie caractéristique de cette zone.

- la prairie aquatique à *Oryza barthii*. Elle est bien représentée dans le bassin. Son extension touche aussi bien les berges, les cuvettes, les levées que les canaux d'irrigation. C'est un groupement monospécifique, mais peut-être associé à des Cyperacées.

- le groupement à Typhaie ; c'est une espèce très peu répandue en raison de son exigence en eau.

- les îles flottantes constituent une végétation de type particulier. Leur originalité vient du fait qu'elles se sont détachées des berges au moment de la cure et s'étalent en plaquettes sur les eaux. Leur présence est plus marquée dans les biefs amont et médian. La fig. 8 présente d'une manière schématique la répartition de la végétation dans le chenal.

Au total, la végétation présente dans le chenal et dans les canaux d'irrigation et de drainage est importante, et constitue avec la Typhaie une véritable jungle aquatique pouvant atteindre 4 m de hauteur.

Cette végétation nous intéresse à plus d'un titre. Car par son "effet de peigne", elle retient les matériaux solides contenus dans les eaux, ce qui favorise la sédimentation.

Aussi, du point de vue production de biomasse, elle peut augmenter la charge solide mais surtout participer à l'élaboration d'un humus dès l'instant que la baisse du niveau de l'eau entraîne sa destruction en grande partie. De même le rapport production-consommation d'oxygène par cette végétation peut déboucher sur des phénomènes d'eutrophication ou à un moindre degré d'eutrophisation. Nous reviendrons sur ces deux phénomènes en parlant de la qualité de l'eau.

Toujours à un premier niveau d'analyse, nous pouvons remarquer que les prairies aquatiques, les îles flottantes et les prairies flottantes peuvent empêcher la pénétration dans les eaux des rayons solaires.

CONCLUSION

Au terme de cette analyse sur les aspects géomorphologiques les sols et la végétation, le constat qui s'impose est que, ce sont des facteurs qui seront déterminants dans l'évolution de la quantité et de la qualité des eaux.

Par les sédiments qu'il libèrent, la capacité du chenal s'en trouvera réduite à la longue. De même, ces sédiments peuvent intervenir dans la minéralisation des eaux. Quand elle meurt et pourrit, cette végétation produit une litière abondante qui en se décomposant donne un humus qui peut, en rapport avec les températures élevées, favoriser des boucles de rétroaction négative sur la qualité des eaux.

Du point de vue production-consommation d'oxygène, la végétation qui est somme toute abondante, peut présider à des phénomènes de sous-saturation en oxygène dissous. Enfin, la présence de cette végétation peut constituer de véritables bouchons, et renforcer ainsi l'étranglement de l'axe.

DEUXIEME PARTIE : LES CONDITIONS HYDRIQUES ET LA MAITRISE DE L'EAU

L'axe Gorom-Lampsar est né de la rupture de la levée au niveau du seuil de Ronq (à environ 110 km de l'embouchure du fleuve Sénégal). Il est intimement lié à ce fleuve d'où proviennent presque toutes ses eaux.

Pour pallier les contraintes pouvant découler d'une telle situation, des ouvrages actifs tels que les barrages et les digues ont été mis en place afin de protéger le bassin des inondations en période de crue et de la remontée du sel pendant la décrue.

Cette artificialisation du cours d'eau a provoqué la modification de son régime et, est à l'origine de beaucoup d'autres problèmes liés à la gestion et au fonctionnement de l'axe.

I - HYDROGRAPHIE (Fig. 9)

Comme son nom l'indique, l'axe Gorom-Lampsar est la conséquence de la solution de continuité créée par la construction d'un barrage près du village de Boundoum et reliant le Gorom-amont au marigot de Lampsar.

En effet, le Gorom prend son origine sur le fleuve Sénégal à l'emplacement actuel de l'ouvrage de Ronq, à une direction Nord-Est - Sud-Ouest entre les cuvettes de Boundoum Nord à l'Ouest et celles de Djeuleuss-Diambar à l'Est. A l'aval de la cuvette de Diambar, il s'incurve vers l'Ouest pour rejoindre le fleuve Sénégal en amont de l'île de Tieng après un parcours d'environ 60 km. Au point où le Gorom s'incurve vers l'Ouest (à Boundoum-Barrage), il alimente sur sa rive gauche le marigot du Lampsar.

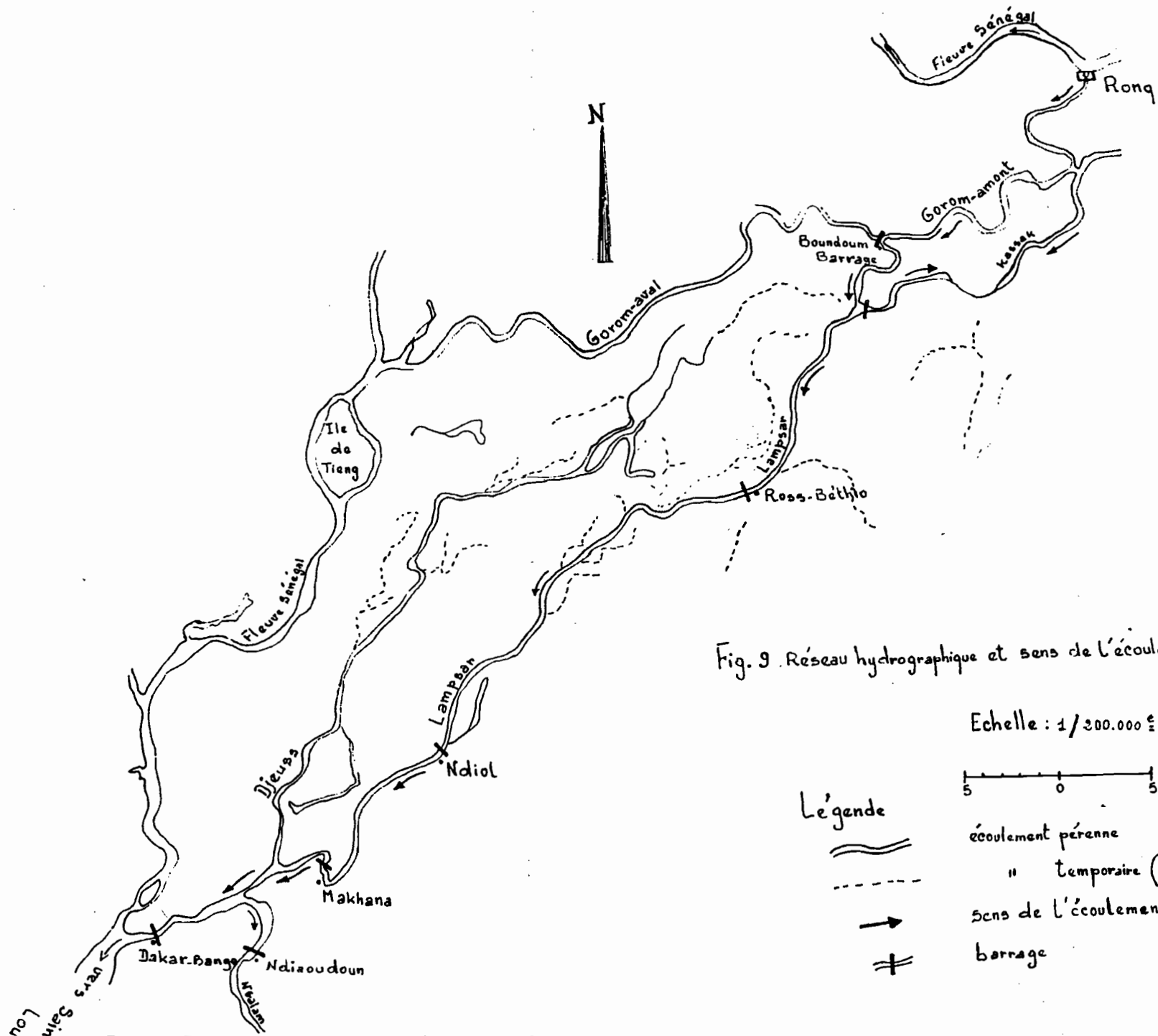


Fig. 9. Réseau hydrographique et sens de l'écoulement des eaux de l'axe Gorom-Lampoul.

Echelle : 1/200.000

5 0 5 km

Légende

écoulement pérenne

écoulement temporaire (réseau fossile)

sens de l'écoulement

barrage

Le Lampsar lui, prend une direction Nord-Sud jusqu'à Ross-Bethio avant de s'infléchir vers le Sud-Ouest, direction qu'il conservera jusqu'à sa confluence avec le Djeuss un peu en aval du village de Makhana.

Entre Ross-Bethio et Makhana, le Lampsar a un cheminement sinueux entre les dunes ogoliennes de Diagambal à l'Est, de Toundou Besset à l'Ouest.

Dans cette petite plaine plate et assimilable au lit majeur du marigot, le Lampsar y décrit, à la faveur d'une pente faible, des méandres engainés par de petites levées alluviales isolant des cuvettes plus ou moins grandes à Tilène, Pont Gendarme, Polo, Mbodiène, Ngomène, Ndiaye, Savoigne, Ndiol, Ndialam, Bifflèche et à Lampsar.

Le Kassak, long d'une trentaine de km, a son origine sur le Gorom-amont. Il coule parallèlement à ce dernier et se jette dans le Lampsar au Sud de Boundoum-Barrage.

Depuis la construction du drain de Ndiaél, qui collecte les eaux de drainage des cuvettes situées sur la rive gauche du Gorom-amont et qui a divisé le Kassak en deux bassins indépendants, c'est le Lampsar qui assure le remplissage du Kassak-aval (fig. 9). Au total, l'axe Gorom-Lampsar (de Ronq à Dakar-Bango), couvre une distance de 93 km si on ne tient pas compte de ses affluents.

Le réseau fossile du bassin de l'axe Gorom-Lampsar est actuellement exploité pour l'irrigation ou pour le drainage des cuvettes aménagées.

II - ALIMENTATION ET FONCTIONNEMENT DE L'AXE

Le bassin de l'axe Gorom-Lampsar est handicapé par sa situation géographique caractérisée en partie par des précipitations faibles et une évaporation forte. Ce qui augmente la dépendance de l'axe vis-à-vis du fleuve Sénégal pour son alimentation.

A l'état naturel son régime est calqué sur celui du fleuve Sénégal. D'où des contraintes naturelles auxquelles s'ajoutent, pour le fonctionnement de l'axe, d'autres à caractère artificiel par suite de l'intervention de l'homme pour l'aménagement et la gestion de l'eau.

II 1 - LES CONTRAINTES NATURELLES

Le chenal reçoit presque exclusivement son alimentation du fleuve Sénégal. En ce sens que les faibles pluies qui tombent dans le bassin ne peuvent être considérées à l'état actuel des choses que comme un faible complément hydrique ne pouvant même pas compenser un fort taux d'évaporation. Tout au plus, ces pluies assurent la régénération d'une végétation annuelle, renforçant l'infiltration. Là où la végétation est faible ou inexistante, le ruissellement issu de ces pluies peut être facteur d'érosion (sur les levées sub-actuelles) et entraîner une masse importante de sédiments dans le chenal.

Donc toute proportion gardée, l'eau contenue dans le chenal provient de la crue du fleuve d'une part et de la station de pompage de Ronq d'autre part.

Pour toutes ces raisons, il nous a semblé important de savoir comment évoluent les eaux du fleuve Sénégal, qui, a un régime tropical alternant à l'échelle d'une année une période de hautes eaux du mois de Juin au mois de Novembre, et d'une période de basses de Décembre à Mai.

Les études faites par l'O.R.S.T.O.M. ont montré qu'à Dagana, à la tête du delta les dates de maximum de crue observées sont les suivantes.

Dates extrêmes	Intervalle minimal englobant 67 % des hauteurs maximales	Intervalle minimal englobant 33 % des hauteurs maximales
16 Sept-30 Nov.	30 Sept. - 30 Oct.	16 Oct. - 23 Oct.

Source ORSTOM, Monographie du fleuve Sénégal

Ce tableau nous permet de conclure qu'il y a un décalage dans le temps entre le maximum de crue à Bakel et celui enregistré à Dagana. Cela est dû au fait que le fleuve Sénégal traverse une zone de dégradation hydrologique entre ces deux stations. En plus il ne reçoit aucun apport nouveau dans cette zone.

J. TRICART (1954) a montré que la submersion dans le delta s'effectue de façon progressive. Les eaux s'infiltrant dans les brèches des levées. Après avoir débordé les seuils, elles remontent les marigots de vidange de certaines cuvettes.

A l'état actuel des choses, suite à l'endiguement de la rive gauche du fleuve Sénégal depuis 1964, la submersion devient contrôlable sur une grande partie du delta. Toutefois la crue demeure déterminante parce que permettant le remplissage gravitaire et par pompage du chenal Gorom-Lampsar et les cuvettes qui s'y rattachent.

Le remplissage gravitaire de l'axe se fait au mieux dès que l'onde de crue est supérieure ou égale à la côte IGN + 1,70 m au niveau de Ronq.

Cette possibilité offerte par la crue est très limitée dans le temps. Pendant la décrue, l'abaissement progressif des débits du fleuve autorise la remontée du biseau salé dans le bras principal.

Selon A. KANE (1985), la dernière décade écoulée présente une tendance particulière et se singularise par une réduction considérable des écoulements à Dagana.

De 1968 à 1984, les modules du Sénégal à Bakel et à Dagana donnent respectivement les moyennes de 453 m³/s et 408 m³/s. La moyenne sur 81 ans étant de 715 m³/s à Bakel et 641 m³/s à Dagana.

Cette réduction des écoulements durant cette période de sécheresse dans le Sahel a rendu de plus en plus préoccupant la remontée du biseau salé.

Suite à la crue déficitaire de 1983-1984 (226 m³/s) à Dagana, un barrage anti-sel a été construit à Kheune à 118 km de l'embouchure pour arrêter la remontée du biseau salé, et permettre ainsi l'alimentation en eau douce des réservoirs Gorom-Lampsar et le Lac de Guiers. Ce barrage a été reconstruit en Novembre 1984. (Kheune II). Cependant, depuis 1986 date de la mise en eau de la retenue de Diama, cette remontée périodique du biseau salé n'est plus qu'un mauvais souvenir.

II.2 - LES CONTRAINTES ARTIFICIELLES

Les ouvrages actifs dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar que sont les barrages et les digues ont remplacé le phénomène hydrologique par un phénomène hydraulique.

Le fonctionnement hydraulique de l'axe se fait en trois étapes : le lessivage, le remplissage et le stockage.

Au mois de Juillet, en prélude à l'arrivée imminente de la crue, tous les barrages présents sur l'axe (fig. 9) sont ouverts. Alors le chenal se comporte comme un canal d'évacuation d'eau usée et véhicule un certain débit depuis l'amont (Ronq) jusqu'à l'aval (Dakar-Bango).

Le courant d'eau ainsi créé est renforcé par l'arrivée dans le chenal des eaux de crue. Ce qui permet de procéder à la phase de lessivage à l'issue de laquelle beaucoup de sédiments dans le chenal sont évacués en même temps que les eaux qui y ont fait un très long séjour (environ 7 à 8 mois). Après cette phase, on ferme les barrages de Dakar-Bango, de Ndiaoudoun et de Boundoum pour permettre ainsi le remplissage et le stockage de l'eau dans l'axe.

Toutefois, nous avons assisté cette année à d'énormes difficultés afférentes au fonctionnement de l'axe. Ainsi, jusqu'au mois de Septembre 1990, le lessivage n'a pu se faire en raison d'un étranglement croissant du bief-amont lié à de faibles débits d'entrée et à une importante présence de la végétation dans le chenal (entre Ross-Bethio et Ronq).

Cette situation sans précédent qui trouve son origine dans la dégradation hydraulique de l'axe depuis le début des années 80, est rendue plus préoccupante par l'irrégularité de la crue. Pour pallier les désagréments nés de cette situation, on a procédé à l'ouverture du barrage de Makhana afin de permettre aux eaux de la réserve de Saint-Louis de remonter le bas Lampsar. Car jusqu'à la date du 10 Septembre 1990, les eaux en provenance du fleuve Sénégal n'avaient pas encore atteint Ross-Bethio.

Le mode de fonctionnement de l'axe fait que l'eau évolue en circuit fermé presque toute l'année.

Il résulte de cette situation un affaiblissement du courant rendant favorable la décantation des sédiments contenus dans les eaux. Lesquels sédiments ne pourront être curés partiellement que pendant la prochaine phase de lessivage.

Cela dit, ces ouvrages actifs constituent également des contraintes artificielles parce que favorisant les facteurs de la sédimentation et donc du colmatage.

Vu l'importance de ces ouvrages dans l'alimentation et le fonctionnement de l'axe, il nous a semblé utile de procéder à leur description.

11.3 - LES OUVRAGES

De l'amont à l'aval notre domaine d'étude est parsemé d'ouvrages construits en travers du climat ou parallèlement. Ils contrôlent et influencent grandement l'écoulement des eaux. De même qu'il empêchent à l'eau saumâtre d'accéder dans le bassin. Ce qui a rendu ^{possible} l'introduction de la culture de contre-saison dans une bonne partie du delta.

Cependant l'action conjuguée de ces ouvrages crée une série de problèmes allant de l'accélération de la sédimentation à l'envahissement du chenal par la végétation.

- L'ouvrage de Ronq : c'est l'ouvrage de prise le plus important réalisé sur la digue périphérique longue de 82 km. La digue périphérique, construite sur la rive gauche du fleuve Sénégal depuis 1964, permet de prémunir les terres basses du delta contre toutes relations hydrauliques non souhaitées entre le fleuve et le réseau hydrographique interne dont l'axe Gorom-Lampsar. C'est ainsi que, bien avant la construction et mieux la mise en eau de la retenue de Diama en 1986, cette digue protégeait une grande partie du delta contre la remontée du biseau salé en période de décrue.

L'ouvrage de Ronq à proprement parler règle l'admission de l'eau dans le chenal. Il est constitué de huit pertuis de 2,5 m de longueur sur 3,2 m de hauteur. Le radier est calé à la cote -1,30 m IGN, offrant des conditions maximum de sécurité.

A la côte +1,90 m IGN de l'onde de crue, l'ouvrage présente une section totale de 60 m².

Les huit pertuis sont munis de vannes aisément manoeuvrables par cric et manivelle :

- Le barrage de Boundoum : il est en réalité une digue qui isole le Gorom-amont du Gorom-aval et crée une solution de continuité entre le Gorom-amont et le Lampsar.

- Le pont de Boundoum-barrage : il franchit le Lampsar à son extrémité amont. Il a cinq passes et un radier calé à la cote -0,70 m IGN. Son utilité est d'assurer la liaison routière entre les deux rives du Lampsar. Cependant, il offre le fâcheux inconvénient de participer à l'étranglement de l'axe.

- Le barrage de Demba Diawar : son rôle est de contrôler l'entrée des eaux du Lampsar dans le Kassak aval. Car avec la construction du drain de Ndiaél devant vidanger les cuvettes aménagées de Kassak Nord, le remplissage de ce chenal ne peut plus se faire à partir du Gorom-amont. Car le drain a divisé la rivière en deux sections (Kassak aval et Kassak amont).

- La digue entre Boundoum-barrage et Ross-Bethio : elle est située sur la rive gauche du Lampsar et assure la liaison routière entre les deux localités après avoir isolé les cuvettes du Kassak, de Grande Digue et de Télél à l'Est.

- Les barrages de Ross-Bethio et de Ndiol : ils assurent tous une liaison routière entre les deux rives du Lampsar. De même qu'ils permettent de diviser l'axe Gorom-Lampsar en trois

biefs plus ou moins indépendants que sont :

- * le bief amont qui va de Ronq à Ross-Behtio ;
- * le bief médian entre Ross-Bethio et Ndiol ;
- * le bief aval allant de Ndiol à Dakar-Bango.

- Le barrage de Makhana : situé en amont de la confluence du Lampsar et du Djeuss. Cet ouvrage de six passes batardées de 2 m X 2,50 m assurait un plan d'eau suffisant pour l'ancienne station de pompage de la ville de Saint-Louis.

- Le pont-barrage de Ndiaoudoun : c'est un ouvrage vanné qui empêche aux eaux très salées du Ngalam d'entrer dans le chenal. Aussi, avec les barrages de Makhana, de Keur Samba Sow sur le Djeuss et de Dakar-Bango, ils délimitent actuellement la réserve d'eau douce de Saint-Louis.

- Le barrage de Dakar-Bango : il est installé sur la digue de fermeture Sud de l'axe Gorom-Lampsar. A ce niveau le fond du tronçon issu de la confluence du Lampsar et du Djeuss est à la côte -2 m IGN.

Cet ouvrage peut retenir jusqu'à une cote maximale de +1,80 m IGN. La crête du barrage étant à +2,37 m IGN. Tout ceci fait que l'alimentation en eau de Saint-Louis, estimée à 9.000 m³/jour, peut se faire sans grandes difficultés toutes les fois où le remplissage de l'axe est correctement assuré.

En plus de tous ces ouvrages que nous venons de répertorier, des stations de pompage sont installées de part et d'autre de l'axe pour assurer les besoins en eau de cuvettes aménagées.

III. - EVOLUTION QUANTITATIVE DE LA RESERVE D'EAU GOROM-LAMPSAR

Elle peut être appréciée sur la base des hauteurs d'eau lues aux différentes échelles limnimétriques installées sur l'axe et gérées par la S.A.E.D.

Pour cela nous avons utilisé l'échelle de Grande digue sur le bief amont et celle de Ndiol sur le bief aval, entre 1985 et 1988.

A un premier niveau d'analyse on se rend compte que les hauteurs d'eau varient d'une année à l'autre, mais aussi d'un bief à un autre.

Si en 1985-1986, la hauteur d'eau a atteint et même dépassé la cote +1 m IGN à Grande Digue (fig. 10), il n'en a pas été de même pour la station de Ndiol (fig. 11), qui pour cette même année a enregistré une hauteur maximale inférieure à la cote +1 m IGN.

Toutefois les variations intra-annuelles des hauteurs d'eau lues aux échelles limnimétriques semblent plus intéressantes. En ce sens qu'elles montrent comment évoluent les volumes d'eau stockés dans l'axe.

De 1986 à 1988, une tendance à la baisse caractérise la réserve de Juin à Août. Et à partir de Septembre, la réserve voit ses volumes augmenter pour atteindre un maximum en Septembre-Octobre, correspondant aux hauteurs maximales de crue dans le delta. D'octobre à Décembre les hauteurs d'eau connaissent une légère baisse qui semble s'expliquer par les prélèvements pour l'irrigation. Pendant la contre-saison chaude (Février à Juin), la réserve connaît des fluctuations en rapport avec les multiples prélèvements (irrigation, évaporation, infiltration). Les prélèvements pour les besoins domestiques ne représentant que 1 % des réserves. L'importante

Fig. 10. Hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique

Station de pompage de Grande-Digue

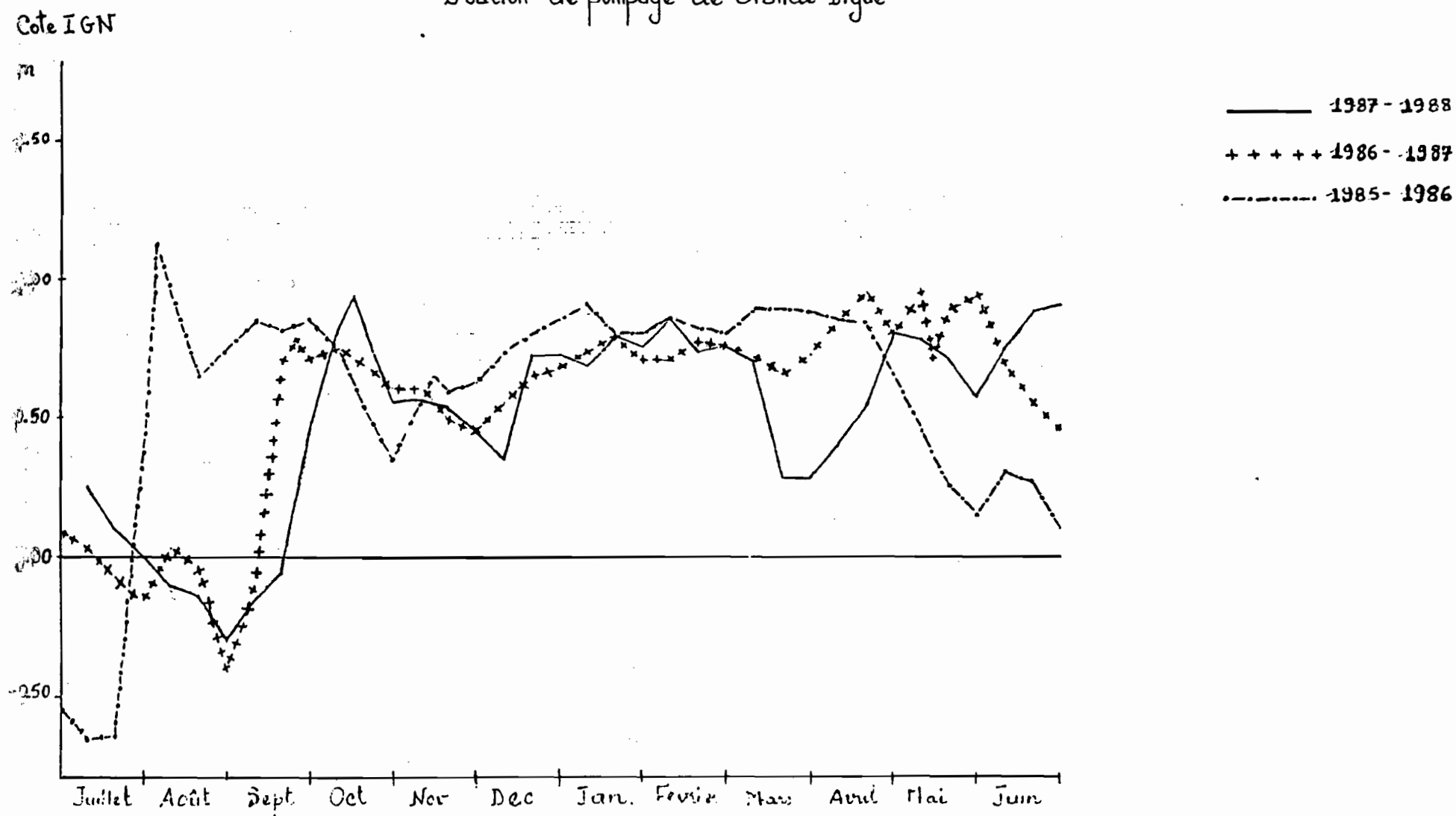
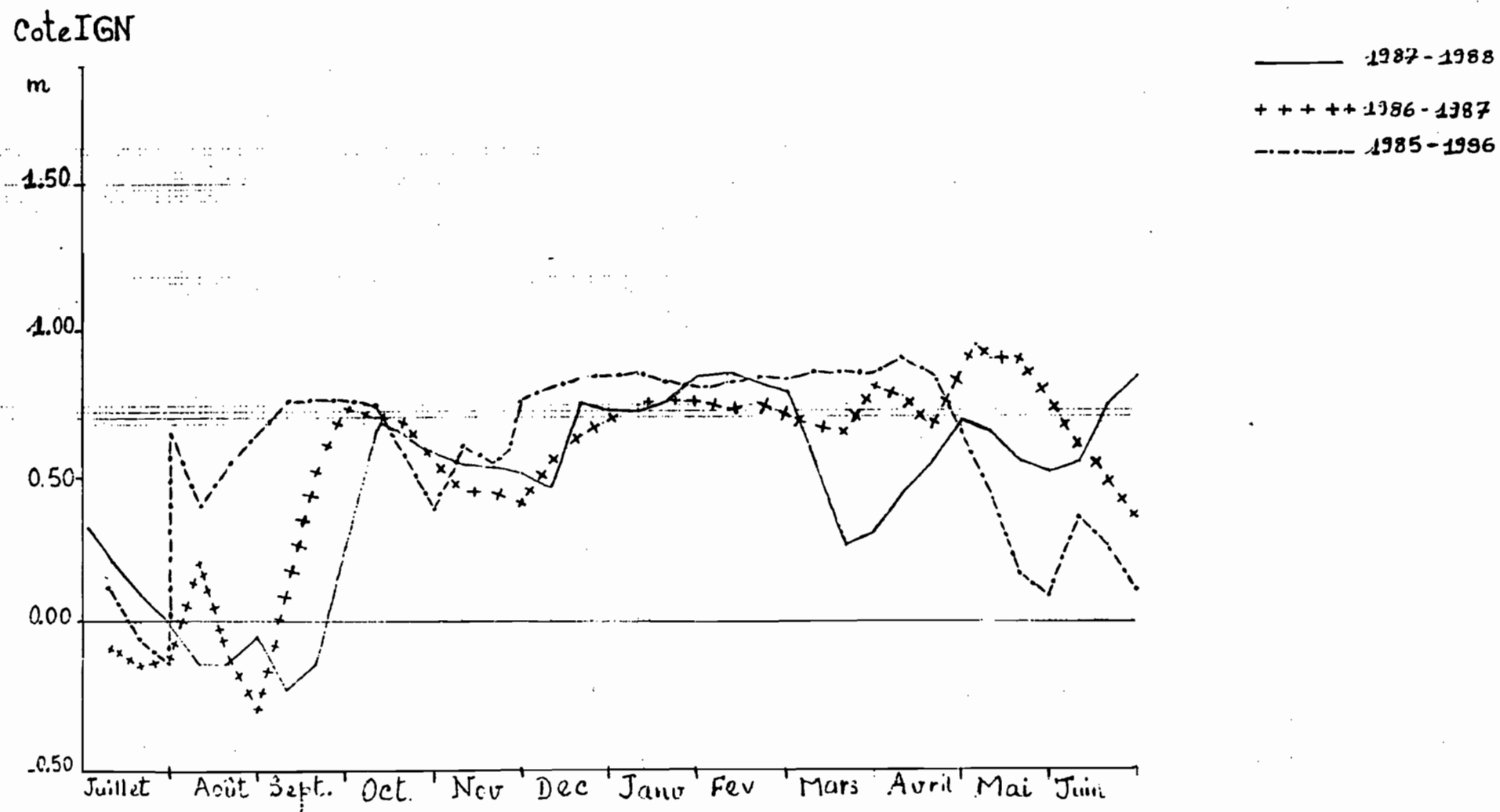


Fig. 11 Hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique de la station de Ndiol



baisse enregistrée durant les mois de Juillet et d'Août trouve son explication du fait que cette période correspond au démarrage de l'irrigation en saison d'hivernage. Du 1er Juillet au 15 Août, les stations de pompage qui alimentent les cuvettes aménagées fonctionnent 24H/24. Et c'est seulement dans la deuxième quinzaine d'Août qu'on assiste à une réduction du temps de pompage qui se stabilise à 12H/24H jusqu'au 15 Novembre. (cf. document 1 en annexe).

Cette importante ponction dans le chenal au moment où les entrées d'eau à partir de Ronq sont insuffisantes, entraîne une baisse des hauteurs d'eau en deça de la cote 0 m IGN. C'est la seule période de l'année où les hauteurs d'eau descendent en un si bas niveau. Ce qui peut être à l'origine de plusieurs problèmes sur lesquels nous reviendrons dans la dernière partie.

L'analyse portant sur les conditions hydriques et la maîtrise de l'eau a mis en évidence les nombreux problèmes qui s'opposent à une utilisation optimale de l'axe. La dépendance du chenal vis à vis du fleuve Sénégal pour son alimentation pose le problème des ressources en eau qui sont tributaires des variations interannuelles de la crue. De même le mode de fonctionnement sur la base de plusieurs ouvrages actifs rend complexe la dynamique du chenal en favorisant le colmatage d'autant plus accentué que l'axe coule en circuit fermé pendant une bonne partie de l'année. Aux pertes d'eau par évaporation estimées à 10 millions de m³ par an⁽¹⁾,

... sont venues s'ajouter d'importantes ponctions pour l'irrigation et subsidiairement pour les besoins domestiques. Ce qui pose un problème d'ajustement entre l'offre et la demande quand on sait que la station de pompage de Ronq a un débit de 9 m³/s et que les seuls besoins pour l'irrigation sont estimés à 26 m³/s.

(1) Cette valeur est le résultat d'une étude S.A.E.D./B.C.E.D.M. en 1969

- MESURES DE COURANT

Les mesures ont été effectuées d'amont en aval en Septembre 1990, et consignées dans le tableau ci-dessous, et,

Tableau.5. Vitesse de l'écoulement

Station	Ronq	Boundoum	Ross-Bethio	Ndiongueu	Ndiol	Makhana
Vitesse m/s	0,02	0,12	nulle	0,06	0,05	0,01

montrent une faiblesse du courant sur l'ensemble de l'axe. Ces valeurs faibles à nulles montrent que le remplissage de l'axe n'est ^{plus} possible sans pompage au mois de Septembre. De même, cette absence d'écoulement entre Ronq et Ross-Bethio est renforcée par une importante végétation. Ce qui a nécessité la venue d'une focardeuse devant désherber la partie de l'axe située entre Boundoum-barrage et la station de Grande Digue.

La situation hydraulique qui a prévalu au niveau de la réserve Gorom-Lampsar aux mois d'Août et de Septembre 1990, a motivé la convocation d'un C.R.D. spécial à Saint-Louis. Les différents aspects du problème ont été abordés au cours de cette réunion.

Une solution d'urgence a été préconisée afin de permettre le démarrage de l'irrigation dans les périmètres situés entre Saint-Louis et Ross-Bethio. Elle consistait à tenter de remplir la partie aval de l'axe à partir de la réserve d'eau douce de Saint-Louis. Pour ce faire, le barrage de Makhana a été ouvert. Et suivant le principe des vases communicants, on

a assisté au courant des mois d'Août et de Septembre à un cheminement inverse des eaux dans le bief aval (entre Ndiol et Dakar-Bango). Mais le flux d'eau en provenance de la réserve d'eaux douces de Saint-Louis, vers les stations situées en amont, était tellement faible que le remplissage correct de cette partie du chenal n'a pu se réaliser. Il en est découlé un retard dans le démarrage de l'irrigation dans toutes les cuvettes situées entre Ross-Bethio et Makhana.

Là où les hauteurs de la lame d'eau du chenal ne constituaient pas une gêne pour le pompage, l'irrigation a dû se faire avec des eaux ayant fait un long séjour dans l'axe.

Les valeurs de pH mesurées en Septembre 1990 (Tableau 8), au niveau des biefs médian et aval attestent d'une légère acidité des eaux. Ce qui peut être à l'origine de plusieurs problèmes. Car la riziculture irriguée exige des eaux au pH neutre à légèrement basique.

Donc le retard enregistré cette année dans le remplissage de l'axe aura sans nul doute une incidence défavorable sur la campagne agricole.

TROISIEME PARTIE : L'IMPACT DES FACTEURS DU MILIEU PHYSIQUE SUR LES EAUX

Nous tenterons d'évaluer dans cette partie l'influence qu'exercent certains paramètres physiques, considérés individuellement ou dans leur interaction, sur les eaux.

D'abord, nous aurons à aborder les facteurs afférents au colmatage du chenal. Lequel colmatage favorise le développement de la végétation d'eau douce sur une grande partie de l'axe caractérisée par de faibles profondeurs.

Ensuite nous nous pencherons sur les paramètres intervenant dans la minéralisation des eaux.

L'étude des caractéristiques physiques et chimiques des eaux nous permettra, sans nul doute, de nous faire une idée sur l'évolution spatio-temporelle de la minéralisation.

Enfin, nous aborderons les aménagements hydro-agricoles pour mieux poser les problèmes relatifs à la gestion de l'eau en rapport avec les facteurs du milieu physique, les techniques, mais également montrer quelles sont les difficultés auxquelles ces aménagements sont confrontés.

L'étude sur les aménagements doit nous offrir la possibilité de saisir leur place dans le milieu physique. Quand on sait que l'introduction de la culture de contre-saison et sa généralisation, peuvent aider à limiter l'ampleur de la déflation éolienne, compte tenu du fait que désormais toutes les cuvettes aménagées vont bénéficier, à tout moment de l'année, d'une protection découlant de la présence de l'eau et d'un tapis herbacé très touffu.

I. - LES SEDIMENTS ET LE COLMATAGE DU CHENAL

L'étude des sédiments récoltés dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar et analysés au laboratoire de pédologie de la S.A.E.D., a porté sur dix sept échantillons répartis comme suit :

- Sept dans le fond du chenal
- Trois pour les levées
- Deux dans les canalisations
- Deux sur les dunes d'obstacles (nebka)
- Trois sur les cuvettes.

Cette étude a consisté à déterminer les fractions argileuse, limoneuse et sableuse sur l'ensemble des sédiments récoltés. Aussi, à l'aide du diagramme d'analyse des textures en coordonnées trilineaires (d'après DUCHAUFOUR) A.LACOSTE et R. SALANON,⁽¹⁾ 1986, nous avons procédé à la catégorisation de tous les échantillons. Ce qui nous a permis de suivre l'évolution dans l'espace des différentes fractions, mais aussi d'essayer de déterminer la provenance du matériel solide extrait du fond du chenal.

(1) A.LACOSTE et R. SALANON, 1986 : "éléments de biogéographie et d'écologie". Ed. Nathan. Université. France. 189 pages.

I.1 - CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES ET TEXTURALES

Les résultats de la granulométrie grossière et de l'analyse texturale des sédiments sont consignés dans le tableau 6. Ils montrent les variations des différentes fractions de l'amont à l'aval de l'axe, mais aussi selon que l'échantillon provienne du chenal, des levées, des cuvettes, des canalisations ou des nebka.

I.1.1. - Les sédiments de fond de chenal

Si l'on considère l'ensemble des sept (7) échantillons, il apparaît clairement que c'est la fraction sableuse qui domine dans les matériaux, avec 64,08 %, suivie de loin par les argiles (18,64 %) et les limons (15,87 %).

Dans les détails nous avons noté non seulement une hétérogénéité des matériaux, mais aussi une variation dans l'espace des différentes fractions.

Ainsi les sédiments du bief aval, c'est-à-dire en aval de Ndiol sont en général de texture sableuse. Ceux des biefs médian et amont (de Ndiol à Ronq), sont limono-sableux et limono-argileux à argileux.

L'importance de la place du sable dans tous ces sédiments est en grande partie due aux sables fins (50 % sur l'ensemble des échantillons).

De l'amont à l'aval, la fraction sableuse augmente et passe de 11 % à la station 7 sur le Gorom-amont à 94 % à la station 2 à Makhana.

Inversement, les argiles et les limons augmentent d'aval en amont. De 8 % à Ndiaoudoun, les argiles représentent 60 % des

matériaux à la station 7 sur le Gorom-amont.

Les limons suivent une variation spatiale dans le même sens que les argiles, et sont plus importants en amont qu'en aval. Cette inégale répartition des fractions dans l'espace nous amène à nous interroger sur l'origine des sédiments rencontrés dans le chenal. Car à y regarder de plus près, nous remarquons que cette distribution spatiale des fractions n'obéissent pas simplement à la taille des matériaux. En ce sens que si ces sédiments ne provenaient que des eaux du fleuve Sénégal, on devrait assister à une répartition spatiale contraire à ce que nous avons. C'est-à-dire que les fractions grossières seraient plus importantes en amont et les fines en aval.

En attendant de revenir sur l'origine de ces sédiments, disons tout de suite qu'à l'envasement du Gorom-amont, s'oppose un ensablement du Lampsar et plus précisément sa partie aval.

I.1.2. - Les sédiments des levées

Ici, les fractions grossières sont plus importantes en amont qu'en aval.

Les fines, en particulier les argiles, connaissent une croissance régulière d'amont en aval et passent de 40 % sur le Gorom-amont, à 49 % après la confluence du Kassak et du Lampsar, et à 55 % à Ndiol.

Cette évolution spatiale de la fraction argileuse montre que "l'effet de peigne" de la végétation présente dans le chenal est plus significatif sur les sables et les limons grossiers.

De cette situation, il en découle une variation des textures. Ainsi, limono-argileuse au niveau du Gorom-amont, la texture des sédiments devient argileuse à Ndiol.

Tableau 6 : Analyse granulométrique et texturale des sédiments du bassin de l'axe Gorom-Lampsar

Sondages		Argile %	Limon Fin %	Limon Gros. %	Sable Fin %	Sable Gros. %	Matière Organique %	Texture
Chenal Gorom - Lampsar	1	7,64	3,10	1,75	64,51	22	0,97	Sablo-limoneuse
	2	1,60	0,50	1,20	83,82	11,84	0,57	Sableuse
	3	0,65	0,15	1,82	56,84	39,45	0,77	Sableuse
	4	28,00	12,90	20,22	33,98	0,28	1,48	Limono-sableuse
	5	5,10	0,42	1,81	64,86	26,70	0,27	Sableuse
	6	26,86	24	15,53	32,35	0,24	1,32	Limono-argileuse
	7	60,07	20,27	7,50	10,32	0,44	0,37	Argileuse
Levées	1	54,83	5,47	12,45	25,67	0,52	2,33	Argileuse
	2	49,20	3,82	18,33	27,97	0,51	0,27	Argilo-limoneuse
	3	40,10	6,17	10,68	41,57	0,14	0,64	Limono-argileuse
Ouvettes	1	28,30	3,10	15,98	49,38	0,16	0,10	Limono-argilo -sableuse
	2	43,60	1,49	16,29	37,11	0,12	0,24	Argileuse
	3	64,12	18,95	6,31	9,28	0,22	2,80	Argileuse
Nebka	1	24,50	3,91	10,90	59,29	0,38	0,77	Limono-argilo-sableuse
	2	57,20	15	6,59	20,09	0,08	0,71	Argileuse
Canaux	1	56,37	11,93	9,16	17,02	4,47	0,54	Argileuse
	2	20,10	7,90	12,86	58,29	0,28	0,88	Limono-argilo-sableuse

1.1.3. - Les sédiments des cuvettes

Les prélèvements de sédiments de surface ont concerné trois cuvettes très proches de l'axe comme le montrent les séquences latérales que nous avons effectuées le long de l'axe (fig. 13a). Sur l'ensemble des trois cuvettes nous avons noté une prédominance de la fraction argileuse (43,5 % en moyenne).

Toutefois, il faut noter que cette fraction argileuse, dans les sédiments des cuvettes, diminue d'amont en aval.

Ainsi, de 64,12 % en amont de Boundoum, elle passe à 28 % en aval du barrage de Ndiol.

L'autre caractéristique des sédiments de cuvette est sans nul doute la part grandissante du sable qui passe de 9,5 % à 43,33% au fur et à mesure qu'on descend l'axe.

L'importance du sable dans certaines cuvettes serait liée au fait que les échantillons sont effectués en surface. Car tout le monde convient que ces cuvettes sont le siège d'une importante décantation argileuse et limoneuse.

Les études antérieures, A. NDIAYE (1978) et J.Y. LOYER - A. DIALLO (1979), ont montré que l'épaisseur de la couche argileuse augmente au fur et à mesure qu'on s'approche de la partie la plus basse de la cuvette.

Cela dit s'il y a variation importante dans les fractions au détriment des argiles, on le doit plutôt à des facteurs externes et non au régime de la sédimentation. Car comme dans le chenal, l'importance de la fraction sableuse dans les sédiments de cuvette renvoie à des facteurs environnementaux (faiblesse du tapis végétal sur les dunes et les levées fluvio-deltaïques, vitesse des vents et ruissellement) ; lesquels favorisent la mobilisation de matériaux et leur dépôt dans le chenal et dans les cuvettes.

Fig. 12 Agencement schématique des stations de prélèvement de sédiments du lit de l'axe Gorom-Lampsar

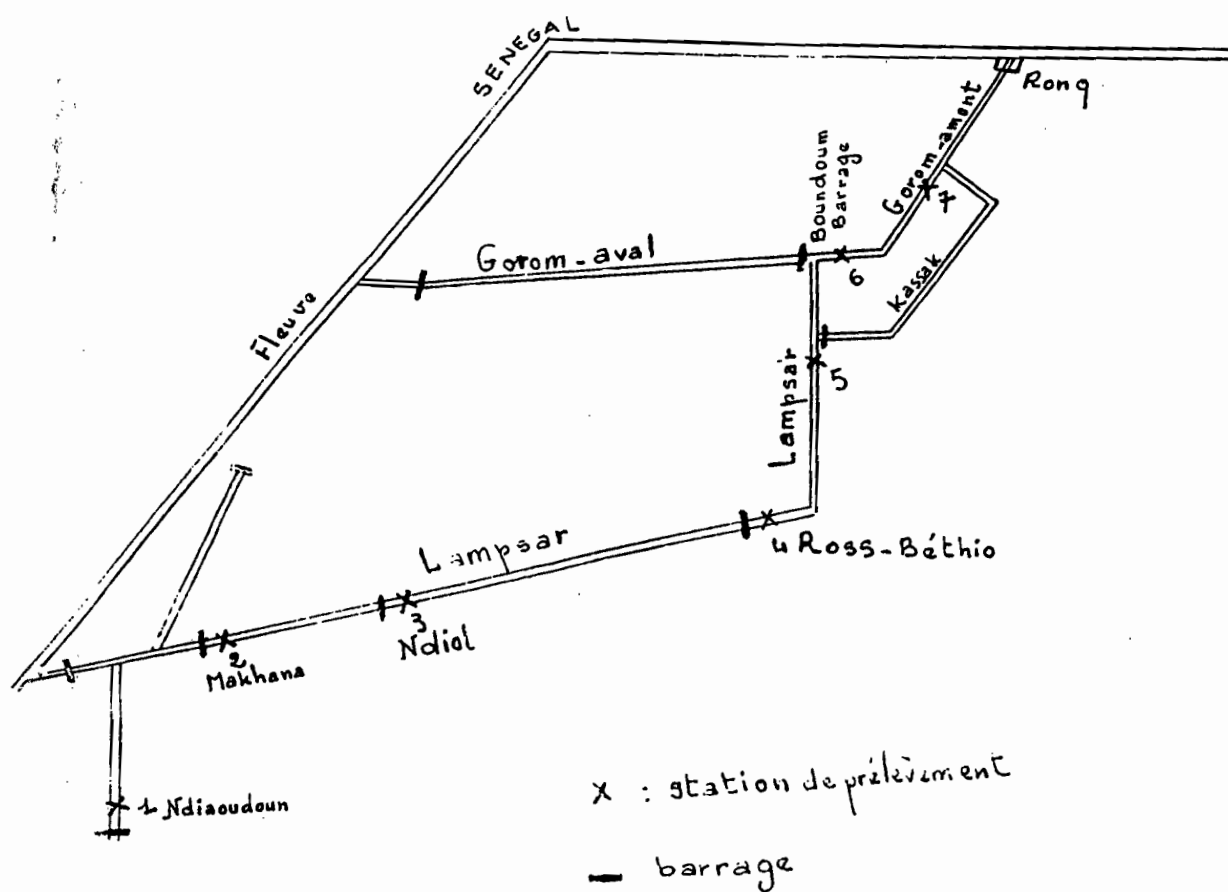
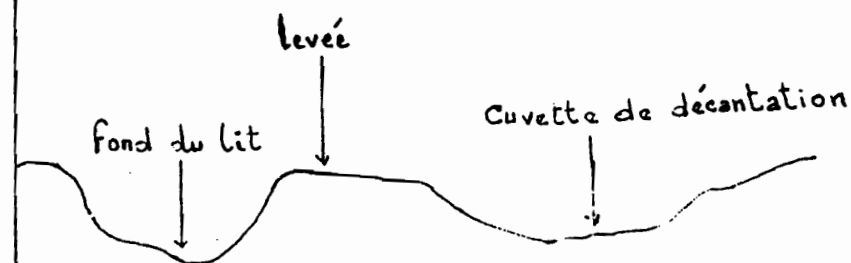


Fig. 13.A Séquence latérale d'échantillonnage de sédiments



I.1.4. - Sédiments des canalisations

Ici, les fractions varient suivant les missions assignées à ces tranchées.

Les canaux d'irrigation ont des pourcentages en argile et limon plus faibles (environ 20 et 21 %), en comparaison aux canaux affectés au drainage des périmètres irrigués (56 % et 21 %)

La part remarquable qu'occupent les fractions argileuse et limoneuse dans les canaux de drainage s'explique par le fait que les eaux abandonnent presque toute leur charge solide grossière (sable et limon grossier), dans les périmètres irrigués en raison de la durée de leur séjour mais aussi de "l'effet de peigne" provoqué par le couvert végétal présent dans ces surfaces riziculturées.

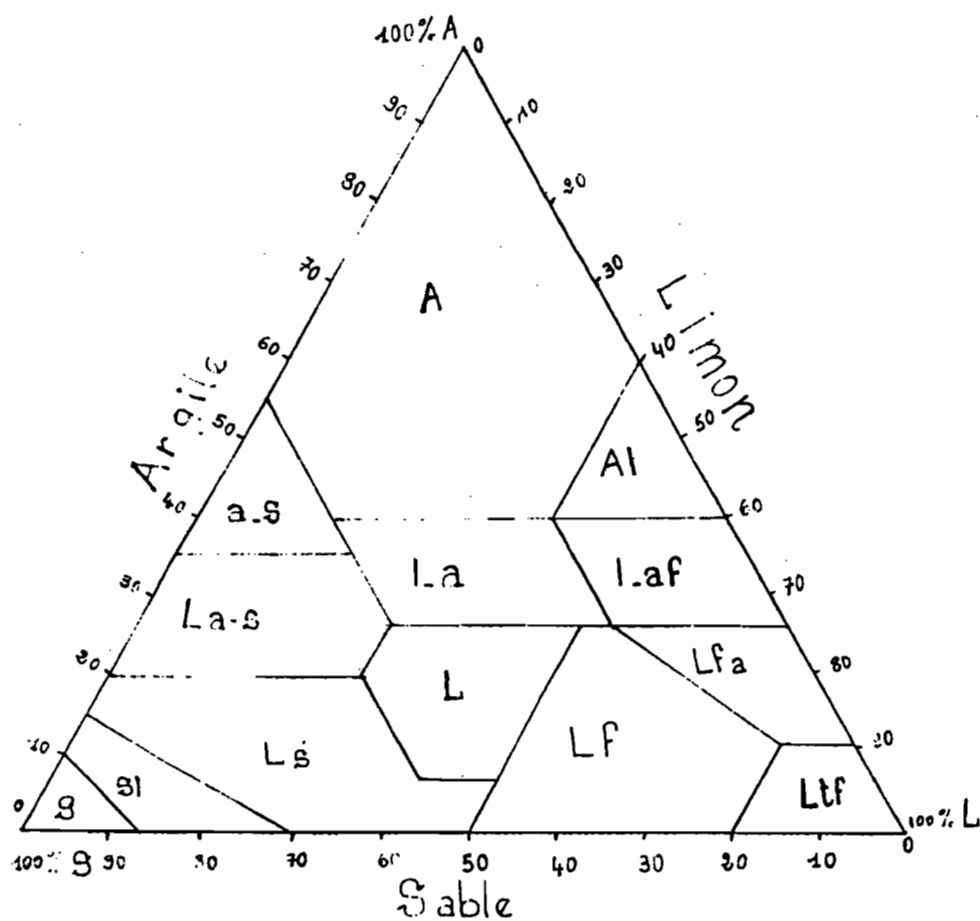
Au sortir des périmètres aménagés, les eaux contiennent essentiellement des matériaux fins et deviennent chimiquement plus riches. Ce qui explique l'épanouissement de la végétation dans ces canaux, les nitrates entrant dans la fabrication des engrais y joueraient un grand rôle.

I.1.5. - Sédiments de nebka

Les dunes d'obstacles rencontrées au Nord-Est du village de Boundoum-Barrage, montrent une différenciation dans les textures des sédiments selon que les nebka sont localisés sur les levées fluvio-deltaïques ou sur les rebords de cuvettes inondées en eau douce.

Ainsi les sédiments des dunes d'obstacle des rebords de cuvettes d'inondation en eau douce sont de texture argileuse. Par contre les sédiments issus des nebka sur les levées fluvio-deltaïques sont de texture limono-argilo-sableuse.

Fig. 13.B . Diagramme des textures en coordonnées trilineaires
(d'après Duchaufour)



- Texture argileuse { A : argileuse
AI : argilo-limoneuse
- Texture «équilibrée» { L : limoneuse
L.s : limono-sableux
L.a.s : limono-arg
sableuse
- Texture de transition { l.a.f : limono-argileuse fine
l.a : limono-argileuse
a.s : argilo-sableuse
- Texture limoneuse { L.f.a : limo
fin argileux
L.f : limon fi
Ltf : limon
tres fin
- Texture sableuse { SL : sablo-limoneuse
S : Sable.

Cela dit, la variation des textures de ces sédiments serait en partie liée à la présence ou à l'absence du sel ; les argiles et les limons flocculent et deviennent aptes à la déflation éolienne en saison sèche.

A noter que dans les deux cas de figure, le sable grossier entre pour une très faible part dans les matériaux constitutifs de ces sédiments (1 %). Alors que les sables fins semblent être bien représentés avec respectivement 59 % et 20 % pour les dunes d'obstacle sur levées fluvio-deltaïques et sur rebords de cuvettes d'inondation en eau douce.

II. - L'ORIGINE DES SEDIMENTS RENCONTRES DANS LE CHENAL

A un premier niveau d'analyse on peut admettre qu'une partie des sédiments trouvés dans le chenal provient du fleuve Sénégal. Dans la mesure où l'axe Gorom-Lampsar n'est ni plus ni moins qu'un défluent de cette grande artère.

Cela dit, on ne se surprend guère à rencontrer de l'argile, des limons et du sable dans les sédiments de la rivière, quand on sait que le fleuve Sénégal une charge solide des cours d'eau tropicaux.

Une étude de l'O.R.S.T.O.M. (1967), a évalué la concentration de particules en suspension du fleuve à 80 mg/litre à Dagana. Et par rapport au débit cumulé annuel à cette station qui était de 22 milliards de m³, le volume total de matériaux en suspension transporté par le fleuve vers la mer était estimé à 1,8 millions de tonnes par an.

Toutes ces particules contenues dans ces eaux n'atteindront pas la mer en ce sens qu'une partie se dépose en cours de route sur le fond du lit, et entre dans le colmatage des chenaux dont l'axe Gorom-Lampsar.

En faisant le bilan des flux de matières en suspension à l'embouchure du Sénégal, A. KANE (1985) a montré qu'à l'échelle mensuelle, les mois d'Août, de Septembre, d'Octobre et de Novembre rassemblent la quasi-totalité (99 %) de la charge solide.

Toujours selon A. KANE (1985), la turbidité moyenne s'est élevée à 252 mg/l en 1981-1982 et à 156 mg/l en 1982-1983.

Si en définitive, le transport solide du fleuve Sénégal est relativement faible (de l'ordre de 2 millions de tonnes/an), on peut noter que entre 1967 et 1983, la turbidité de cet organisme fluvial a connu une certaine augmentation, et serait liée à la sécheresse persistante qu'a vécue le bassin durant les années 1970. Cette sécheresse qui a affaibli le couvert végétal dans le haut et le moyen bassin, a rendu plus importants l'érosion pluviale et le ruissellement superficiel qui alimentent la "charge exogène" comme le dit FRECAUT (1981).

Si l'ampleur du colmatage des chenaux est fonction à la fois de la concentration de matières en suspension et de la vitesse du courant, paramètre à évolution saisonnière (M. SALL, 1982), on peut oser croire qu'une menace réelle pèse sur l'axe Gorom-Lampsar. D'autant plus que ce dernier coule une bonne partie de l'année en circuit fermé. De même, en plus de la charge solide en provenance du fleuve Sénégal, s'ajoutent des sédiments apportés par la déflation, éolienne, les phénomènes de ravinement enregistrés au niveau des bourrelets de berge et le pourrissement de la végétation présente sur le chenal qui est d'autant plus abondante que la profondeur des eaux est plus faible sur le Lampsar que sur les autres chenaux du delta.

Des mesures effectuées sur le Lampsar en 1980 au mois de Septembre (période de crue dans le delta et de renouvellement des eaux du Gorom-Lampsar), ont donné une valeur de 211 mg/l de matières en suspension.

A cette situation, sont venus s'ajouter les nombreux ouvrages de barrages qui ont anéanti les vitesses du courant dans le chenal, et conséquemment augmente les vitesses de sédimentation. Tous ces facteurs favorisant on accélérant la sédimentation, ont fait que l'axe connaît un colmatage évolutif d'amont en aval (élévation du niveau du lit de 60 cm en vingt ans sur le Gorom-amont Fig. 14, et de 1,20 m sur le bas Lampsar d'après M. GUEYE).

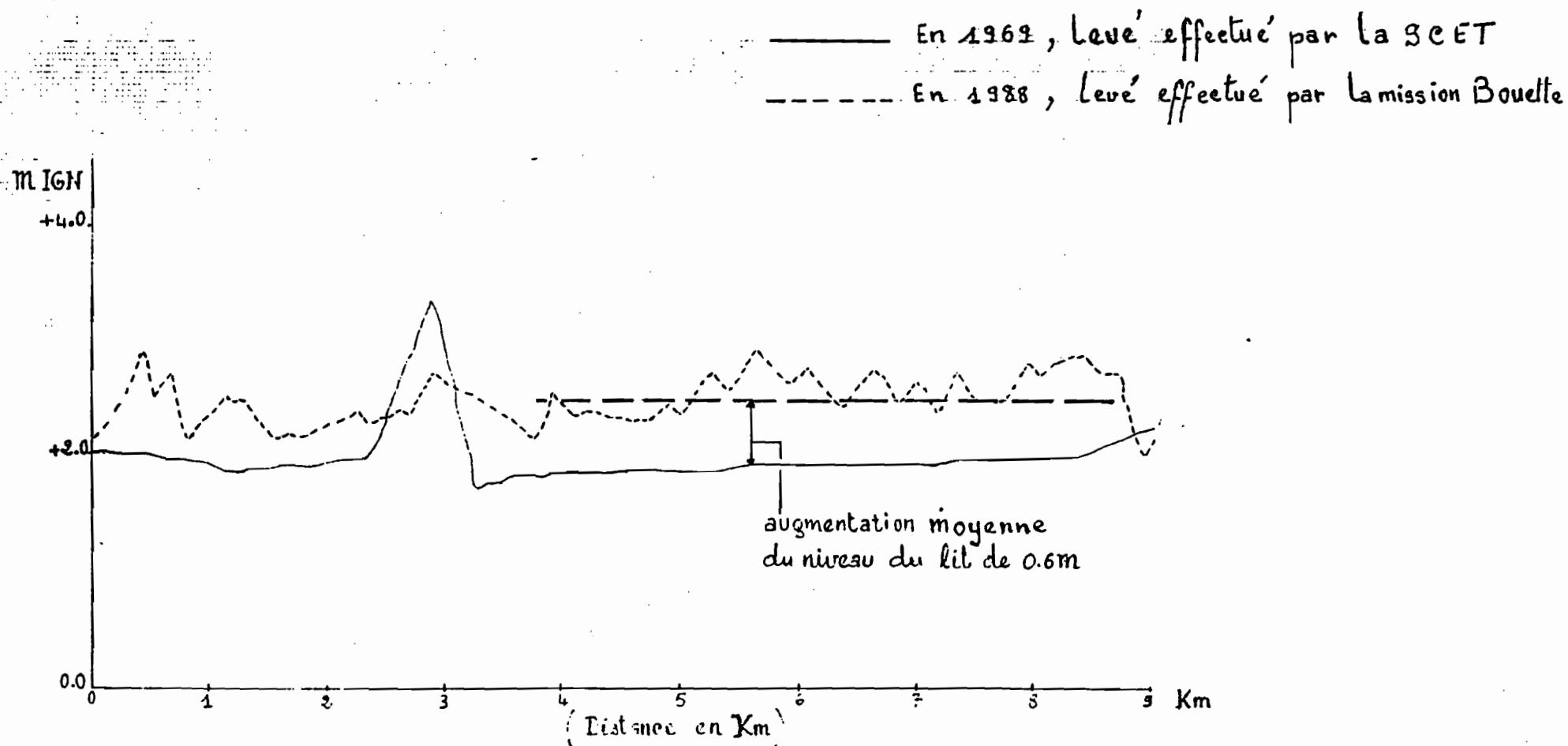
Cependant, la comparaison de la nature des matières en suspension dans les eaux du fleuve (argile, limons, résidus organiques et sable fin), à celle des sédiments extraits dans le fond du chenal Gorom-Lampsar, nous permet de constater que les rapports ont changé et qu'il y a diminution des argiles et des limons d'amont en aval en faveur des sables. Ce qui nous amène à considérer qu'il y a des apports latéraux de sédiments qui viennent renforcer le colmatage de l'axe.

En effet, les vents soufflant pendant la saison sèche exercent une importante action érosive sur le delta en raison de l'ampleur des surfaces dénudées par suite d'un faible tapis végétal rapidement absorbé par un surpâturage.

Ainsi, le matériel mobilisé par le vent entre pour une bonne partie dans le chenal.

Si au niveau du Gorom-amont le vent ne mobilise en général que du matériel fin, il en est autrement en aval de Ross-Bethio où le Lampsar s'insinue entre deux ensembles dunaires qui sont de grands pourvoyeurs de sédiments eu égard à la faiblesse du

Fig. 14 Profils en long du Gorom-amont



couvert végétal, mais aussi au surpâturage dont ils font l'objet.

L'analyse des sédiments récoltés dans le fond du chenal à Ndiol et à Makhana montre l'importance du sable avec respectivement 95 et 96 %.

Au niveau de Makhana, la menace que constitue le massif dunaire est d'autant plus importante qu'elle s'exprime par des éboulements suite au recul de la végétation sur les flancs de la dune. Donc en plus des matériaux apportés par les eaux en provenance du fleuve Sénégal dans l'axe, la déflation éolienne et la dynamique des dunes sont des sources supplémentaires de sédiments.

Enfin, on peut y ajouter les sédiments issus du ruissellement. En ce sens qu'après les pluies violentes qui tombent en Août et Septembre, on remarque des cannelures sur les bourrelets de berge. Lesquelles cannelures peuvent avoir 30 à 40 cm de large et 10 à 20 cm de profondeur. D'où l'existence d'une autre source de sédiments non moins importante.

Si au plan quantitatif le colmatage du chenal s'apprécie par une surélévation du niveau du lit, il en est autrement pour ce qui est des rapports entre sédiments et qualité de l'eau. Cette autre dimension dans la problématique du sujet sera abordée dans le prochain chapitre.

III - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX

Afin d'avoir un aperçu sur la nature physico-chimique des eaux, nous avons effectué deux campagnes d'échantillonnage et de mesures in situ (fig. 15).

D'abord au mois de Juin, à la fin de la saison sèche, et après que les eaux aient fait un long séjour dans l'axe qui s'est

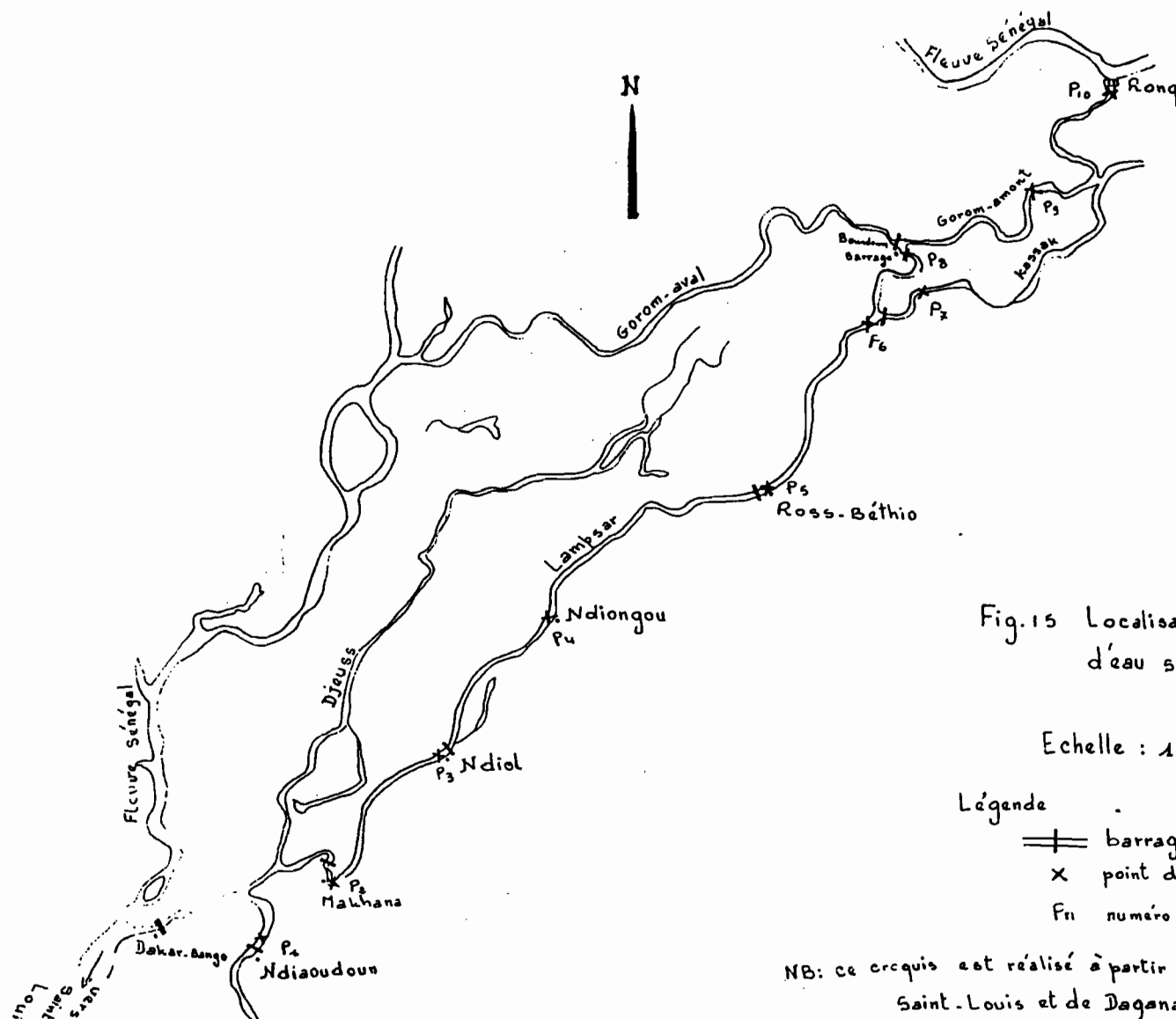


Fig.15 Localisation des points d'échantillonnage d'eau sur l'axe Gorom-Lampar

Echelle : 1/200.000^e

Légende

—+— barrage

x point d'échantillonnage

F_n numéro de l'échantillon

NB: ce croquis est réalisé à partir des feuilles au 200.000^e de Saint-Louis et de Dagana (IGN-Dakar)

traduit par une baisse évidente du niveau en rapport avec une importante évaporation. Laquelle évaporation, en plus de l'accumulation d'importantes quantités de sédiments dans le chenal, doit irrémédiablement avoir un impact sur la minéralisation des eaux.

Ensuite au mois de Septembre, pendant l'hivernage, mais surtout avec la pénétration dans l'axe des eaux venant du fleuve Sénégal.

Durant chaque campagne, l'étude hydro-chimique repose sur dix échantillons (prélevés en différents endroits de l'axe), portant sur dix paramètres dont les uns sont mesurés sur place (la température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous), et les autres dosés au Laboratoire de la SAED à Ross-Bethio (calcium, magnésium, chlorure, bicarbonates, sulfates et résidu sec).

Le sodium et le potassium n'ont pu être dosés pour raison de panne d'appareil.

III.1 - NATURE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX AU MOIS DE JUIN

III.1.1 - Les caractéristiques physiques

- La température : elle a été mesurée sur place, et varie sur l'ensemble des échantillons entre 27 et 32° C. La valeur la plus forte a été mesurée à Ronq P10. (32° C) et la plus faible à Ndioudoun P1 (27° C), le 15 Juin 1990.

L'écart entre ces deux valeurs extrêmes semble provenir d'une influence de la température de l'air sur celle de l'eau. Quand on sait que la valeur la plus faible a été mesurée en début de matinée (09 Heures) et la plus forte à (15 Heures). Sur l'ensemble des dix échantillons du mois de Juin, les valeurs observées peuvent influencer les eaux du point de vue de la quantité et de la qualité. En ce sens que sous climat chaud et

sec, l'élévation de la température renforce l'évaporation. Ce qui se traduit par une baisse de niveau des eaux superficielles et une augmentation de la concentration des sels en solution.

Aussi, selon L. HARTMAN, 1987, l'élévation de la température de l'eau accroît l'intensité de certains processus chimiques et biologiques comme la production de bactéries et d'algues.

Ces processus de production et de minéralisation résultent de changements importants dans la consommation et la production d'oxygène, qui, peuvent conduire à des déficits modérés ou très marqués en oxygène dissous.

- Le pH

Il a été mesuré sur place et vérifié au laboratoire pour l'ensemble des échantillons.

Etant régi par l'équilibre dioxyde de carbone-bicarbonate-carbonate, il peut être modifié par des substances humiques, la bioactivité des végétaux et les sels hydrolisables.

Sur l'ensemble des échantillons, il est très voisin du pH neutre qui est égal à 7 et varie entre 6.3 et 6.4. Ce qui atteste d'une légère acidité des eaux de l'amont vers l'aval.

- La conductivité électrique

Elle dépend de la force ionique de l'eau, et est liée à la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et à la température à laquelle elle a été mesurée.

Elle est faible sur l'ensemble des échantillons comme le prouvent les résultats consignés dans le tableau 5. Ce qui nous amène à dire que les eaux sont faiblement minéralisées.

Les valeurs les plus importantes sont mesurées à Ronq P.10 et à Ndiaoudoun P1, avec respectivement 0,78 et 0,70 mm hos. Et la plus faible valeur est observée à Ross-Bethio P.5 (0,18 mm hos). Au vu des résultats analytiques des eaux (Tableau 7), on pense que la variation spatiale de la conductivité électrique, quoique intéressant des valeurs faibles, serait liée à la combinaison chlorure-magnésium. Car selon Charles GUYOT, 1974, une dose même réduite en chlorure augmente la conductivité électrique.

- L'oxygène dissous

Les valeurs renvoyant aux teneurs en oxygène dissous des eaux montrent qu'au mois de Juin, la sous-saturation est de rigueur dans l'axe. Ce qui serait en rapport d'une part avec l'importance de la vie végétale dans le chenal et d'autre part avec la faiblesse du courant d'eau ne favorisant presque nulle part un brassage actif entre l'eau et l'air. D'autant plus que la dissolution des gaz en général et de l'oxygène en particulier est d'autant plus importante que l'eau est en mouvement.

Etant donné que les échantillons les plus déficitaires sont prélevés dans le bief amont, on peut sans risque de nous tromper, trouver une relation entre teneur en oxygène dissous et bioactivité végétale. Dans la mesure où cette partie du chenal se caractérise par une importante présence de laitue d'eau douce et d'*Oryza Barthii*.

A noter enfin que nous avons conservé les mesures in situ pour les paramètres comme le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous en ce sens que les vérifications au laboratoire ont donné des écarts faibles à nuls.

III.2. - Les caractéristiques chimiques

Seuls cinq ions majeurs ont pu être dosés au laboratoire de la SAED à Ross-Bethio.

Tableau 7 : Résultats analytiques des eaux - Juin 1990
(Gorom - Lampsar)

Détér. minér. Echant. tillon	T °C	pH	CE mmhos	OD mg/l	Bilan ionique mg/l				Bilan ionique mg/l				DTS mg/l	Résidu sec mg/l
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Somme		
P. 1	27	6,3	0,78	5,1	0,288	0,500	-	-	108,9	76,25	16,8	261,9	320	264
P. 2	28	6,3	0,24	5,0	0,108	0,243	-	-	84,4	76,25	12	172,6	140	264
P. 3	29	6,3	0,34	5,3	0,252	0,157	-	-	94,4	91,5	2,4	188,3	130	708
P. 4	29	6,3	0,34	5,3	0,108	0,216	-	-	99,4	76,25	2,4	178,05	130	88
P. 5	29	6,4	0,18	6,2	0,252	0,100	-	-	173,9	106,7	2,4	283,05	120	160
P. 6	30	6,3	0,29	7,2	0,216	0,109	-	-	84,4	76,25	2,4	163,05	120	624
P. 7	28	6,3	0,29	7,2	0,216	0,136	-	-	69,5	91,5	2,4	163,04	120	260
P. 8	27	6,4	0,33	7,6	0,144	0,180	-	-	89,4	91,5	12	192,9	130	104
P. 9	32	6,3	0,64	5,6	0,432	0,330	-	-	203,7	183	2,4	389,1	380	424
P. 10	32	6,3	0,70	5,8	0,411	0,360	-	-	213,4	167	2,3	382,7	370	416
Maxi	32	6,4	0,78		0,432	0,500	-	-	213,4	183	16,8	389,1	380	708
Mini	27	6,3	0,18		0,108	0,100	-	-	84,4	76,25	2,4	163,04	120	88

Le Sodium et le potassium n'ont pu l'être pour les raisons évoquées tantôt.

L'interprétation des résultats analytiques des eaux (Tableau 7) nous permet d'avoir une idée sur la variation spatiale de certains paramètres.

- Le calcium

Il est constamment rencontré dans les eaux. Les teneurs les plus élevées étant observées dans les échantillons P.9 et P.10 (fig. 15), avec respectivement 0,432 et 0,411 mg/l ; les plus faibles teneurs à Makhana P2 et à Ndiougou P.4 avec 0,108 mg/l.

Sur l'ensemble des échantillons, le calcium est faiblement représenté. Ce qui montre que les terrains avec lesquels les eaux sont en contact sont pauvres en calcium.

- Le magnésium (Mg^{++})

Il accompagne le calcium et semble diminuer en teneur toutes les fois que ce dernier augmente et vice versa (Tableau 7). Faiblement représenté, il varie peu dans l'espace. De 0,5 mg/l à Ndiaoudoun P1, il passe à 0,1 mg/l entre Ross-Bethio P.5 et Boundoum P.8.

La teneur relativement importante enregistrée à Ndiaoudoun P.1 est peut être le résultat d'une contamination des eaux par la nappe phréatique saumâtre et peu profonde dans le bas delta (1 à 2 m).

Cette faible profondeur de la nappe phréatique fait que la SONEES n'envisage presque jamais d'exploiter les eaux de la réserve de Saint Louis en deça de la côte IGN 0m, qui semble marquer la limite entre eaux douces et eaux saumâtres dans cette partie du delta.

- Le chlorure (Cl^-)

En général les eaux naturelles renferment l'anion chlorure. Les eaux qui ont traversé des formations géologiques riches en chlorure en contiennent davantage.

De même que la contamination par l'eau de mer rend les teneurs élevées.

Dans le cas précis des eaux du Gorom-Lampsar, la présence du chlorure en des proportions importantes serait liée à la nature même des formations géologiques du delta, caractérisées par l'omniprésence du sel d'origine marine, en rapport avec l'histoire géologique de ce delta.

L'analyse des données montre que le chlorure est plus important en amont. Ce qui semble provenir des effets combinés de l'évaporation et des accumulations dans cette partie du chenal de sédiments mobilisés par le vent et issus de cuvettes salées. De 213,4 et 203,7 mg/l dans le Gorom-Lampsar amont, il passe à 84,4 mg/l à Makhana P2 dans le Lampsar aval. Ce qui atteste d'une importante variation dans l'espace.

- Les bicarbonates (HCO_3)

En valeur absolue, c'est le second paramètre le plus important derrière le chlorure.

Ils varient très peu dans l'espace. La valeur la plus élevée appartenant à l'échantillon P.9 sur le Gorom amont avec 183 mg/l et la plus faible teneur (76,25 mg/l) est enregistré au niveau des échantillons P6, P4, P2 et P1. A noter que les valeurs du pH qui sont inférieures à 7 montrent également que les carbonates sont absents dans les eaux.

- Les sulfates (SO_4^{--})

Sur l'ensemble des échantillons ce paramètre est inférieur à 2,5 mg/l sauf dans les échantillons prélevés à Ndiaoudoun, à Makhana et à Boundoum avec respectivement 16,5, et 12 mg/l pour les deux derniers.

- Le résidu sec

Il regroupe les matières solides dissoutes et non dissoutes dans les eaux.

Le terme désigne la matière qui reste dans le cristalliseur après évaporation d'un échantillon d'eau et séchage à l'étuve à une température définie et comprise entre 100 et 104° C. Le pesage se faisant rapidement après des hydratation.

C'est un bon indicateur de la minéralisation globale des eaux. Seuls les évanescents comme le nitrate ne sont pas comptabilisés.

Les valeurs de résidu sec les plus importantes sont enregistrées dans les échantillons P.3 et P.6 avec respectivement 708 et 624 mg/l ; les plus faibles à Ndiongou P.4 à Boundoum P.8 avec 88 et 104 mg/l.

L'écart entre les deux valeurs extrêmes qui est de 610 mg/l, cache une évolution très complexe de la minéralisation dans l'espace.

La distribution des valeurs (Tableau 7), sur l'ensemble des échantillons, montre une évolution spatiale irrégulière. Ce qui semble résulter des nombreux ouvrages de barrages actifs qui ont fini par diviser l'axe Gorom-Lampsar en trois biefs indépendants, et subissant chacun en ce qui le concerne les intempéries de la nature à des degrés variés.

Au total, les eaux de l'axe Gorom-Lampsar montrent une faible

minéralisation en fin de saison sèche, eu égard aux données relatives à la conductivité électrique et au résidu sec.

Le tableau 9 sur les rapports caractéristiques entre magnésium et calcium : $\left(r \frac{Mg^{++}}{Ca^{++}} \right)^{(1)}$, nous livre les informations suivantes:

- * le magnésium est supérieur au calcium pour six échantillons ;
- * il lui est inférieur dans deux échantillons ;
- * il y a égalité entre les deux paramètres dans deux échantillons.

III.2 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX AU MOIS DE SEPTEMBRE

Les points d'échantillonnage ont été respectés au mieux et les mêmes paramètres ont fait l'objet d'étude avec le même nombre d'échantillons.

III.2.1. - Les caractères physiques

- La température : sur l'ensemble des dix échantillons, les températures sont comprises entre 29 et 32°2. D'où un écart très faible qui prouve encore une fois que la température de l'air a une influence certaine sur celle de l'eau, dans la mesure où celle-ci augmente au fur et à mesure que la première augmente. Sous cet angle, il y a rien d'anormal quand on sait qu'au mois de Septembre, les températures maximales peuvent atteindre et même dépasser 35° C dans le delta.

- Le pH : il est légèrement acide sur l'ensemble des échantillons, exception faite à celui recueilli à Ronq où on a enregistré une valeur égale à 7.1.

Ce pH très voisin de 7, est à mettre en relation avec la

(1) r : milliéquivalent

Tableau 8 : Résultats analytiques des eaux

Septembre 1990 (Gorom - Lampsar)

Déter- mi- nant éch.	T°C	PH	CE mmhos	OD mg/l	Bilan ionique				Bilan ionique				DTS mg/l	Résidu sec mg/l
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Somme		
P. 1	29	6,7	0,92	5,9	20	13,68	-	-	213,7	106,7	24	344,4	460	660
P. 2	29,5	6,5	1,02	6,4	12	16,5	-	-	288,2	61	28,8	378	520	728
P. 3	30,4	6,8	1,22	6,5	14	17,28	-	-	337,9	61	96	494,9	610	712
P. 4	30,6	6,8	1,18	6,5	14	12	-	-	323	76,2	24	423,2	590	544
P. 5	29,4	6,5	0,65	4,7	16	13,44	-	-	154	91,5	12	257,5	330	368
P. 6	30,1	6,0	0,11	5,9	6	3,48	-	-	29,8	61	12	102,8	55,7	20
P. 7	30,7	6,3	0,10	6,1	6	3,48	-	-	34,7	45,7	20,1	100,5	52,1	220
P. 8	29,5	6,3	0,09	6,3	6	1,56	-	-	24,8	45,7	33,6	104,1	48,5	244
P. 9	32,2	6,4	0,07	7,5	4	4,68	-	-	24,8	45,7	24	94,5	37,0	80
P. 10	32	7,1	0,10	8,3	6	2,76	-	-	19,8	45,7	33,6	99,1	52,6	224
Maxi	32,2	7,1	1,22		20	17,28	-	-	337,9	106,7	96	423,2	610	728
Mini.	29	6,0	0,07		4	1,56	-	-	19,8	45,7	12	94,5	37,0	20

présence des eaux du fleuve Sénégal dans cette station. Lesquelles eaux ont donné approximativement la même valeur du pH à Diama à la même période (pH : 7.01).

Partout ailleurs, les valeurs du pH sont comprises entre 6 et 6,7.

- L'oxygène dissous : deux échantillons ont donné des taux de saturation à 100 %, et sont situés tous en amont de l'axe (P.10 et P.9).

Les eaux connaissent une sous-saturation peu marquée à Ndiol P.3 et à Makhana P.2 avec respectivement 86 % et 83 %. Le taux de saturation le plus faible est enregistré à Ross-Bethio avec 61 %. Ce qui montre que l'évolution spatiale de l'oxygène dissous est très complexe et semble tenir aux faits qui suivent:

. Les échantillons prélevés sur le Gorom-amont (P.9 et P.10), l'ont été sur des eaux venant du fleuve Sénégal, peu minéralisées et soumises à un certain mouvement facilitant la dissolution de l'oxygène de l'air (Tableau 10).

. Les taux de saturation légèrement déficitaires enregistrés dans la partie aval de l'axe, s'expliquent par une turbulence des eaux née de l'ouverture du barrage de Makhana et qui a entraîné une remontée des eaux. Le courant issu de ce mouvement inverse est perceptible jusqu'en amont du barrage de Ndiol.

. La sous-saturation très marquée des eaux en oxygène dissous à Ross-Bethio P.5 s'explique par l'isolement de cette station né de l'incapacité des eaux venant du fleuve Sénégal de franchir le bouchon entre le barrage de Boundoum et Grande Digue. Cette sous-saturation en oxygène dissous peut être mise en rapport avec l'importance même de la végétation dans le

chenal au lieu même où l'échantillon a été prélevé.

- La conductivité électrique

L'analyse des données relatives à la conductivité électrique en nous permettant d'anticiper sur la minéralisation des eaux, nous renseigne également sur l'évolution spatiale de ce paramètre. De 1,22 mm hos à Ndiol P.3 en aval de l'axe (la valeur la plus forte), elle passe à 0,07 mm hos au niveau du Gorom-amont P.9 (la plus faible valeur).

Sur l'ensemble des échantillons prélevés dans le bief amont (P.10 à P.6), elle est comprise entre 0,07 et 0,11 mm hos. D'où la faible minéralisation de cette partie de l'axe, qui sera confirmée par l'étude hydrochimique.

III.2.2 - Les caractères chimiques

Un rapide coup d'oeil sur le tableau 8 où sont consignés les résultats analytiques des eaux au mois de Septembre, nous renseigne sur l'importance de la variation spatiale de la minéralisation.

Le contraste entre la nature chimique des eaux est cependant plus marqué si on considère isolément certains paramètres.

- Le calcium : les teneurs augmentent d'amont en aval et passent de 6 mg/l à Ronq P.10 à 14 mg/l à Ndiongou et à Ndiol.

L'opposition entre biefs est confirmée par les teneurs de certains échantillons (4 mg/l sur le Gorom-amont P.9 contre 20 mg/l à Ndiaoudoun P.1).

De l'amont vers l'aval, les cinq premiers échantillons ont des teneurs en Ca^{++} $\leq$ 6 mg/l, et à partir de Ross-Bethio P.5 les valeurs augmentent pour atteindre leur maximum à Ndiaoudoun.

- Le magnésium : comme le calcium, il est plus important en

aval qu'en amont de l'axe (Tableau 8). Cela en raison de la faiblesse des teneurs en magnésium des eaux en provenance du fleuve.

Le tableau 9 sur les rapports caractéristiques entre Mg^{++} et Ca^{++} montre que le magnésium domine dans quatre échantillons tous situés entre Ross-Bethio et Makhana, donc dans les eaux ayant longtemps séjourné dans l'axe. Et qu'en amont, seul l'échantillon 9 offre un avantage au magnésium ; les autres sont marqués par une prédominance du calcium.

Cela dit, les eaux entrant dans le chenal et en provenance du fleuve sont plus riches en calcium qu'en magnésium.

- Le chlorure : il est faible en amont de l'axe. A partir de Ross-Bethio il amorce une importante augmentation et passe de 154 mg/l à 337,9 mg/l à Ndiol P.3.

Les fortes teneurs en chlorure enregistrées dans les échantillons en aval de l'axe, ne semblent pas pouvoir s'expliquer seulement en rapport avec l'évaporation. Ce qui nous amène à penser à une possible contamination des eaux par la nappe phréatique.

- Les bicarbonates : comme le chlorure, ils sont plus importants en aval qu'en amont. Mais sont caractérisés par un écart entre valeurs extrêmes moins important.

Sur l'ensemble des échantillons, ils ne dépassent les 100 mg/l qu'à Ndiaoudoun (106,7 mg/l).

- Les sulfates : ils sont mieux répartis dans l'espace. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées là où la bioactivité végétale est importante. Ce qui ne surprend guère quand on sait que les végétaux en utilisent beaucoup pour leur développement.

Les températures élevées peuvent entraîner la précipitation des sulfates qui, au contact de l'humus, se transforment en sulfure. Ce qui a dû se produire au niveau de Ross-Bethio. Car avec la baisse du niveau des eaux, les rayons solaires peuvent atteindre en certains endroits peu profonds le lit du chenal. Ainsi des processus du genre se sont déclenchés et ont fini par donner à l'eau une odeur fétide. Ce que nous avons du reste constaté durant notre dernière campagne.

- Le résidu sec : il permet de résumer l'évolution spatiale de la minéralisation des eaux de l'axe comme suit :

* Au mois de Septembre, le Gorom-Lampsar est plus minéralisé en aval du fait que les eaux s'y trouvant ont subi les effets combinés de l'évaporation et des apports de sédiments par le vent pendant une période durable.

* Aussi, le colmatage de l'axe ne facilite pas une bonne intrusion et une progression normale des eaux en provenance du fleuve dans l'ensemble du chenal. Ce qui s'est traduit par l'existence de deux catégories d'eaux dont l'une est faiblement minéralisée si on s'en tient aux données du résidu sec et se situe en amont, l'autre a la particularité d'avoir une plus forte minéralisation comme on l'a montré tantôt.

En guise de conclusion on peut retenir que les eaux connaissent une évolution spatiale complexe, liée à des contraintes naturelles et artificielles.

Les nombreux ouvrages de barrages et l'envahissement du chenal par les végétaux, en réduisant les vitesses du courant, isolent en même temps les différents biefs. Ce qui se traduit par une distribution très irrégulière de certains paramètres dans l'espace.

Tableau 9 : Rapports caractéristiques $r = \frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$

(r : teneur en milliéquivalent)

Echantillon Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	1	= 1
Juin 1990	2,8	3,7	1	3,3	0,6	1	2	0,8	1,2	1,3	6	2	2
Septembre 1990	1	2,3	2	1,4	1,4	0,9	0,9	0,4	1,9	0,7	5	4	1

Tableau 10 : Evolution en % de la saturation en oxygène dissous

Echantillon Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Maxi	Mini
Juin 1990	64	64	69	69	81	95	92	95	76	78	95	64
Sept. 1990	77	83	86	86	61	78	81	83	100	100	100	61

Seules les températures ont échappé à l'emprise de ces contraintes, dans le temps. Nous pouvons remarquer que du mois de Juin au mois de Septembre, la minéralisation des eaux stockées dans le chenal s'accroît, et que l'arrivée des eaux en provenance du fleuve Sénégal entraîne une dilution des concentrations en substances dissoutes là où elles parviennent. En ce sens que les données analytiques des eaux au mois de Septembre montrent une réduction de la minéralisation seulement en amont de l'axe. Et, au contraire les eaux situées en aval ont vu leurs teneurs en sels augmenter.

IV. - LES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICLES

Nous ne saurions terminer ce T.E.R. sans aborder les aménagements au triple point de vue des techniques, des superficies concernées et de la gestion de l'eau.

Ils concernent les cuvettes ou dépressions à faible déclivité, disposées de part et d'autre de l'axe, et faisant partie intégrante du domaine essentiellement voué à la riziculture dans le delta. Ces cuvettes rizicoles sont limitées par l'extension maximale des eaux du chenal, atteinte dès que la crue du fleuve dépasse la cote suffisante (+2 m IGN) devant assurer le bon remplissage de cet axe hydraulique dont elles sont tributaires.

En 1984, les cuvettes aménagées par la SAED dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar s'élevaient à 7.400 ha.

Si on y ajoute les périmètres de la SOCAS et ceux des particuliers, on atteint aujourd'hui le chiffre de 11.381 ha, soit près de 9,4 % de l'ensemble des terres du delta (Tableau 11). En raison des conditions particulières qui caractérisent le delta, le développement de la riziculture s'est accompagné de plusieurs aménagements techniques.

IV.1 - LES AMENAGEMENTS TECHNIQUES

- L'aménagement primaire

Il a été introduit dans le delta depuis 1964, et a consisté à rendre le plan d'eau dans les cuvettes indépendant de celui du chenal adducteur grâce à la construction d'ouvrages vannés à l'entrée des marigots assurant le cheminement des eaux vers les périmètres aménagés. Ce qui a permis de contrôler l'entrée de l'eau en aval du dit ouvrage (fig. 16).

Tableau 11 : Superficies aménagées dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar (1)

Aménagement	Cuvette-Axe Gorom-Lampsar	Superficie en ha
S	- Boundoum Sud	600
	- Kassak Nord	700
	- Kassak Sud	250
	- Grande Digue - Tellel	1.800
A	- NGao	144
E	- Polo	227
	- Mbodiene	279
D	- Biffèche	159
	- Tilène	108
	- Pont Gendarme	170
	- NGomène	125
	- Ndellé	158
	- Lampsar	111
SOCAS	Savoigne	350

P.P.P.		6.000
Total		11.381

(1) Projet irrigation VI - SAED, 1970

Mais lorsque les cuvettes aménagées constituent le lit majeur du chenal adducteur comme c'est le cas pour une bonne partie du Lampsar, aucun ouvrage interne n'intervient (P. S. DIAGNE, 1974).

Depuis 1968, ce type d'aménagement n'est plus utilisé et a été remplacé par un autre plus performant parce que mieux adapté aux conditions hydrologiques devenant difficiles en raison de la sécheresse.

- L'aménagement secondaire

Il apparaît comme une seconde étape importante et en parfaite complémentarité avec l'aménagement primaire.

Son originalité vient du fait qu'il parvient à établir des cloisonnements dans la cuvette aménagée grâce à un réseau de diguettes permettant une meilleure répartition de l'eau. Car ce système est complété par un réseau de canaux à fond plat qui desservent obligatoirement le point le plus bas de chaque secteur. D'après M. DIAKHATE (1986), ces canaux sont utilisables à double fin pour l'irrigation et le drainage. Ce qui entraîne facilement une confusion entre canaux d'irrigation et de freinage (fig. 16).

A cette faiblesse structurelle est venue s'ajouter une autre à caractère conjoncturel, liée à l'irrégularité de la crue consécutive à la sécheresse qu'a connu le bassin du fleuve Sénégal à la fin des années 60 et au début des années 70.

C'est la raison pour laquelle on a adjoint à ce système un

pompage chargé de pallier les effets liés aux crues déficitaires.

- L'aménagement secondaire avec pompage

La persistance de la sécheresse qui s'est traduite par une faiblesse de la hauteur de crue dans le delta, a fait que le plan d'eau n'atteint que très brièvement la cote 1.70 m IGN à la station de Bondou. Ce qui réduit les volumes d'eau entrant dans le chenal gravitairement et par conséquent les volumes d'eau stockables. D'où l'introduction du pompage complétant et rendant plus adéquat le dispositif de l'aménagement secondaire. Ce qui a réduit très sensiblement la sujétion qui existait entre le démarrage de la culture irriguée et le remplissage maximal de la réserve.

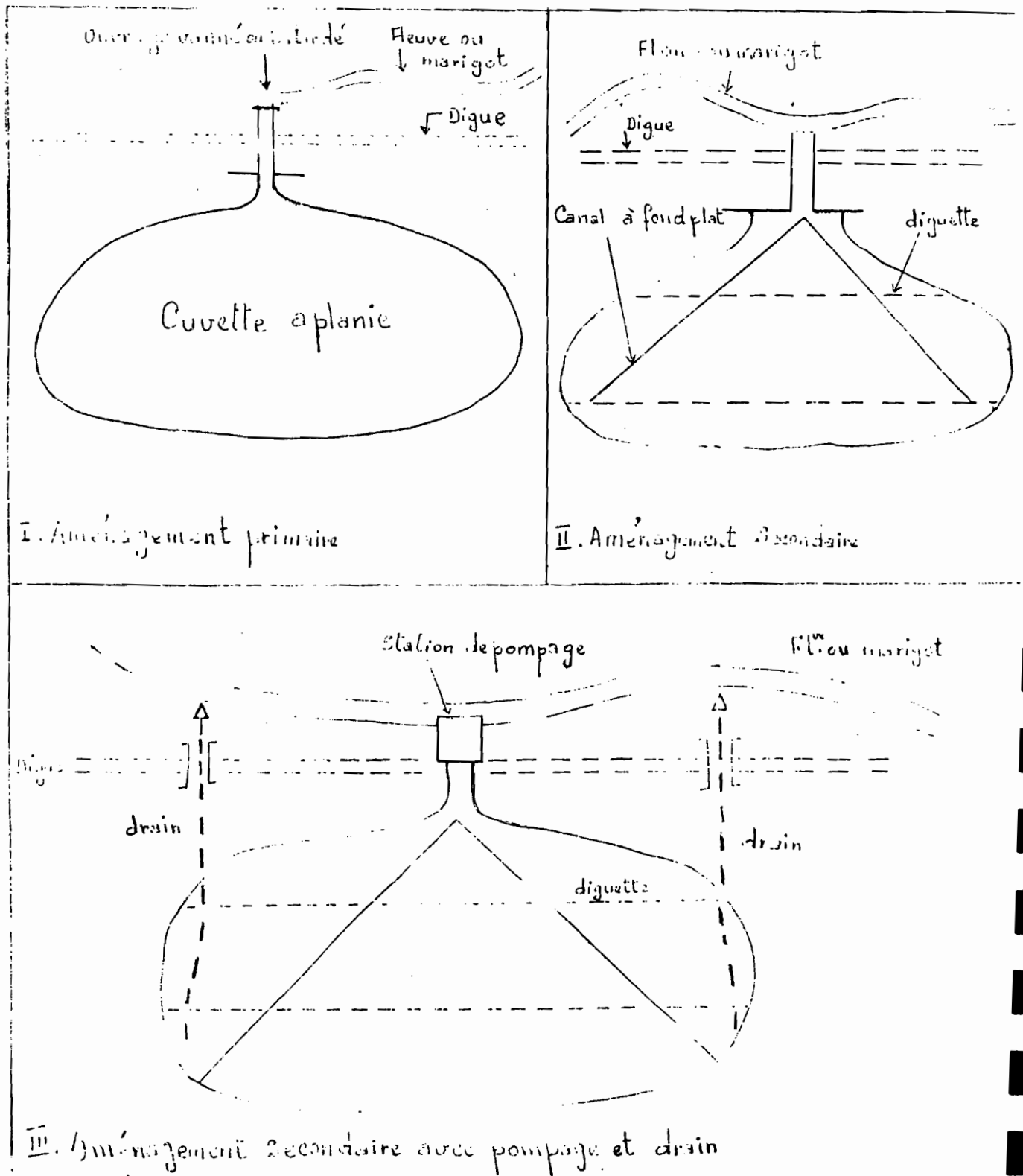
Mais comme le système précédent, l'aménagement secondaire avec pompage offrait une place très limitée au drainage et pouvait être source de pollution (fig. 16). C'est la raison pour laquelle on lui a préféré un autre système qui semble mieux convenir à une bonne gestion de l'eau dans les conditions physiques offertes par le delta.

- L'aménagement tertiaire

Il correspond au type d'aménagement le plus élaboré parce qu'il associe les qualités du schéma précédent, mais aussi et surtout offre l'impérieuse occasion de procéder au drainage des cuvettes. L'aménagement tertiaire qui est en vogue dans tout le delta (Fig. 16 bis) ne permet aucune confusion entre canaux d'irrigation et de drainage. Cette nouvelle technique permet également, grâce à son réseau dense de diguettes, de réduire la dénivellée entre secteurs de chaque parcelle à 10 cm.

Si en 1972, ce type d'aménagement était au stade de balbutiement dans le delta et ne concernait que 700 ha dans le casier de Boundoum Nord et 400 ha pour l'ensemble de la

Fig: 16 . Techniques d'aménagement - S.A.E.D



vallée du Lampsar, il en est autrement aujourd'hui grâce à ce aux succès qu'il offre en matière de gestion de l'eau. Sur le seul bassin de l'axe Gorom-Lampsar, les cuvettes aménagées en tertiaire couvrent en 1990 une superficie de 11.381 ha (Tableau 11).

Au total, l'aménagement et la gestion de l'eau semblent atteindre un niveau technique très élaboré avec l'avènement de l'aménagement tertiaire.

IV.2 - LA GESTION DE L'EAU DANS LE BASSIN

La dégradation hydraulique de l'axe Gorom-Lampsar depuis 1980 pose de nouveau la problématique de la gestion de l'eau. En effet, l'accumulation des sédiments et l'envahissement du chenal par la végétation ont entraîné une baisse relative des capacités de stockage entre 1969 et 1984 (Tableau 12). A cette situation est venu s'ajouter la diminution de la puissance installée à la station de pompage de Ronq.

La localisation actuelle des besoins en eau le long de l'axe que nous avons schématiquement présentée dans la figure 17. montre toutes les difficultés rencontrées pour le remplissage correct du chenal. Car les eaux qui entrent dans le chenal par l'entremise de la station de pompage de Ronq sont presque entièrement absorbées par les aménagements hydro-agricoles situés en amont de l'axe.

Cette situation a atteint un tel point cette année que le déterrage de la campagne agricole a donné des perturbations dans l'essentiel des périmètres situés en aval de Ross-Bethio.

Il semble en effet que l'équilibre qui existait entre les débits d'entrée et les prélèvements pour l'irrigation a été rompu à cause des installations presque anarchiques des périmètres privés estimés à 6.000 ha sur l'ensemble du bassin.

Fig.16 bis Cuvettes aménagées en tertiaire par la S.A.E.D
dans le Delta du fleuve Sénégal

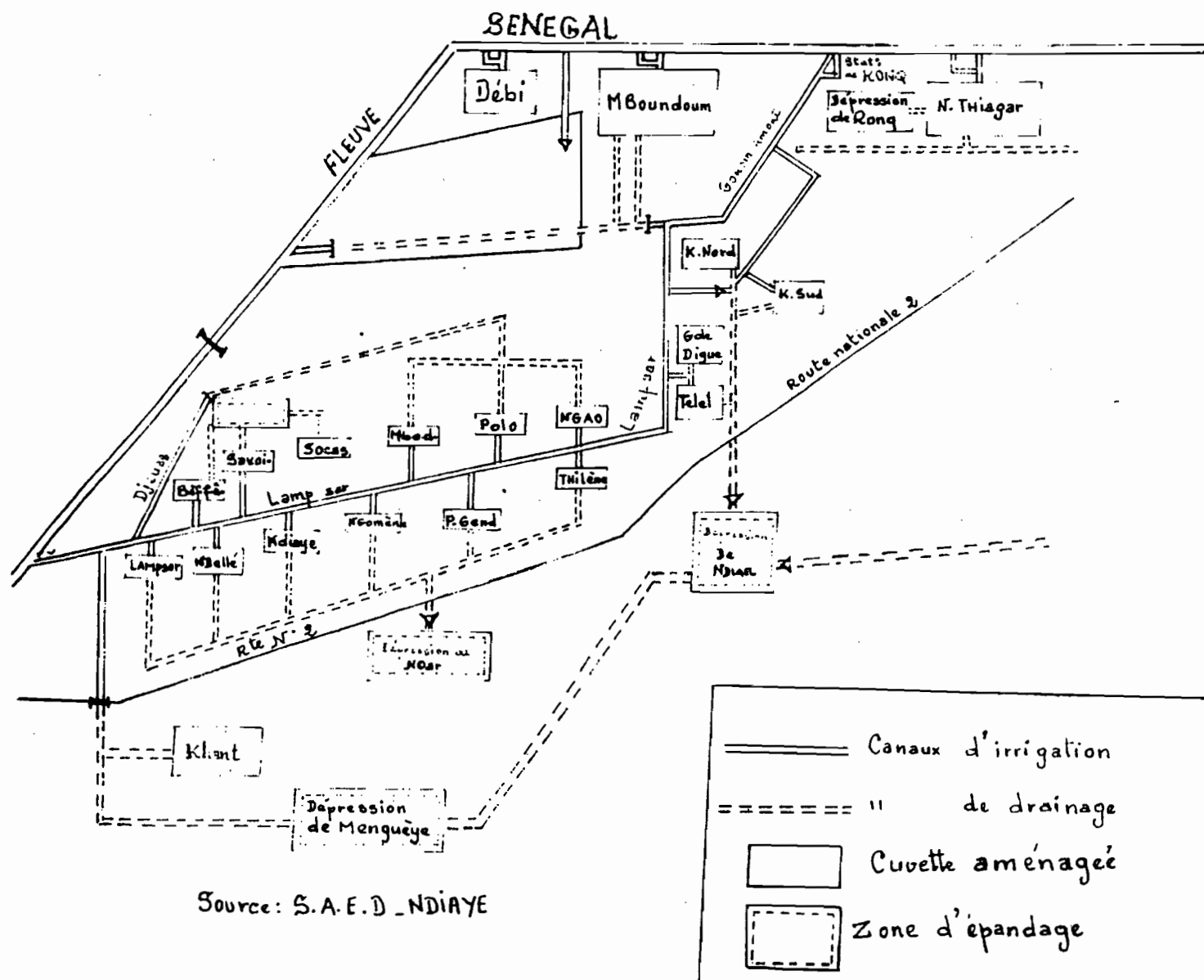


Fig:17 Localisation actuelle des besoins
d'eau (m^3/s) Axe Gorom-Lampar

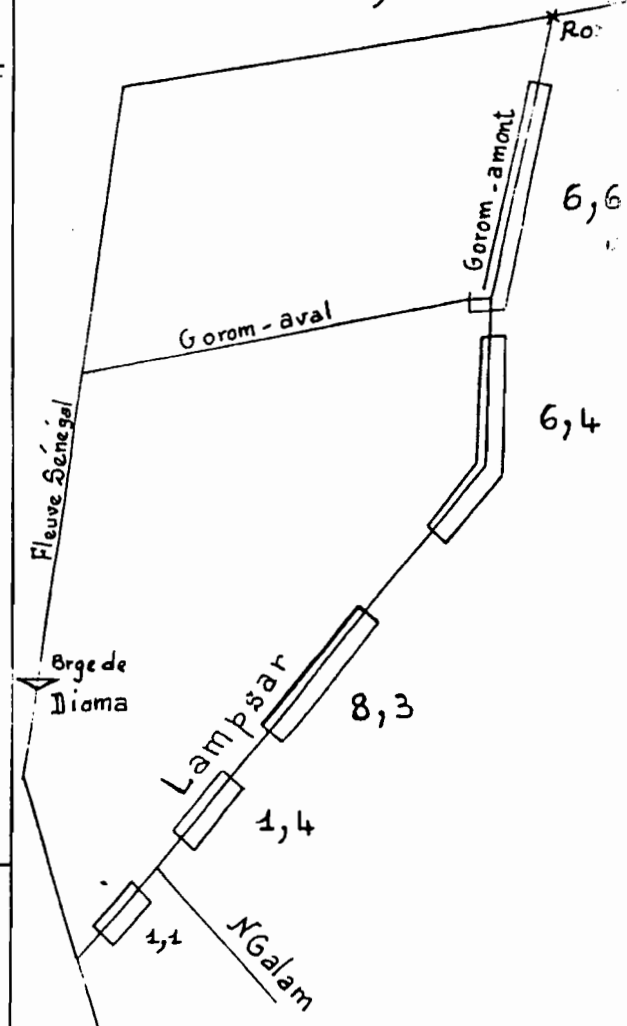


Tableau 12 : Rapports hauteur-volume (évolution des capacités de stockage de l'axe Gorom-Lampsar).

Cote IGN	VOLUME 10^6 m ³	
	1969	1984
- 1 m	4,22	3,96
- 0,5	7,84	6,76
0.00 m	13,05	12,59
+ 0,5 m	21,72	18,53
+ 1 m	26,63	25,74
+ 1,5 m	36,63	35,99
+ 2 m	49,64	49,57

N.B. : ces valeurs incluent une partie du Djeuss et du Ngalam (la réserve d'eau de Saint-Louis).

Au vu des données consignées dans le tableau 12, on peut dire que le mode de fonctionnement de l'axe qui a toujours prévalu permettait de réduire l'accumulation de sédiments dans le chenal. La synthèse numérique sur les rapports hauteur-volume, nous montre que c'est moins la baisse des capacités de stockage de l'axe que son envahissement par la végétation qui est à l'origine de la dégradation hydraulique.

Si on ajoute à ces problèmes la faiblesse des entrées d'eau en provenance de la prise de Ronq, on peut se faire une idée sur la gravité des difficultés rencontrées dans la gestion de l'eau dans ce bassin.

**Tableau 13 : Stations de pompage et puissances installées sur l'axe
Gorom-Lampsar par la S.A.E.D.**

Station de pompage	Nbre de pompes	Débit/m ³ /h/pompe	Débit cumulé m ³ /s	Alimentation en énergie	Observations
Station ppale de Ronq *	-	-	9	Moteur thermique	Elle sert exclusivement à remplir le chenal
Kassak Nord E	2	720 378	0,30	SENELEC	Irrigation
Kassak Nord F	2	1.800 378	0,60	"	"
Kassak Sud	4	1.400 X 4	1,55	"	"
Grande Digue - Tellel	3	5.400 X 3	4,5	"	"
NGao	3	728 X 2 367	0,51	"	"
Polo	4	918 X 2 738 667	0,81	"	"
Mbodiène	4	918 X 3 367	0,86	"	"
Tilène	3	738 367 X 2	0,40	"	"
Pont Gendarme	3	918 X 2 738	0,71	"	"
NGomène	3	918 X 2 738	0,71	"	"
NDiaye	3	918 367 X 2	0,45	"	"
NDellé	3	918 738 367	0,56	"	"
Lampsar	2	918 367	0,35	"	"
Bifflèche	3	918 X 2 367	0,61	"	"
Total	42		12,82		

* La station de pompage de Ronq n'entre pas dans le calcul

Toutes ces difficultés ne font que renforcer le caractère hypothétique de l'avenir de la culture irriguées dans ce cadre géographique. D'autant plus que rien ne semble être fait depuis des années pour régler le problème de l'ajustement entre les stocks d'eau disponibles en Juillet-Août (début de l'irrigation pendant l'hivernage) et les sollicitations dont fait l'objet le chenal, exprimées en m³/s dans le tableau 13.

Au total, les aménagements hydro-agricoles avec les problèmes auxquels ils sont confrontés, l'évolution spatio-temporelle des caractéristiques physiques et chimiques des eaux et le colmatage du chenal montrent que le milieu physique a un impact négatif sur l'hydrologie du bassin de l'axe Gorom-Lampsar. Ce qui rend de plus en plus aléatoire la gestion de l'eau et du même coup, hypothèque l'avenir de la riziculture si des efforts soutenus ne sont pas faits pour une meilleure harmonisation des politiques d'aménagement et de gestion de ce bassin.

CONCLUSION GENERALE

Le travail d'études et de recherches que nous terminons par cette présente conclusion nous offre l'occasion de constater que parmi les facteurs du milieu physique du bassin de l'axe Gorom-Lampsar, le climat est assurément très déterminant dans les rapports eau-qualité de l'environnement.

Par les pluies faibles qui le caractérisent, le climat renforce la dépendance de l'axe vis à vis du fleuve Sénégal pour son alimentation en eau.

Par l'évaporation, il tire au bassin plus que les pluies en apportent annuellement. Mais également par les vents qui animent une dynamique érosive sur tout le matériel meuble du bassin, il joue un rôle décisif dans le transport et l'accumulation de sédiments dans le chenal.

L'étude des caractéristiques géomorphologiques du bassin nous a permis de savoir que les levées, les dunes et les cuvettes constituent un énorme réservoir de sédiments, parce que très mal protégées en raison de la faiblesse du couvert végétal durement entamé par une sécheresse persistante depuis 1968.

La végétation dans le chenal nous a intéressé à plus d'un titre en ce sens qu'elle favorise, par son "effet de peigne", le dépôt et l'accumulation de sédiments dans le fond du lit.

Afin de transformer le système naturel en ressources, l'homme est intervenu dans le bassin, a modifié les conditions hydrologiques et a fait du chenal un phénomène hydraulique dans l'espoir d'en tirer les meilleurs profits.

Cette artificialisation de l'axe a provoqué un changement dans le régime hydrologique.

Désormais, la maîtrise de l'eau semble acquise en raison du mode de fonctionnement de l'axe.

Toutefois, la multiplication des ouvrages actifs a produit des effets non désirés qui sont la conséquence de la faiblesse du courant d'eau et le fait que l'axe est devenu un grand réservoir qu'on remplit et qu'on vide suivant les possibilités qu'offre la crue.

La faiblesse du courant favorise la décantation de la charge solide des eaux qui évoluent en circuit fermé, et anéantit la dynamique du chenal. La conséquence d'une telle situation est l'accumulation évolutive de sédiments donc le colmatage de l'axe. Lequel colmatage a favorisé l'envahissement du chenal par la végétation qui, à son tour, renforce par son "effet de peigne" la sédimentation. Ce qui s'est traduit par une relative baisse des capacités de stockage du chenal.

Cependant, quand on y regarde de plus près, c'est moins la baisse des capacités de stockage que l'envahissement du chenal par les herbes qui est plus préoccupant. Car la végétation, d'abord, participe à l'étranglement de l'axe et ensuite peut influencer qualitativement les eaux. Cette végétation a rendu plus préoccupante la dégradation hydraulique de l'axe, parce qu'elle peut constituer un véritable bouchon rendant difficile la progression des eaux venant du fleuve Sénégal. La meilleure illustration de cette situation quand même malheureuse pour bon nombre d'utilisateurs de l'axe, nous a été donnée cette année au mois de Septembre. En effet le remplissage du chenal n'a pu démarrer normalement en raison de l'impossibilité des eaux en provenance du fleuve de traverser la partie de l'axe située entre Boudoum et la station de pompage de Grande Digue. Certes, cette situation a été accentuée par la faiblesse des débits d'entrée, d'où la nécessité d'ouvrir le barrage de Makhana. L'influence de la végétation s'exerce également sur

la qualité de l'eau. En ce sens que cette forte présence végétale dans le chenal peut favoriser des phénomènes de sous-saturation en oxygène dissous. De même que l'humus présent dans le fond du lit peut être à l'origine de beaucoup d'échanges en même temps, transformer les sulfates en sulfure au moment où la baisse du niveau de l'eau, par suite d'une importante évaporation, augmente les concentrations en substances dissoutes, et facilite la pénétration des rayons solaires. Jusque sur les sédiments de fond. Cela dit, les effets combinés de l'évaporation et de la sédimentation jouent un rôle très important dans l'évolution spatio-temporelle de la nature physico-chimique des eaux.

Enfin, les problèmes liés aux aménagements hydro-agricoles sont venus s'ajouter à toutes les difficultés qu'on rencontre dans la gestion des eaux de l'axe.

La localisation actuelle des besoins en eaux pour les aménagements pose un problème d'ajustement entre les entrées et les sorties. L'exemple le plus parfait a été enregistré cette année, au moment du démarrage de la culture irriguées de saison d'hivernage. En ce sens que, en rapport avec les faibles débits d'entrée, les prélèvements pour l'irrigation en amont de l'axe n'autorisent presque plus la possibilité de voir les eaux en provenance de la crue, rentrer correctement dans l'ensemble du chenal.

Par ailleurs, l'étude de la nature physico-chimique des eaux semble montrer que l'artificialisation du chenal, par suite d'importants ouvrages actifs, a des repercussions sur le bilan hydro-chimique de l'axe. En ce sens que nous n'avons pas remarqué une régularité dans la distribution spatiale des paramètres entrant dans la minéralisation des eaux. Tout semble indiquer que les ouvrages de barrage ont divisé l'axe en trois biefs indépendants, et subissant d'une manière individuelle les intempéries de la nature.

L'espoir suscité par l'introduction et la généralisation de l'aménagement tertiaire par la S.A.E.D. est entamé par la dégradation hydraulique de l'axe et les installations anarchiques des périmètres irrigués privés dans le bassin. D'où la nécessité de redynamiser les politiques d'aménagement et de gestion de l'eau. Car la répartition actuelle des besoins en eau sur l'ensemble du bassin, pose un problème d'ajustement entre les débits d'entrée à la station de Ronq et les prélèvements dans le bief amont.

Afin de trouver une solution définitive au problème relatif au colmatage du chenal par les sédiments d'origines diverses, il faudrait, à côté du lessivage qui est une phase importante dans le fonctionnement de l'axe, procéder d'une manière systématique au curage et au désherbage du Gorom-Lampsar. A l'état actuel des choses, une opération de désherbage pourrait améliorer sensiblement la situation.

Même dans l'espoir de voir, la situation hydrologique du Gorom-Lampsar s'améliorer avec l'exploitation optimale de la retenue de Diama, on doit chercher à réduire les pertes d'eau dans le bassin en général et le chenal en particulier, par suite d'une importante évaporation. Pour cela, il semble nécessaire de créer des brise-vents parallèles à l'axe.

Toutefois, il faut s'assurer que ces plantes formant des haies vives ne consomment pas beaucoup d'eau aussi bien pour leur croissance que pour leur survie. Les Euphorbes ne rempliraient-elles pas normalement la fonction de brise-vents, mais aussi s'opposer à l'entrée d'une bonne partie du matériel éolien dans le chenal ?

BIBLIOGRAPHIE

- AUDIBERT M. (1970) "Delta du fleuve Sénégal. Etude hydro-géologique. IV : drainabilité". Rapport de mission. Saint Louis, 1970.
- BRASSEUR G. (1970) - "Le problème de l'eau au Sénégal" Ed. Swets et Zeitlinger. Amsterdam. 99 pages.
- BURKER T. (1981) - "Maîtriser l'eau, la richesse la plus précieuse pour l'homme". UNESCO. Information n° 767, pp. 1-6.
- DIA A. (1986) - "Les aspects de la gestion des ressources en eau dans le Delta du fleuve Sénégal". Thèse de 3° cycle. Université Paul Valéry, Montpellier II. 196 pages.
- DIAGNE P.S. (1974) - "Le Delta du fleuve Sénégal. Problèmes de développement". Thèse de 3° cycle. Economie régionale et aménagement. Paris I. pp. 5-122.
- DIAKHATE M. (1988) - "Ecodynamique des milieux et effets d'impact potentiels du barrage de Diama dans le delta du fleuve Sénégal". Thèse de Doctorat. Lyon, Juillet 1988.
- FRECAUT R. (1982) - "Hydrologie et dynamique fluviales des régions chaudes et humides des basses latitudes". Ed. Université Nancy II. 147 pages.
- FURON R. (1963) - "Le problème de l'eau dans le monde. Importance biologique de l'eau". Ed. Payot, Paris 251 pages.
- GUILCHER A. (1979) - "Précis d'hydrologie marine et continentale". Masson, 2° édition. Paris, New York, Barcelone. 344 pages.

- GUYOT C. (1974) - "L'hydrologie". Que sais-je ? n° 884. 3^e édition. PUF. Paris,, 126 pages.
- HARTMAN L. et all. (1987) - "Evaluation environnementale intégrée du développement des ressources en eau : directives méthodologiques". PHI - PNUE - UNESCO. pp. 12-62.
- KANE A. (1985) - "Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particulaire. Invasion marine dan la basse vallée du fleuve". Thèse de 3^e cycle. Université Nancy II. 205 pages.
- KHALIFA O. (1978) - "Bassin du fleuve Sénégal : étude des aspects climatologiques du bassin pendant trois ans. Esquisse de la démarche à suivre". S.A.E.D., 1978, 30 pages
- LACOSTE A. et SALANON R. (1986) - "Eléments de biogéographie et d'écologie". Ed. Nathan. Poitiers, 183 pages
- LE BORGNE J. (1988) - "La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. Département de Géographie. ORSTOM - Dakar.
- LEROUX M. (1983) - "Le climat" In Atlas Jeune Afrique : Sénégal. Edition J.A., 1983, pages 12-17.
- LOUP J. (1974) - "Les eaux terrestres - hydrologie continentale". Ed. Masson. Paris. 171 pages.
- LUYER J. Y. et DIALLO M.A. (1979) - "Notes sur les sols et les nappes de la cuvette de Ndelle-Noiaye (vallée du Lampar - Région du fleuve Sénégal). ORSTOM/SAED.
- MARCHE-MARCHARD J. (1983) - "Le monde végétal en Afrique intertropicale". Ed. de l'école. Paris. pp. 23-30.
- M.A.S. (1959) - Carte au 1/50.000^e de la vallée et du delta

du fleuve Sénégal". Archives de la M.A.S.

- MBODJ A. (1978) - "Le bassin du fleuve Sénégal. Etude géographique". Thèse de 3^e cycle. Lettres. Université de Dakar. 268 pages.

- MICHEL P. (1973) - "Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique". Thèse, Strasbourg. ORSTOM. Paris, 752 pages.

- NDIAYE A. (1978) - "Les vallées du Lampsar-Djeuss (Sénégal) : le milieu naturel dans ses rapports avec l'aménagement rural". Thèse de 3^e cycle. Strasbourg. 198 pages.

- OLIVERY J.C. (1982) - "Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert". Cah. ORSTOM, Service hydrologique. XX. 1 pp. 47-70.

- O.R.S.T.O.M. (1967) - "Monographie hydrologique du fleuve Sénégal". 2^e partie : analyse des éléments du régime hydrologique. 108 pages, 45 fig.

- REMENIERAS G. (1960j) - "Eléments d'hydrologie appliquée" Que sais-je ? n° 43. Paris pp. 101-104.

- ROCLETTE C. (1974) - "Le bassin du fleuve Sénégal. (Monographies hydrologiques). I. ORSTOM. Paris, 391 pages.

- RODIER J.A. (1960) - "L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Eau naturelles. Eaux usées. Ed. Dunod. Paris. 188 pages.

- RODIER J.A. (1975) - "Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel tropical africain". ORSTOM, Paris, 121 pages.

- S.A.E.D. (1989) - "Plan directeur de développement intégré pour la rive gauche de la vallée du Sénégal. Schéma directeur du Delta". Annexe C : schéma hydraulique. Gersar. CACG. Tarbes. F. - SAED, Juin 1989, 92 pages.

- SALL M.M. (1982) - "Dynamique et morphogénèse actuelles au Sénégal occidental". Thèse d'Etat. Strasbourg, 1982.

- S.C.E.T. (1969) - "Aménagement du delta du Sénégal : synthèse hydraulique du fonctionnement de l'axe Gorom-Lampsar. Décembre 1969, 136 pages.

- S.E.D.A.G.R.I. (1970) - "Etude hydro-agricole du bassin du fleuve Sénégal. Etude pédologique. Résumé et conclusions générales". Paris, 106 pages.

- SUNDBORG A. (1986) - "Problèmes d'érosion, de transport solide et de sédimentation dans les bassins versants". Dir. publication W.R. White P.H.I. UNESCO, 1986, pp. 37-70.

- TRICART J. (1954) - "Aspects géomorphologiques du Delta du Sénégal". Rev. de Géomorphologie dynamique, n° 4, pp. 112-137.

- U.N.E.S.C.O./O.M.M. (1987) - "Aspects hydrologiques des sécheresses". Etudes et rapports d'hydrologie. P.H.I. Paris, pp. 7-25.

- U.N.E.S.C.O./B.C.E.O.M. (1982) - "Water management : Gestion de l'eau. Aspects fondamentaux". Travail collectif. Paris. 72 pages.

- U.S.A.I.D./D.A.T. (1985) - "Cartographie et télédétection des ressources de la république du Sénégal". pp. 7-63.

- VAILLANT J.R. (1977) - "Accroissement et gestion des ressources en eau". Ed. Eyrolles. Paris, 246 pages.

ABREVIATIONS

C.N.R.A. : centre national de recherche agronomique

C.N.D. : Comité régional de développement

I.G.N. : Institut Géographique National

I.S.R.A. : Institut sénégalais de recherche agricole

O.M.V.S. : Organisation pour la mise en valeur de la vallée du Sénégal

O.R.S.T.O.M. : Office de recherche scientifique et d'outre-mer

S.A.E.D. : Société nationale d'aménagement et d'exploitation des Terres du Delta du fleuve Sénégal et des vallées du Sénégal et de la Falémé.

S.O.C.A.S./S.N.T.I. : Société nationale de tomates industrielles

S.C.E.T. : Société centrale d'équipement du terroir

T.E.R. : Travaux d'étude et de recherche.

LISTE DES FIGURES

1 - Carte de situation

2 - Variations interannuelles des pmm à Saint Louis, Ndiol, Richard-Toll (1979-1989).

3 - Fréquences moyennes en pourcentage de la direction du vent au sol à la station de Ndiol (1987-1989)

4 - Balancement du F.I.T.

5 - Courbes des températures. Station de Ndiol (1982-1989)

6 - Humidité relative moyenne mensuelle (1985-1988) à Ndiol. Ross-Bethic et Richard-Toll.

7 - Station de Ndiol. Evaporation moyenne mensuelle. Bac (1981-1989)

8 - Profil transversal de la végétation du Gorom-amont à l'Est de Boundoum

8bis-Profil longitudinal de la végétation du Lampsar à Ross-Bethio

9 - Réseau hydrographique et sens de l'écoulement des eaux

10 - Hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique. Station de pompage de Grande Digue.

11 - Hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique de la station de Ndiol (1985-1988)

12 - Agencement schématique des stations de prélèvement de sédiments du lit de l'axe Gorom-Lampsar.

13a- Séquence latérale d'échantillonnage de sédiments.

13b -Diagramme des textures en coordonnées trilineaires (d'après Duchaufour).

14 - Profils en long du Gorom-amont (1969 ; 1988)

15 - Localisation des points d'échantillonnage d'eau sur l'axe Gorom-Lampsar

16 - Techniques d'aménagement. S.A.E.D.

16b- Cuvettes aménagées en tertiaire par la S.A.E.D. dans le delta du fleuve Sénégal.

17 - Localisation actuelle des besoins d'eau (m³/s). Axe Gorom-Lampsar.

LISTE DES TABLEAUX

1 - Pluviométrie moyenne mensuelle (mm) à la station de Ndiol (1979-1989)

2 - Variation spatio-temporelle de la pluviométrie (1984-1989)

3 - Vitesses moyennes mensuelles du vent au sol (m/s) à la station de Ndiol (1987-1989)

4 - Amplitudes thermiques mensuelle et annuelle à Ndiol

5 - Vitesse de l'écoulement

6 - Analyse granulométrique et texturale des sédiments du bassin de l'axe Gorom-Lampsar

7 - Résultats analytiques des eaux. Juin 1990 (Gorom-Lampsar)

8 - Résultats analytiques des eaux. Septembre 1990 (Gorom-

lampsar)

9 - Rapports caractéristiques

10 - Evolution en % de la saturation en oxygène dissous

11 - Superficies aménagées dans le bassin de l'axe Gorom-Lampsar

12 - Rapports hauteurs-volume (évolution des capacités de stockage de l'axe Gorom-Lampsar)

13 - Stations de pompage et puissances installées sur l'axe Gorom-Lampsar.

s

co

ANNEXE

Période de culture Paramètres de l'irrigation	Saison d'hivernage						Contre-saison chaude					
	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	TOTAL	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	TOTAL
E.T.P. (MM)	106,5	170	160	190	80	706,5	55,7	230	250	260	120	945,7
Kc ** *	0,73	1,2	1,2	1,25	1	-	0,73	1,2	1,2	1,25	1	
E.T.M. (mm)	78	204	192	237,5	80	791,5	62,5	276	300	325	120	1.083,5
Imb. Submersion (mm)	206	69	-	-	-	275	225	75	-	-	-	300
Infiltration (mm)	60	124	120	124	60	488	60	124	120	124	60	488
Pluie efficace (mm)	25	128	81,5	24	-	258,5	-	-	-	-	-	-
Besoins théoriques (mm)	319	269	230,5	337,5	140	1.296	347,5	475	420	449	180	1.871,5
Efficiencie (%)	← 74 % →						← 74 % →					
Besoins réels (mm)	430,65	363,15	311,17	455,62	189	1.749,5	449,12	641,25	567	606,15	243	2.526,5
Nbre d'heures irrigation/jour	← 24H/24 →						← 24H/24 →					
D.F.C.* (1/s/ha)	3,5	1	1,2	1,7	1,4		3,8	2,1	2,2	2,3	1,8	
D.M.P.** (1/s/ha)	-	1,9	2,4	3,4	2,9		-	3,1	3,3	3,4	2,8	

* D.F.C. : débit fictif continu

*** Kc : coeff. cultural

** D.M.P. : débit maximum de pointe

Source : Projet Irrigation IV. S.A.E.D.

DOCUMENT II : Chronogramme des activités culturelles (cycle long)

81

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Durée cycle irrigation
Riz d'hivernage							S						120 jours
Riz de contre saison chaude		S											120 jours

Observations : - au niveau du bassin de l'axe Gorom-Lampsar, le riz est semé à la volée;
le repiquage est inexistant
- début des irrigations (imbibition - submersion) à partir du 15.
- S : semis

DOCUMENT III : Prélèvements sur le Gorom-Lampsar pour des besoins non agricoles

82

Prélèvements par Volume	SONEES	Populat.	Bétail			
			Bovins	Ovins	Avins	Caprins
m ³ /jour	9.000					
1/hab/jour		50				
1/tête/jour			30	6	15	6