

(B) DDC-20.54 11589

ETUDE HYDRO-AGRICOLE
DU BASSIN DU FLEUVE
SENEGAL

RAF 65/061

- UTILISATION des EAUX du SENEGAL -

Février 1974

J. CHAUMENY
Agro-économiste

"Le présent rapport n'a pas encore été approuvé par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture qui ne partage donc pas nécessairement les opinions qui y sont exprimées".

- RAPPORT SUR L'UTILISATION DES EAUX DU SENEGAL -

Pour répondre aux désirs de la Commission Technique du ~~Conseil~~ des Ministres de l'O.M.V.S, le Secrétaire Général a demandé au Projet d'Etude Hydro-Agricole dans sa lettre n° 00561 du 27 Novembre 1973 de rédiger un rapport sur l'utilisation de l'eau du fleuve Sénégal tenant compte à la fois des aspects agricoles, des aspects de la navigation et des aspects de la production d'énergie.

Le présent rapport répond à cette demande.

Comme les grandes lignes du rapport de l'expert juridique N. PARNALL sont maintenant connues on en a tenu compte dans la rédaction de cette étude.

UTILISATION ACTUELLE.

Les statuts de l'O.M.V.S s'inspirent de la théorie de la communauté des eaux et toute décision concernant une modification du régime du fleuve doit être prise à l'unanimité. En conséquence, chaque modification devra donner lieu à un accord précis. Les principes généraux compatibles avec la théorie de la communauté comme le principe d'équité, le principe de compensation, le principe du maintien des utilisations actuelles, devront toujours être interprétés en fonction de situations techniques nouvelles.

Le principe le plus général est que l'utilisation actuelle pourra être poursuivie à moins que de nouveaux facteurs permettent de montrer qu'il est plus avantageux de changer d'utilisation. Il nous faut donc d'abord dresser un tableau des utilisations actuelles.

1°) UTILISATIONS ACTUELLES TRADITIONNELLES :

- Agriculture :

Seule la partie alluviale de la vallée sera touchée par les aménagements futurs. Sa surface représente environ 1,1 million d'ha dont 368.000 ha

.../...

dans le Delta, 705.000 dans la Vallée du Sénégal et 43.000 dans la Vallée du Gorgol.

La culture pluviale n'y est pratiquée qu'exceptionnellement sur fondé dans la basse et la moyenne vallée car il faut à la fois une pluviométrie abondante et une crue faible à moyenne. Dans la haute vallée entre MATAM et BAKEL cette utilisation est moins rare et entre BAKEL et BAFOULABE la mince bande de berge est habituellement cultivée.

L'essentiel des cultures de la vallée se fait en décrue, soit sur les berges du fleuve (falo), soit dans les cuvettes (cultures de oualo).

Les surfaces cultivées en fallo sont assez faibles, de l'ordre du millier d'ha, mais leur rôle est essentiel pour l'alimentation des populations puisqu'on y cultive des légumes et souvent du maïs.

La détermination des surfaces cultivées en oualo est délicate car elle dépend de facteurs humains et de facteurs physiques.

- Du côté du facteur humain il faut rappeler que les cultures de décrue sont complémentaires des cultures pluviales de diéri dans une économie de subsistance. Si les récoltes de diéri sont importantes, le paysan cultivera moins en oualo et inversement. Il n'y a pas d'incitation économique réelle à produire plus que la subsistance. Les cycles de la pluie et de la crue n'étant pas accordés, il arrive que la main d'œuvre familiale soit occupée entièrement par les cultures de diéri au moment favorable pour les semis de oualo qui sont alors négligés. Même si la main d'œuvre est disponible pour le oualo, les surfaces ensemencées ne peuvent excéder la capacité de travail de la famille, les goulots d'étranglement étant le semis en cas de décrue rapide, et le sarclage en cas de poussée des mauvaises herbes. La surface cultivable par actif varie de 0,40 à 0,70 ha.

La répartition géographique de la population joue aussi un rôle. La densité est faible dans l'ensemble de la vallée, mais il y a quelques zones

.../...

où s'exerce une véritable pression démographique sur les terres, qui dans ce cas, sont cultivées au maximum des possibilités.

- Les facteurs physiques sont tout aussi nombreux et sans corrélation entre eux. La hauteur et la durée de la crue, la date et la rapidité de la décrue ont une importance relative qui varie selon le type de crue. La superficie inondée change chaque année. Il résulte de tout ceci que la surface comme la localisation des cultures de oualo peut varier chaque année. D'une manière schématique on cultive dans les cuvettes un "anneau" qui peut occuper le fond de la cuvette par crue faible à moyenne et le haut de la cuvette mordant parfois sur le fondé par crue forte à très forte.

On ne dispose donc pas pour régler les problèmes juridiques d'utilisation des eaux des bases habituelles que sont les volumes ou les débits, les surfaces localisées, le partage des eaux. Parler de droits pour une activité aussi aléatoire n'a pas de sens précis. Tout ce que l'on peut demander c'est :

• Le maintien des conditions naturelles des cultures de décrue. Mais comme tout aménagement entraîne des changements des conditions naturelles, il faudrait que ces changements :

- évitent d'aggraver les conditions naturelles
- améliorent si possible les conditions naturelles.

En cas d'aggravations inévitables on est en droit de demander le rétablissement de conditions équivalentes de production ou une compensation.

Il faut noter que par deux fois déjà les Etats de l'O.M.V.S ont eu à se prononcer sur ces principes juridiques :

- En demandant qu'une des fonctions du barrage de MANANTALI soit l'amélioration des cultures de décrue.
- En choisissant la cote de retenue du barrage du Delta à 1,50 m pour éviter l'aggravation des conditions naturelles dans les cuvettes susceptibles d'être submergées si la cote de la retenue avait été plus élevée.

.../...

Pour essayer de sortir de ces incertitudes le Projet Régional d'Etude Hydro-Agricole a effectué plusieurs études qui se recoupent avec une très bonne approximation.

a) - La documentation de base comprenait l'enquête exhaustive de la MISOES basée sur des reconnaissances au sol ;

- des enquêtes partielles au sol faites pour les études du barrage de DAGANA ;

- des enquêtes statistiques partielles établies par sondages par l'Administration sénégalaise sans vérification exhaustive au sol.

A partir de ces statistiques, contestables, une étude de la M.A.S avait voulu établir une corrélation entre la hauteur de la crue et les surfaces cultivées en décrue mais basée sur trois points seulement, les résultats se sont révélés très fantaisistes ; malheureusement faute d'autres études ces chiffres figurent dans beaucoup de documents officiels. Rappelons les :

• Très forte crue 250.000 ha, crue moyenne 120.000 ha, crue très faible 30.000 ha. La MISOES pour une crue moyenne/forte citait 125.000 ha.

b) - L'étude pédologique menée par le Projet REG 65/061 a permis de localiser et de mesurer les surfaces qui sont inondées suffisamment longtemps pour que la pédogenèse hydrique, la seule active, se manifeste. Le degré d'hydromorphie des sols est en relation avec la fréquence et la durée de la crue.

Le tableau ci-joint (page 5) résume ces différentes données pour la Vallée (Gorgol compris) en amont de ROSSO. Comme la pédogenèse sur le relief actuel s'est exercée depuis plus de 1.000 ans on dispose d'une véritable statistique des surfaces inondées.

Il y a en moyenne près de 500.000 ha d'inondés mais la sécurité en période sèche n'existe que pour moins de 300.000 ha. C'est ce que nous appellerons "zone de sécurité". Elle correspond à ce qu'on a appelé hollaldé dans

.../...

REPARTITION DES TYPES DE SOLS EN FONCTION DE LA CRUE DANS LA VALLEE

Crue	Fréquence	Submersion Durée	Surface ha	Type de sol	Plan de culture
très forte	très rare	très faible	185.000	I - peu évolué d'apport hydromorphe pur	F
forte	rare	faible	26.100	+ quelques pseudogley	F
	peu fréquente	faible à moyenne	53.900	dominant + pseudogley	F
moyenne	fréquente habituelle	moyenne/courte	115.000	pseudogley dominant	FH
	habituelle	moyenne	1.900	vertique	FH
	habituelle	moyenne/longue	39.600	II - pseudogley à concrétion et à tache pure	FH
	presque toujours	moyenne à longue	5.100	+ peu évolué vertique	FH
		peu longue	43.800	+ vertisols topomorphes	H
faible	toujours s/except.	longue	600	+ gley de surface et d'ensemble	H
	toujours " "	longue	1.200	+ gley salé	/
	toujours " "	assez longue	210.000	III - vertisols topomorphes	H
très faible	toujours	très longue	59.500	IV - gley de surface et d'ensemble	H
	toujours	très longue	3.300	V - minéral brut d'apport fluviatil	/
			745.000		
Surface inondée un certain nombre de jours					
<u>Résumé :</u>					
très faible - 62.800					
faible - 62.800 - 274.600					
moyenne - 274.600 - 480.000					
forte - 480.000 - 560.000					
très forte - 560.000 - 745.000					

l'établissement des plans de culture (1R, 2R, 2 v11.4 des cartes d'aptitudes culturales). L'anneau complémentaire pour arriver aux 500.000 ha correspond au faux hollaldé (2 à éléments moyen des cartes d'aptitudes culturales). Les sols de fondé (1 et 2 à élément grossier) représentent l'extention des crues fortes à très fortes.

Cette vue statistique et statique des zones de crue a été complétée par l'étude dynamique des crues par un modèle mathématique.

c) - Le modèle mathématique mis au point par la SOGREAH permet à chaque instant de connaître : le volume transitant en un point, la surface inondée et la hauteur aux stations limnimétriques. Les principaux résultats se trouvent dans les deux dernières études prévues :

- "Etude de la crue de 1970, de la crue de 1968 et des trois crues artificielles".
- "Etude des volumes ayant stationné dans le lit majeur du Sénégal (1950-1970)".

Le phénomène de la crue s'est révélé beaucoup plus complexe qu'on ne l'imaginait d'après les seules données hydrologiques. Chacune des 6 régions homogènes, qu'on a pu distinguer dans la Vallée, a sa propre crue. Il n'y a pas de relation simple avec la crue à BAKEL.

En modulant convenablement la crue à BAKEL on peut, avec des volumes très différents, obtenir l'inondation des mêmes surfaces pour l'ensemble de la Vallée. Par exemple une crue artificielle de 12 milliards de m^3 permet d'inonder le double de terres qu'une crue naturelle de même volume (1968).

Ce sont là des résultats très encourageants car ils montrent que l'utilisation du modèle mathématique permettra de moduler les crues et qu'avec un volume assez faible on pourra obtenir des inondations importantes.

.../...

Il restait à répondre à une question : quelles relations y-a-t-il entre les surfaces inondées et les cultures de décrue ?

Pour ce faire, le Projet a établi des cartes d'utilisation du sol.

d) - Cartes d'utilisation du sol :

Les cartes d'aptitudes culturales établies par la SEDAGRI comportent déjà beaucoup d'indications puisque sont indiquées : les forêts, les broussailles, la végétation de vétiver ou de graminées et les cultures. Cependant les variations annuelles des cultures et la nature des essences forestières ne sont pas indiquées. Aussi le Projet a fait procéder à deux inventaires : celui des forêts et celui des cultures de décrue.

Le premier a permis de préciser les surfaces occupées par les forêts de gonakiés, espèce qui a besoin d'inondation annuelle. Elles occupent 60.000 ha dans la "zone de sécurité" dont nous avons parlé.

Le second inventaire établi par observations aériennes, une fois les cultures mises en place, a été fait 4 années de suite. (1)

En 1970-71 l'inventaire a été exhaustif. Pour une crue faible ou faible/moyenne suivant les régions, les surfaces cultivées en décrue ont été en ha :

Rive droite :	47.700 (dont 7.000 dans le Gorgol)
Rive gauche :	60.800
Total	108.500

(1) JUTON-MUTSAARS : "Inventaire des superficies cultivées en décrue 1970-71"

JUTON : "Rapport technique de fin de mission" pour 1971-72

BENSOUSSAN-MUTSAARS : "Inventaire des superficies cultivées en décrue 1972-73"

HAMDINOU : "Inventaire des superficies cultivées en décrue 1973-74"

CHAUMENY : "Unités Naturelles d'Equipement - Utilisation des sols".

En 1971-72 l'inventaire a été fait entre PODOR et BOGHE pour une crue moyenne/faible. On a observé une augmentation des zones inondées de 30 % et des cultures de décrue de 20 % par rapport à l'année précédente :

Surfaces cultures de décrue entre PODOR et BOGHE

1970-71	23.185 ha
1971-72	27.915 ha

En 1972-73 la crue a été très faible. Pour l'ensemble de la Vallée on a inventorié :

15.000 ha

L'enquête 1973-74 donne des résultats voisins de 1970-71 avec une crue beaucoup plus faible : total Vallée

97.000 ha

Ces inventaires ont permis de préciser un certain nombre de points :

- Pour l'année 1970-71 on a pu établir les correspondances suivantes avec le modèle mathématique et les cartes pédologiques :

Surface maximum inondée	421.000 ha
Surface inondée 15 jours	393.000 ha
Surface inondée 30 jours	328.500 ha
Surface inondée 45 jours	246.500 ha
Surface inondée à la cote maximum des cultures de décrue	320.000 ha
Zone de sécurité pédologique	300.000 ha

On voit donc que les cultures de décrue se sont situées dans la "zone de sécurité" qui a été inondée 30 jours au moins.

- La répartition des cultures dans la "zone de sécurité" est très variable. Pour les 72 Unités Naturelles d'Équipement le taux d'utilisation du hollaldé se répartit ainsi :

.../...

Taux d'utilisation du hollaldé	1970-71	1971-72
≥ 75 %	13	15
50 % - 75 %	25	24
25 % - 50 %	28	27
≤ 25 %	6	6
	72	72

On retrouve les zones à forte densité signalées dans les enquêtes de la MISOES et de la CINAM.

- Sur l'échantillon PODOR BOGHE on a pu étudier en détail les effets de l'augmentation de la crue en 1971 par rapport à 1970.

Les surfaces cultivées augmentent peu dans les Unités à fort taux d'occupation, mais les bas fonds sont moins cultivés en 1971-72 qu'en 1970-71, ce qui confirme le phénomène de l'anneau de culture.

L'augmentation des surfaces cultivées est notable dans les cuvettes de la basse Vallée à relief peu accentué où une petite variation de la hauteur de crue entraîne une grande variation des surfaces inondées. Ces cuvettes sont à faible taux d'utilisation sans doute à cause du caractère plus aléatoire des cultures de décrue. Sur l'échantillon les surfaces cultivées ont augmenté de 20 %.

- En 1973-74 l'importance des surfaces cultivées en dépit de la faible crue s'explique par le fait que l'on a semé sur des terres qui ont été inondées moins de trente jours (en 1970 on a eu pendant 50 jours un débit de 2.500 m^3 à BAKEL, en 1973 on a eu un débit de 2.100 m^3 à BAKEL pendant 17 jours).

Les cultures de diéri ayant été mauvaises, les paysans ont utilisé au maximum les terres de décrue. On ne sait encore si les rendements ne seront pas diminués sur les sols inondés pendant peu de temps. Par rapport à 1970-71 la diminution de surface n'est que de 12 %. Bien que la fréquence de dépassement de la crue soit un paramètre trop grossier pour étudier une corrélation, on peut à titre indicatif dresser le tableau suivant.

.../...

Année de la crue	fréquence de dépassement	indice surface cultivée
1970	67-75 %	100
1971	52-65 %	120
1972	99 %	13
1973	90 %	88

Il restait une dernière vérification à faire : comparer les limites des cultures de 1971 et la carte d'utilisation des sols de la SEDAGRI. On constate que ces limites correspondent aux limites des forêts ou des zones à vétiver, la limite est plus difficile à observer pour les broussailles.

Ceci montre qu'en cas de crue plus importante les cultures ne pourraient s'étendre d'autant plus que les bas-fonds deviendraient inutilisables.

On peut donc estimer avec un fort degré de certitude que pour un très large éventail de crue les surfaces cultivées en décrue se situent entre 97.000 et 130.000 ha dans une "zone de sécurité" de 300.000 ha inondables régulièrement.

Cette estimation rejoint celle de la MISOES (125.000 ha). Donc en 15 ans malgré la pression démographique les surfaces cultivées en décrue n'ont pas augmenté. Cette limite physique montre que sans progrès technologique la Vallée ne produit que 50.000 t de sorgho assurant la subsistance de 450.000 personnes. Le maintien des cultures de décrue traditionnelles serait assuré par une crue inondant 30 jours au moins ces 300.000 ha et se retirant assez tôt pour permettre les semis en bonne période. Cette crue permettrait d'avoir la même répartition géographique de ces cultures qu'actuellement. Les deux Etats riverains sont concernés sans qu'il soit possible de dire lequel est le plus concerné.

- Forêt, élevage :

Dans la Vallée les peuplements forestiers servent à la fois au bois de feu et à la nourriture des troupeaux transhumant. A l'époque où ceux-ci arrivent dans la Vallée à la fin de la saison sèche, l'herbe a disparu,

sauf autour de quelques mares, et se sont les feuilles et les gousses qui sont mangées.

Dans les zones inondées chaque année on trouve des gonakiés (60.000 ha) exploités pour le charbon de bois. Dans les zones inondées irrégulièrement on a des peuplements forestiers très clairsemés (**difficiles à distinguer des broussailles proprement dites**) qui ne fournissent que du bois de feu.

En cas de changement du régime du fleuve le potentiel à conserver est celui des forêts de gonakiés qui se trouvent dans la "zone de sécurité". Les autres peuplements peuvent subsister sans pluie avec des crues brèves et irrégulières.

Donc le maintien du potentiel forestier et fourrager de la Vallée suppose les mêmes conditions que le maintien des cultures de décrue.

2°) LES AMÉNAGEMENTS ACTUELS :

Selon les indications du rapport de M. PARNALL nous comptons parmi ces aménagements ceux qui sont réalisés, en cours de réalisation ou simplement financés, (MATAM a été proposé au financement mais aucune réponse définitive n'a encore été donnée).

Ces aménagements modifient le régime du fleuve et leur maintien en fonctionnement impose certaines contraintes.

Tous les aménagements fonctionnent par pompage et certains comportent des endiguements. En voici la liste avec indications des extensions financées ou en voie de l'être :

.../...

	<u>Rive droite (ha)</u>		<u>Rive gauche (ha)</u>
M'POURIE	500 → 3.000 E SP	SAED	10.000 → 12.000 E SP
Petits périmètres	200 → 400 SP	Casier sucrier	3.000 → 12.000 E SP canal
BOGHE	1.000 → 4.000 E SP	Eau de DAKAR	SP
		DAGANA	2.700 E SP
		NIANGA	1.000 → 10.000 E SP
		GUEDE	200 → 800 E SP
		(MATAM)	800 → 7.000 E SP

Les villages riverains sont souvent endigués.

E = endiguement SP = station de pompage.

A) - L'effet général des endiguements est d'augmenter la hauteur de la crue et les surfaces inondées dans les parties non protégées. C'est ainsi que les endiguements (80 km) de la S.A.E.D augmentent l'effet des crues sur la rive droite du Delta. En dehors de ce cas les effets latéraux sont assez faibles, mais ce sont les effets amonts qui sont les plus importants.

Cet effet amont est maximum lorsque deux endiguements sont face à face, c'est notamment le cas pour l'endiguement de M'POURIE et son vis à vis de la S.A.E.D. Cet étranglement provoque un exhaussement de la crue amont qui a obligé à augmenter de 30 cm tous les endiguements amonts de DAGANA et NIANGA notamment. L'endiguement de NIANGA entraînera un sur-haissement de la digue de GUEDE. Cela entraîne des terrassements complémentaires dont le coût n'est pas négligeable. Pour NIANGA et DAGANA il n'y a pas de problème de droit puisque l'étranglement existait antérieurement. Pour GUEDE non plus puisqu'il s'agit du même pays.

Si l'on faisait les calculs, il apparaîtrait sans doute que les digues des 2 villes de ROSSO devraient être exhaussées. Dans ce cas il pourrait y avoir litige pour savoir qui devrait payer les travaux, mais vu le peu d'importance de ceux-ci il n'y a pas de crainte qu'un litige apparaisse.

B) - Les pompages et la remontée de la langue salée :

Les pompages des aménagements actuels n'ont pratiquement aucune influence sur le régime du fleuve pour des débits supérieurs à $300 \text{ m}^3/\text{s}$ à

.../...

BAKEL ou à MAKADIAMA. Pour des débits inférieurs ou entre période d'étiage caractérisée par une très forte diminution des débits à BAKEL et par la remontée de la langue salée dans le bas fleuve. Pendant cette période d'étiage on peut distinguer dans le fleuve deux biefs qui évoluent différemment mais sont interdépendants : un bief fluvial et un bief maritime.

a) . Le bief fluvial comprend le haut du fleuve jusqu'aux seuils de DIOULDE DIABE sur le Sénégal et de COGGA sur le Doué. L'influence de la marée ne se fait pas sentir.

La période d'étiage en amont de BAKEL est mal connue ; les débits mesurés à KAYES et à BAKEL ne concordent pas et il semble qu'il y ait des infiltrations entre KAYES et AMBIDEDI.

A partir de BAKEL les connaissances sont plus précises ; au-dessous du débit charnière de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ les débits à BAKEL décroissent selon une loi de tarissement puis d'épuisement indépendante de la crue précédente. Ce qui importe alors c'est la date d'apparition du débit charnière et la date d'arrivée de la crue. Plus le délai est long, plus les débits sont faibles.

De plus on observe que les débits d'aval sont plus importants que les débits d'amont par suite du phénomène de déstockage (vidange et restitution de la nappe phréatique). Les données de la fin d'étiage sont rassemblées dans le tableau suivant (en m^3/s) :

dates	BAKEL		MATAM		KAEDI		DIOULDE DIABE	
	Année médiane	Année décennale						
15 Mai	6	3	7	3,2	12	3,8	13	9
1er Juin	3,2	1,4	3,6	1,6	4,8	2,4	10	7,5
15 Juin	(1)	0,8	(1)	0,9	(1)	1,4	8	6

(1) En année médiane, au 15 Juin, la crue est déjà amorcée et l'étiage est terminé.

.../...

L'examen de ces chiffres montre les obstacles qui s'opposent au pompage pendant cette période.

Des prises trop importantes provoqueraient un arrêt de l'écoulement, on serait en dessous du "débit sanitaire" indispensable pour la sécurité des besoins en eau des populations et du bétail.

Les pompages sont d'ailleurs possibles que s'il existe des fosses dans le lit du fleuve.

Actuellement entre DIOULDE DIABE et DIOVOL quatre petits périmètres d'une centaine d'ha au total sont équipés pour pomper en toutes saisons. Le doublement de leur superficie est à l'étude.

Un projet-pilote de 800 ha à HATAM fonctionnant en double culture a été étudié et proposé au financement.

Pour assurer la sécurité des populations et des aménagements ci-dessus, il ne faudrait pas aménager d'autres pompages de fin d'étiage dans le bief fluvial en aval de BAKEL.

Si la portion de bief aux alentours de KAYES a une loi d'épuisement indépendante de celle des biefs avals on pourrait sans doute l'utiliser pour des pompages en étiage, mais rien ne permet d'affirmer cette indépendance et les utilisateurs d'aval sont en droit de demander le respect de la sécurité de leur population et de leurs aménagements.

Une notion technique devrait être précisée au plan juridique : celle de probabilité. Comme le montre le tableau, la situation est bien différente en année moyenne et en année de fréquence décennale. Si l'on parlait de fréquence centennale ou millénale les marges de sécurité seraient encore plus faibles. Un texte juridique devrait donc faire mention du degré de garantie exigé.

.../...

La question paraît assez claire pour la période de fin d'étiage, mais au début de l'étiage, de Novembre à Février, on a encore des débits importants entre 300 et 50 m³/s et on peut se demander s'il n'est pas possible d'utiliser ces débits.

Pour donner une réponse il faut étudier les relations entre le bief fluvial et le bief maritime.

b) - Le bief maritime :

Le bief maritime qui s'étend sur 380 km environ est alimenté en eau douce par le bief fluvial et il subit l'influence de la marée à son embouchure.

Au-dessous d'un certain débit le niveau du fleuve varie avec celui de la marée aussi il n'y a plus de mesure directe possible du débit.

Les variations de niveau dues à la marée représentent un volume de 10 millions de m³. Pendant la crue ce volume est fourni par le fleuve mais lorsque les débits diminuent c'est la mer qui fournit le volume et un coin salé pénètre dans le lit du fleuve. Cette pénétration augmente à mesure que les débits fluviaux diminuent et elle atteint son maximum au moment de l'arrivée de la crue dans la partie salée. Le front de crue étant assez "raide" le retour s'effectue rapidement dans la partie amont de la langue salée et de plus en plus lentement en approchant de l'embouchure.

Ce phénomène connu depuis toujours a été étudié systématiquement par M. ROCHETTE de l'ORSTOM en 1963/64. De nombreuses mesures ont été faites depuis.

Le Projet REG 65/061 a demandé à la SOGREAH de reprendre l'étude en incluant les nouvelles mesures.

En fait les mesures, soit de l'ORSTOM soit des différents services après 1963 ne sont pas assez précises pour permettre l'utilisation des modèles mathématiques d'intrusion du coin salé mis au point ces dernières années.

.../...

Les études de l'ORSTOM et de la SOGREAH arrivent aux mêmes conclusions en ce qui concerne la remontée de la langue salée jusqu'à un débit calculé à DAGANA de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant à un débit à BAKEL de $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le tableau suivant rappelle ces chiffres déjà bien connus :

Débit en m^3/s	Distance en km de l'embouchure	Position dans le fleuve
50	140	5 km à l'aval de ROSSO
100	115	DIAOUAR
150	90	KEUR MACENE
200	75	Amont de TIGUET
300	58	Partie Sud de l'île de TIENG

Pour un débit inférieur à $50 \text{ m}^3/\text{s}$ la corrélation débit/limite de la langue salée n'obéit plus aux mêmes lois. La remontée dépend non seulement du débit mais aussi du temps écoulé entre l'apparition du débit clé et l'arrivée de la crue, c'est donc le volume des apports d'eau douce qui semble l'élément essentiel.

M. ROCHETTE a établi des diagrammes à partir des observations de 1963 et il a établi des formules permettant de calculer les limites de la remontée pour chaque année.

Ce tableau a été complété jusqu'en 1973 et l'on s'aperçoit que pour les années 1972 et 1973 la remontée de la langue salée a été plus forte que ne l'indiquait le calcul théorique.

La SOGREAH a fait remarquer que les courbes ont été établies une année où le délai entre l'apparition du débit clé et celui de la crue était de 110 jours.

.../...

Lorsque les délais sont plus longs (150 jours en 1973) et les débits de fin d'étiage encore plus faibles, divers phénomènes, comme l'évaporation du bief maritime (11.000 ha) sans apports compensatoires, le profil en long du lit du floue et la difficulté de mesurer les bas débits, expliquent ces remontées supérieures aux prévisions.

La SOGREAH a donc modifié les courbes établies par M. ROCHETTE. Pour les délais supérieurs à 110 jours, la remontée sera beaucoup plus importante que ce que l'on avait cru jusqu'alors. On peut alors mieux interpréter les effets du pompage pendant l'étiage (Décembre-Février).

- Au début de l'étiage pour les débits de 300 à 50 m^3 tout pompage diminue le débit à DAGANA et accélère la remontée de la langue salée. Que ce pompage ait lieu dans le bief fluvial ou dans le bief maritime, l'effet est le même.

Le dommage sera ressenti dans les zones qui sont toujours atteintes par la langue salée en aval de RICHARD TOLL. Les périmètres de la S.A.E.D et de M'POURIE devront arrêter plus tôt leur pompage.

C'est pendant cette période que pourraient se situer les pompages de la C.S.S à RICHARD TOLL ou des pompages pour la double culture en amont de RICHARD TOLL. Ces derniers sont encore hypothétiques mais les pompages de la C.S.S ont lieu actuellement.

La capacité totale de pompage de la C.S.S est d'environ 30 m^3/s . La diminution correspondante du débit disponible pour repousser la langue salée entraînerait une remontée supplémentaire de 7 à 15 km pour un même débit à DAGANA. Mais ce pompage s'autolimite puisque la langue salée arrivera bien plus tôt à RICHARD TOLL et donc entraînera l'arrêt du pompage.

Lorsque le pompage s'arrêtera le débit naturel sera aux environs de 60 m^3/s et l'on se trouvera en amont de RICHARD TOLL dans la phase critique

.../...

de la décrue ; cette phase critique commencera avec 2 ou 3 semaines d'avance et finalement la langue salée remontera davantage et ce seront les aménagements en amont de RICHARD TOLL qui seront pénalisés.

Pour les années en cours 72-75 avant la fin des travaux de rectification de la TAOUEY on peut dire qu'il n'y a pas d'autre moyen pour assurer la sécurité de l'alimentation du casier de RICHARD TOLL et l'alimentation de la ville de DAKAR que de pomper dans le Sénégal entre Novembre et Février. Cela se fait principalement aux dépens de la S.A.E.D très peu aux dépens de M^{me} POURIE.

Après rectification de la TAOUEY le lac de GUIERS rempli par la crue naturelle pourra alimenter DAKAR et le casier de RICHARD TOLL jusqu'à 8.000 ha sans pompage. Si l'on veut étendre les superficies cultivées en canne à sucre au-delà de 8.000 ha le pompage de Décembre à Février sera utile en année sèche si aucun barrage n'existe.

À cette époque 1978-1980 la reprise des pompages à RICHARD TOLL peut causer un grave dommage au casier de DAGANA qui aura atteint son stade de plein développement.

Les effets des pompages amont hypothétiques au début d'étiage seront exactement les mêmes que ceux du pompage à RICHARD TOLL : gêne pour la S.A.E.D et M^{me} POURIE, danger grave pour DAGANA tant pour le périmètre que pour l'alimentation en eau potable des populations.

Ils risquent d'être pires car, alors que les pompages à RICHARD TOLL sont autolimitants, aucune limitation physique due au sel n'apparaîtrait. Il n'y aurait qu'une réglementation qui pourrait les interdire.

.../...

- En fin d'étiage :

Au-dessous d'un débit de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ à DAGANA, ce qui peut se produire entre le 20 Mars pour l'année médiane et le 27 Février pour l'année de sécheresse décennale puisque la remontée de la langue salée est liée au volume des apports d'eau douce dans le bief, tout prélevement modifiera ces apports et provoquera une remontée plus importante de sel.

Il est difficile d'établir une corrélation entre volume du prélevement et importance de la remontée supplémentaire. L'hypothèse minimalistre suppose que tout m^3 pompé est remplacé par de l'eau de mer. On admet que le volume moyen de 1 km de bief est de 3 millions de m^3 . Le volume global pompé pendant la période critique divisé par 3 donnerait la distance de la remontée supplémentaire.

L'hypothèse maximaliste suppose que chaque mois la remontée est proportionnelle au quotient des apports naturels et des apports résiduels après prélevements.

Une autre incertitude existe : c'est la manière de déterminer l'année médiane et l'année décennale pour l'intervalle de temps séparant l'apparition du débit charnière de 50 m^3 et l'arrivée de la crue ; ces deux phénomènes n'ayant aucun lien entre eux on est donc beaucoup moins armé pour déterminer les effets du pompage de fin d'étiage dans le bief maritime qu'on ne l'était pour déterminer ces effets dans le bief fluvial.

Malgré ces incertitudes l'O.M.V.S a proposé une interprétation la plus réaliste possible.

Deux principes ont guidé cette interprétation :

- rester dans les limites des apports naturels,
- préserver les droits existants.

.../...

Or il se trouve que ces droits sont juridiquement définis pour le périmètre de DAGANA. Les trois Etats de l'O.M.V.S ont donné leur accord pour la construction de ce périmètre et dans la convention de financement sur DAGANA, liant la Banque Mondiale et le Gouvernement du Sénégal, il est expressément demandé de garantir le fonctionnement du périmètre tel qu'il a été étudié pour pratiquer la double culture.

En l'état naturel on a observé des remontées de la langue salée au-delà des emplacements des stations de pompage, aussi il a été prévu la création d'un réservoir qui pourrait être rempli en Avril-Mai pour être utilisé en Juin au maximum de la remontée.

Ce qui est donc à garantir c'est la possibilité de remplir ce réservoir en Avril-Mai.

Les autres périmètres pouvant fonctionner actuellement en double culture : GUEDE et les petits périmètres rive droite (400 ha environ), sont exploités sans aucun accord juridique. C'est un état de fait à préserver si possible. Il est à noter d'ailleurs que le cycle choisi pour ces petits périmètres est le plus dispendieux puisque la totalité des prélevements de contre saison se fait pendant la période critique.

Pour éclairer le premier principe nous avons tenu compte des apports à l'entrée du bief maritime pour tenir compte des effets bénéfiques du déstockage. A titre indicatif nous avons indiqué les débits d'évaporation du bief maritime bien que l'on ne sache pas exactement la liaison entre débit d'apport et débit d'évaporation.

.../...

Dates	Débits à DIOULDE DIABE		Débits d'évaporation dans le bief maritime
	année médiane	année décennale	
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1er Février	82	50	
15 Février	58	40	8,7
1er Mars	46	32	
15 Mars	36	26	10,1
1er Avril	28	20	
15 Avril	22	16	11,1
1er Mai	17	12	
15 Mai	13	9	10,7
1er Juin	10	7,5	
15 Juin	8	6	9,8

On voit qu'à partir de Mars la marge est extrêmement faible et que toute prise après le 1er Mai ne sera plus compensée.

Pour calculer l'influence des prélevements sur la remontée de la langue salée nous avons procédé en deux étapes :

1) - Nous avons d'abord déterminé l'effet des aménagements existants : DAGANA + petits pérимètres.

Nous avons tenu compte du fait qu'en contre saison l'on doit compter sur des riz de 170 jours de cycle et non pas de 140.

Tableau des prélevements

Mois	DAGANA		Petits pérимètres		Total	
	10 ³ m ³	m ³ /s	10 ³ m ³	m ³ /s	10 ³ m ³	m ³ /s
Décembre	14.300	5,31			14.300	5,31
Janvier	9.514	3,55			9.514	3,55
Février	8.905	3,68	1.400	0,58	10.305	4,26
Mars	8.616	3,12	2.184	0,81	10.800	3,93
Avril	3.885	1,50	1.996	0,77	5.881	2,27
Mai	403	0,15	2.052	0,76	2.455	0,91
Juin	8.158	3,15	890	0,34	9.048	3,49
Juillet	13.962	5,20	300	0,12	14.262	5,32

.../...

Année médiane hypothèse minimalistre :

prélèvement du 14 Mars au 18 Juin	20 millions de m ³
remontée supplémentaire	7 km
remontée maximum naturelle	193 km de l'embouchure
nouvelle position	200 km

La station de BOKHOL (km 208) peut toujours fonctionner, la réserve est inutile.

Avec l'hypothèse maximaliste on obtient 201 km donc pratiquement les mêmes résultats.

Année décennale hypothèse minimalistre :

prélèvement du 20 Février au 30 Juin	30 millions de m ³
remontée supplémentaire	10 km
remontée naturelle 30/6	222 km de l'embouchure
nouvelle position 30/6	232 km

Il faut utiliser la réserve. Si l'on suppose que toute la consommation de Juin est mise en réserve en Mai, on aurait :

remontée supplémentaire	9 km
position naturelle 31/5	196 km
nouvelle position 1 31/5	205 km

Le pompage sera toujours possible en Mai et en début Juin. Dans l'hypothèse maximaliste la remontée est de 210 km au 31/5 le pompage sera possible en Mai.

2) - Dans une deuxième étape nous avons supposé que les 3 casiers pilotes fonctionnaient avec des riz de contre saison à 170 jours.* Nous avons pris en outre 2 hypothèses d'efficience de réseau : l'une de 71 %, l'autre de 87 %.

* Dans les schémas de principes détaillés des projets pilotes le cycle du riz de contre saison est plus court, l'efficience est de 87 %.

.../...

Prélèvement efficience du réseau : 71 %

	NIANGA	BOGHE	MATAM	TOTAL
	$10^3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}/\text{s}$			
Décembre	3.836	1,46	3.816	1,42
Janvier	3.644	1,35	3.728	1,37
Février	3.000	1,24	3.057	1,26
Mars	3.596	1,34	3.466	1,29
Avril	2.391	0,92	2.297	0,88
Mai	537	0,20	470	0,17
Juin	2.738	1,07	2.925	1,13
Juillet	5.200	1,94	5.194	1,94
			3.892	1,45
			14.286	5,33

L'on voit que ces extensions aboutissent pratiquement à doubler les prélèvements.

Le calcul des remontées supplémentaires est aisé dans l'hypothèse minimalistre.

Année médiane :

	efficience 87 %	efficience 71 %
prélèvement du 14 Mars au 18 Juin	15 millions de m^3	18 millions de m^3
remontée supplémentaire	5 km	6 km
position 1	200 km	200 km
nouvelle position 31/6	205 km	206 km

Pratiquement le pompage à BOKHOL pourrait toujours avoir lieu.

Année décennale :

	efficience 87 %	efficience 71 %
prélèvement du 20 Février au 30 Juin	22 millions de m^3	27 millions de m^3
remontée supplémentaire	7 km	9 km
position 1 30/6	232 km	232 km
nouvelle position 30/6	239 km	241 km

Les prélèvements jusqu'au 30/5 sont de 16 à 20 millions de m^3 entraînant une remontée de 5 à 7 km qui s'ajoutent aux 205 km de la position 1 ; la nouvelle position serait de 210 à 212 km. La station de BOKHOL serait atteinte par le sel le 28 et 26 Mai.

.../...

Pour faire les calculs avec l'hypothèse maximaliste, il faut totaliser la somme des prélevements de la phase 1 et de la phase 2 :

Prélèvements totaux - phase 1 et phase 2 :

	<u>efficience 87 %</u> 10^3 m^3	<u>efficience 71 %</u> 10^3 m^3	<u>efficience 71 %</u> m^3/s
Décembre	22.914	8,55	24.793
Janvier	17.861	6,66	19.682
Février	17.285	7,10	18.685
Mars	17.859	6,66	20.372
Avril	11.089	4,28	12.226
Mai	33.617	1,34	3.871
Juin	15.594	6,02	17.021
Juillet	25.991	9,70	28.548

En année médiane la remontée maximum serait de 211 km le 18 Juin. La station de BOKHOL serait atteinte le 14 Juin ; un faible usage de la réserve serait utile. Avec une efficience de 87 % la remontée est de 209 km.

En année décennale la remontée atteindrait 208 km le 20 Mai (E 71 %) ou 22 Mai (E. 87 %). Il serait encore possible de remplir la réserve.

Dans les études antérieures il avait été envisagé une extension de 600 ha de petits périmètres avec le cycle de GUEDE.

Dans ce cas la remontée de la langue salée serait supérieure de 3 km pour la méthode minimalistre et de 4 à 10 km pour la méthode maximaliste ; la garantie de fonctionnement de DAGANA se trouverait donc nettement diminuée.

Il est difficile d'exprimer juridiquement des résultats techniques qui reposent sur tant d'hypothèses.

Il s'agirait plutôt d'exprimer des recommandations et de signaler les points qui devraient donner lieu à de nouveaux compromis en cas de chan-

gement dans les données techniques.

Le texte suivant pourrait être proposé :

"Pour garantir les aménagements existants et permettre tout de même le démarrage de la double culture dans la vallée avant la construction d'un barrage,

il serait nécessaire de réglementer l'usage des pompages pendant la période d'étiage en-dessous de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ à BAKEL.

Pour ne pas nuire aux installations de la S.A.B.D il faut éviter les pompages importants de Novembre à Janvier. Entre 100 et $50 \text{ m}^3/\text{s}$ à BAKEL, ces pompages ne devraient pas excéder $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ceci exclut de faire une deuxième culture aléatoire sur de grands périmètres.

Pendant la fin de l'étiage, pour sauvegarder les installations de DAGANA, on devrait limiter les pompages aux volumes envisagés pour les 3 projets pilotes étudiés conformément aux recommandations de la table ronde.

Dans le bief fluvial la surface maximum à irriguer en double culture ne devrait pas dépasser 800 ha.

Dans le bief maritime les surfaces complémentaires en double culture ne devraient pas dépasser 2.000 ha."

Ceci concerne la phase finale des dits aménagements, pendant les phases intermédiaires les répartitions pourraient être différentes en deçà des limites précitées.

Des extensions de la surface en canne à sucre au-delà de 8.000 ha entraînant des pompages en début d'étiage devraient être soumises en temps opportun à l'approbation des Etats de l'O.M.V.S.

Le Sénégal resterait libre de sacrifier la garantie de DAGANA au profit de l'extension de la culture de la canne à sucre.

Il faut bien noter que cette réglementation s'applique à l'usage de l'eau et pas à l'aménagement de périmètres qui pourraient être utilisés pour la simple culture.

- BARRAGE du DELTA CONSTRUIT SEUL -

Les restrictions concernant DAGANA et les pompages éventuels à RICHARD TOLL disparaîtraient.

Par contre les restrictions concernant le bief fluvial restent les mêmes.

Il faut souligner que l'exploitation du barrage du Delta est basée sur l'utilisation de tous les apports naturels à partir du mois de Décembre, il n'y a donc aucune extension possible des irrigations en Décembre-Janvier dans le bief fluvial.

La double culture est possible sur trente mille hectares avec une garantie décennale. Le véritable problème juridique est de savoir où seront ces 30.000 ha.

Si l'on s'en tient aux faits, à la mise en eau du barrage, le Sénégal disposera de plus de terre que la Mauritanie, pouvant bénéficier de la double culture.

Terres prêtes à la double culture en 1980

	<u>Rive droite</u>		<u>Rive gauche</u>
M'POURIE	3.000 ha	S.A.E.D	12.000 ha
BOGHE	4.000 ha	DAGANA	2.700 ha
Petits périmètres	400 ha	NIANGA	10.000 ha
	_____	GUEDE	300 ha
	7.400 ha		25.000 ha
Total		32.400 ha	

Il y a plus de terres que de possibilités. Comme en fait NIANGA ne sera que partiellement exploité on pourrait restreindre son exploitation en double culture, on aurait donc :

.../...

<u>Rive droite</u>	<u>Rive gauche</u>
7.400 ha	22.600 ha

Si l'on voulait pomper pour RICHARD TOLL ce serait au détriment des volumes réservés aux 22.600 ha.

On a deux principes juridiques en conflit :

- ne pas refuser le développement à un pays qui est prêt à utiliser des ressources ;
- le principe d'équité visant à répartir des ressources rares suivant d'autres considérations que l'état de fait ;
- enfin une autre considération peut être invoquée : répartition de charges proportionnelles à la répartition des ressources.

Si la Mauritanie voulait une meilleure part, il faudrait qu'Elle lance dès la décision de construire le barrage du Delta des études permettant de commencer l'équipement de nouveaux périmètres avant la mise en eau du barrage.

Donc la construction du barrage du Delta qui est déjà saturé pose de sérieux problèmes juridiques.

- BARRAGE de MANANTALI -

1) Amélioration des cultures de décrue.

Nous avons vu que ceci est possible assez aisément. La durée de cette garantie dépendrait du rythme d'aménagement.

D'après ceux proposés en 10 ans, la population de la Vallée serait entièrement employée dans les nouveaux périmètres. Cette garantie est assurée par une crue artificielle d'environ 3.000 m^3 pendant un mois à BAKEL.

2) Garantie de la navigation.

La crue artificielle de 3.000 m^3 permet d'assurer aussi un débit régularisé de 200 m^3 à BAKEL. Les études ont été faites pour assurer un trafic pour $150 \text{ m}^3/\text{s}$, les conditions sont donc remplies.

3) Irrigation.

Pendant les 1ères années du développement il n'y aura guère de problème ; il y aura plus d'eau que de terre.

Mais c'est vers la fin de la mise en valeur que les problèmes apparaîtront s'il y a moins d'eau que de terre.

Si l'on fait une répartition au prorata des terres on doit préciser quel type de terre on juge irrigable et quel type d'aménagement l'on choisit.

Les catégories de terre doivent être les mêmes pour les 3 pays. Actuellement on aurait la répartition suivante :

MALI	5 %
MAURITANIE	31,5 %
SENEGAL	63,5 %

.../...

4) Conflit irrigation-navigation.

Il n'y a pas de conflit car la répartition des terres dans la Vallée est telle qu'avec un débit de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ à BAKEL on aura toujours 200 m^3 à KAEDI et 150 m^3 à BOGHE.

5) Conflit irrigation-électricité.

Suivant l'énergie garantie il y aura diminution des terres irriguées.

Les proportions définies précédemment devraient s'appliquer pour les diminutions.

Si un seul Etat utilise l'énergie il devrait une compensation aux 2 Etats victimes de diminution de terres à irriguer, ou ce qui revient au même il pourrait supporter une part plus importante des charges du barrage.

6) Protection contre le sel.

Les Etats Riverains du Delta devraient **pouvoir** demander la construction du barrage antisel lorsque le **danger** apparaît, mais d'autres mesures sont possibles notamment la construction de canaux latéraux avec prise d'eau assez haut en amont.

