

11877

ORGANISATION POUR LA MISE
EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

HAUT - COMMISSARIAT

DEPARTEMENT DE L'INFRASTRUCTURE REGIONALE



Mr San
10 épreuves et obs. effectuées
sur une d'une machine à vapeur
avec le dir. au 06/90
A

LA CULTURE DE DECRUE DANS LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL



Mais l'allongement de la durée de submersion n'a pas d'effet significatif sur le rendement. En fait cet allongement entraîne un retard dans la date de retrait et de semis et c'est ce facteur qui intervient.

Par contre il serait nécessaire de déterminer la durée minimum de remplissage en analysant de façon plus précise le mécanisme de remplissage de la réserve du sol.

Des essais d'infiltration sous charge constante ont été effectuées et complètes par des profils hydriques lors des essais de Guédé.

<u>Essais d'infiltration</u>		<u>Profil hydrique</u>	
Charge hydraulique	Profondeur (24 heures)	Tranche d'eau	Vitesse d'infiltration moyenne sur 24 heures
30 cm	44 cm	85,8 mm	3,6 mm/h
45 cm	55 cm	122,9 mm	5,1 mm/h
80 cm	58 cm	120,9 mm	5,0 mm/h.

Ces essais ne prennent pas en compte l'infiltration dans les fissures. Mais les observations faites sur le remplissage des cuvettes ont permis de noter les résultats suivants :

Pour l'obtention d'un début de stagnation, il faut apporter 100 à 150 mm pendant 10 heures ce qui correspond à la constitution d'une réserve de 1000 à 1500 mm. Au bout de quelques semaines la baisse du plan d'eau se stabilise à 10 mm/jour ce qui correspond, si l'on déduit l'évaporation qui est de 6 à 8 mm/jour, à une infiltration de l'ordre de 0,1 à 0,15 mm/h. Dans des cuvettes vidangées depuis 2 ou 3 Mois, l'humidité continue à augmenter dans les couches profondes par diffusion très lente à partir des couches supérieures.

Ces essais n'ont malheureusement pas été poursuivis jusqu'à la profondeur d'exploitation du sol par les racines (1m20 jusqu'à 2 m pour le sorgho).

D'autre part, les essais ORSTOM de 1982-1984 ont comporté des essais d'infiltration et de mesures des profils hydriques.

S O L	Durée totale	Remplissage des fentes de retrait (mm)	Vitesse d'infiltration (mm/h)		
			1ère phase	2è phase	3è phase
1 Hollaldé Lampsar		5 h	5 h - 30 h	30 h - 10 j	10 j
	15	220	0,8	0,4	0,1
	7 12 + 6 ⁽¹⁾	220 -	0,2 0,4-0,35	0,2 -	- -
2 Hollaldé Dagana	16	30 h	30 h - 5 j	5 j	
	17	415	0,48	0,45	
3 Faux Hollaldé Dagana		1 j	15 - 3 j	3 j	
	16	750	1,55	0,3	
	16	865	1	0,35	
4 Fondé Dagana		40 h	40 - 3 j	35- 10 J	10 j
	13	-	4,6	4,6	3,2
	17	190	3,6	1,3	1,3
	17	190	0,3	0,3	0,3

(1) Interruption de 7 jours.

Si l'on fait abstraction du hollaldé de Lampsar qui repose sur une couche sableuse et du fondé de Dagana dont les caractéristiques ont été modifiées par l'introduction de la riziculture on constate :

- en 1 jour 1/2 environ, il s'infiltré 500 à 800 mm ce qui est très inférieur aux valeurs trouvées à Guédé,
- à partir de 3 à 5 jours l'infiltration n'est plus que de 0,3 à 0,4 mm/h c'est-à-dire 7 à 10 mm jour ce qui est par contre supérieur aux valeurs trouvées à Guédé.

Les mesures ont par ailleurs montré que :

- pendant les 5 premiers jours la profondeur d'humectation atteignant 60 cm à 1 m et qu'après l'avancement du fait d'humectation ne dépassait pas 1,5 cm/jour,
- après arrêt de l'infiltration le ressuyage s'effectuait en 8 jours.

Il serait donc tentant de limiter la durée de submersion à moins de 5 jours mais dans ce cas, il est à craindre que la profondeur d'humectation soit insuffisante pour la culture du sorgho car l'on peut penser qu'après ressuyage il n'y a pratiquement plus progression du front d'humectation malgré la diffusion à partir des couches supérieures signalée dans les études de Guédé.

Les connaissances concernant l'infiltration et la durée nécessaire de submersion sont trop insuffisantes et les quelques résultats existants trop disparatés et trop délicats à interpréter pour qu'il soit possible de tirer une conclusion.

2.4. - Cas des sols salins

Les essais effectués sur certains sols salins ont montré une résistance du sorgho bien supérieure à celle qui a été observée dans d'autres conditions pour cette plante. L'augmentation de la pression osmotique jusqu'à 10 atmosphères ne paraît pas gêner l'alimentation en eau alors que l'on considère habituellement qu'une pression de 6 atmosphères est un maximum. Il a été estimé que la teneur limite en sel compatible avec le développement végétatif du sorgho est de 10 milli équivalent par litre, cette valeur pouvant être supérieure pendant la phase de maturation.

3. - ASPECTS AGRONOMIQUES

3.1. - Facteurs influant sur le rendement

Les essais de Guédé ont mis en évidence, les principaux facteurs influant sur les rendements des cultures de décrue.

a) - La date de semis a une influence primordiale

Date de semis	15 Octobre	1er Novembre	15 Novembre	1er Décembre	15 Décembre
Moyenne des essais	Sorgho 938*	1 884	1013	483	291
	Coton	383	272	140	116

* La dépression observée à cette date est due à une attaque très forte par les oiseaux.

Le tableau met nettement en évidence une baisse très importante des rendements dès que les semis sont pratiqués après le 15 Novembre.

Le résultat a été confirmé par un essai annexe de culture de décrue en hivernage (parcelle de hollaldé maintenue en eau en contre saison et vidangée en Juin).

Maïs (normalement non cultivé sur hollaldé)	1 500 kg/60 jours
Coton	1 000 kg.

Cet essai n'a que valeur de sondage et demanderait à être précisé. Mais l'on sait par ailleurs qu'au Mali où la décrue n'intervient qu'au printemps et le sorgho est récolté en hivernage, les rendements atteignent 1500 kg. Dans le cas de la vallée du fleuve Sénégal, la culture est effectuée à contre temps, dans une période où les conditions climatiques sont particulièrement défavorables pour la plante et d'autant plus que le semis est plus tardif:

- températures basse pour la croissance alors que le froid limite le développement végétatif,
- températures élevées au moment de la formation des grains alors que des chaleurs trop fortes sont préjudiciables.

Cependant, cette période présente l'avantage que l'E.T.P. est plus réduite.

La date de retrait n'a par contre que peu d'effet sur la date de semis et la durée du cycle :

	Date de référence	Moyenne	Fourchette
Semis	retrait des eaux	12 j	7-16 jours
levée	semis	6 j	4-18 jours
floraison	"	72 j	53-77 jours
maturation	"	105 j	92-111 "
récolte	"	128 j	122-135 "

b) - Variétés

La comparaison des rendements obtenus avec les diverses variétés n'a pas abouti à des résultats intéressants car les différences sont peu marquées ou bien le classement quantitatif est à l'inverse du classement qualitatif (les meilleurs rendements sont obtenus avec des variétés peu appréciées).

c) - Taux d'argile

Le rendement du sorgho de décrue dépend en premier lieu des disponibilités en eau et en conséquence de la capacité de rétention. Il n'est donc pas étonnant que le rendement soit lié au taux d'argile.

	Taux d'argile	Rendement
Hollaldé	50 % (45-60)	1070
Faux hollaldé	43 %	980
Fondé	29 %	640

La corrélation est excellente (coefficient de corrélation 0,9) et se traduit par l'équation.

$$\text{- rendement (kg/ha)} = 135 + 21,8 \times (\text{X taux d'argile}).$$

3.2. - Les pratiques culturales préconisées par la recherchea) - le semis

. Durée de ressuyage : il a été indiqué précédemment que l'évaporation est très rapide sur le sol imbibé. C'est pourquoi la recherche agronomique avait préconisé le semis dès que le sol devient accessible c'est-à-dire 3-4 jours après le retrait de l'eau. Or, dans l'étude de GIBB on parle d'une période de ressuyage de 15 jours 3 semaines. C'est en effet sans doute une pratique observée dans certains cas et en particulier lorsque le sol n'est pas propre et qu'il faut procéder à un sarclage avant semis. C'est pour cela que la recherche agronomique conseille un désherbage avant la crue (Juillet-Août) de façon à ce que la submersion parachève le nettoyage et que le paysan dispose à la décrue d'un sol propre et

évite le sarclage à la décrue très pénible. Ce nettoyage est déjà pratiqué malgré les contraintes imposées par la concurrence des cultures de diéri et il existe des champs de sorgho (collengal) très propres. Mais il faudrait généraliser cette pratique d'autant plus qu'avec la fermeture du barrage de Manantali pendant les mois de Juillet Août la montée de la crue sera plus lente et que les paysans pourront disposer de plus de temps pour ces travaux.

Compte tenu des données hydrologiques il est vraisemblable qu'il sera difficile d'envisager de retarder la décrue au-delà des dates généralement observées. Par exemple, on a observé pour 1956 (Groupement Manantali) et 1970 (inventaires superficies irriguées en décrue - JUTON - MUTSAARS).

	Bakel	Matam	Kaédi	Boghé	Podor	Dagana
Début décrue 1956	20 Sept.	28 Sept.	1er Oct.	5 Octobre	12 Octob.	25 Octob.
1970	25 Sept.	27 Sept.	20 Sept.	8 Octobre	13 Octob.	19 Octob.

Or si l'on considère que la concurrence de la culture de diéri ne permet pas d'entreprendre les semis avant la lère quinzaine d'Octovre on constate qu'il est difficile en amont de Podor d'effectuer les semis immédiatement après le début de la décrue.

Il est indispensable d'étudier de façon approfondie le calendrier agricole dans les différents points de la vallée d'autant plus qu'à la concurrence culture de diéri, culture de walo va s'ajouter progressivement la culture irriguée d'hivernage et de contre saison.

. Extension des semis : Pour éviter qu'une part importante des réserves constituées soit inutilisée il est nécessaire d'ensemencer tous les terrains cultivables qui ont été inondés. En pratique on peut considérer qu'il s'agit des hollaldés. Or pour la campagne 70-71 il a été calculé dans l'étude CHAUMENY que 57 % seulement de cette superficie avait été cultivée. Ce pourcentage global cache de très grandes variations puisque :

- dans 21 UNE environ un quart ou moins de la surface est cultivée
- dans 28 UNE environ la moitié est cultivée
- dans 23 UNE environ les 3/4 ou plus de la surface est cultivée.

Il est donc nécessaire d'effectuer des enquêtes en vue de déterminer les raisons pour lesquelles la superficie cultivée reste limitée dans certaines UNE. Parmi les raisons qui ont été évoquées figure la vitesse de décrue.

- trop rapide elle ne permettrait pas d'ensemencer la totalité de la superficie exondée,
- trop lente elle ne permettrait pas d'ensemencer avant la fin de la période favorable pour la culture (15 Novembre).

Toutefois il ne semble pas qu'il y ait globalement de difficultés. En effet, le temps de travail est estimé dans les Etudes GERSAR MISOES reprises par A. GIBB à environ 6 journées d'homme adulte par ha. Comme la superficie cultivée par une famille est de 2 ha à 3 ha et même en admettant qu'il n'y ait qu'un homme adulte le temps nécessaire pour le semis est de 12 à 18 jours qui est compatible avec la durée de la décrue dans les cuvettes estimée à 15-20 jours. Il est possible cependant que les caractéristiques topographiques de certaines cuvettes entraînent une vidange trop rapide ou trop lente. Il serait possible de le vérifier à partir des courbes hauteur superficie inondée des UNE (Etude CHAUMENY) complétées par des enquêtes sur le terrain en vue de rechercher l'existence éventuelle de seuils dans les chenaux qui pourraient ralentir la vidange.

Par ailleurs, il est nécessaire de constituer une réserve dans les sols qui doivent être cultivés mais inutile de la constituer dans les cols qui ne seront pas utilisés. Il est donc nécessaire de déterminer des côtes maxima à laquelle est pratiquée la culture de décrue dans chaque cuvette en vue de limiter la hauteur d'inondation dans les cuvettes à cette côte. Cette enquête devrait pouvoir être réalisée facilement à partir des cartes au 1/50 000 de l'Atlas de CHAUMENY.

. Densité de semis : Si la densité est trop faible seule une partie de la réserve est exploitée, si elle est trop forte les plants se feront concurrence. Dans les champs traditionnels la densité est d'environ de 5 000 poquets à l'hectare. La recherche agronomique considère que l'optimum est de 20.000 pieds à l'hectare soit 2 pieds par poquet à écartement de 1 mètre sur 1 mètre.

b) - Réduction de l'évapotranspiration et de l'évaporation

. L'évapotranspiration de la culture est évidemment une donnée liée aux caractéristiques du microclimat et de la culture. Est-il possible de la réduire en agissant sur ces deux facteurs :

- microclimat - on sait que les brise-vents ralentissent l'évapotranspiration des cultures protégées. Auraient-ils un intérêt pour des cultures de walo compte tenu de leurs inconvénients, nidification des oiseaux, perte de terrain agricole.

toutefois ces problèmes se posent non seulement pour la culture de décrue mais pour les futures cultures irriguées.

- cultures associées - les cultures associées permettent d'utiliser au mieux les réserves d'eau disponibles et d'augmenter la productivité totale en raison d'exigences complémentaires des deux cultures. La culture associée sorgho niébé est déjà pratiquée. Il serait utile d'en évaluer les avantages et de mesurer l'intérêt de sa généralisation.

. La dessiccation superficielle du sol entraîne la formation d'une croûte dure et de multiples crevasses qui peuvent favoriser l'évaporation. C'est pourquoi, il était préconisé après la levée (15-20 jours) un binage superficiel pour briser les microcapillaires provenant du sous-sol humide et interrompre ainsi la remontée et la déperdition d'eau. Cela se traduisait par l'adage connu "binage vaut deux arrossages".

Cependant la recherche agronomique a constaté qu'en fait l'assèchement entraîne la formation d'une croûte craquelée. Cette couche superficielle se clive, se délite en plaquettes de 1 à 2 cm d'épaisseur qui se détachent du sous-sol, s'émiettent et constituent un véritable binage naturel.

c) - Fourniture d'engrais

L'eau ne peut être valorisée par la plante que si elle dispose d'une alimentation suffisante. Or, naturellement les hollaldés sont des sols pauvres et la crue n'apporte que de très faibles quantités de limons fertilisants. Si l'on veut que le sorgho puisse développer le maximum de grains, il est nécessaire

de lui apporter des engrais. La recherche a proposé une application d'engrais azoté à dose modeste qui permet une augmentation marquée des rendements. La dose (100 kg de perlurée par hectare ou 1 boîte d'allumette par poquet) la période (moment du semis) la méthode (trou de 25 cm de profondeur à 15-20 cm du poquet) sont décrits de façon détaillée dans les fiches de vulgarisation établies par le Projet de Recherche Agronomique et de Développement Agricole pour la Mise en Valeur de la Vallée du Sénégal (PNUD-FAO-OMVS - RAF 73/060).

d) - Lutte contre les adventices

Le développement des mauvaises herbes entraînent une consommation supplémentaire d'eau au détriment du sorgho. Il est indispensable donc de prévoir des sarclages chaque fois qu'il est nécessaire. En fait si le collengal est très propre au semis, il suffira d'un sarclage lorsque les plants seront assez solides pour ne pas être blessés (20-30 jours).

e) - Autres actions

Il est bien évident que les pratiques conseillées pour améliorer la gestion de l'eau doivent être complétées par des actions de défense et protection de la culture :

- traitement fongicide et insecticide des semences,
- protection des levées contre les grillons et criquets,
- protection de la récolte contre les oiseaux,
- destruction des pieds atteints par le charbon.

Dans ce domaine aussi la recherche a proposé des modalités d'intervention simples et d'un coût réduit qu'il serait nécessaire de vulgariser.

4EME PARTIE : LES ACTIONS A MENER

1. - SUIVI EVALUATION DES CULTURES DE DECRUE

Afin de disposer de données fiables sur la situation des cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal, il est nécessaire d'étendre le suivi évaluation des cultures irriguées aux cultures de décrue.

Dans le contexte actuel seules deux méthodes peuvent être envisagées :

- les enquêtes de terrain,
- la télédétection.

1.1. - Les enquêtes de terrain

Dans le cadre des études sociologiques effectuées dans la région de Matam sur financement USAID, il est prévu des enquêtes détaillées sur les cultures de décrue (relevés de parcelles, mesures de rendement).

Ces études monographiques seront très intéressantes :

d'une part en raison des éléments socio-économiques qui pourront être recueillis,

d'autre part en raison de la possibilité d'utiliser les résultats obtenus pour tester des approches plus globales.

Mais pour des raisons financières elles resteront obligatoirement limitées. Par contre il serait facile de recueillir chaque année après la crue et après la récolte de la culture quelques indications qualitatives permettant de déterminer les caractéristiques de la culture de décrue dans chaque cuvette. Ces enquêtes pourraient être facilement réalisées par les responsables locaux en interrogeant les exploitants agricoles et en observant les cultures.

Un modèle de questionnaire proposé est joint en annexe 1 avec la liste des UNE qu'il conviendrait d'enquêter.

./.

1.2. - La télédétection

Les tests déjà réalisés devraient être complétés notamment par l'étude des possibilités d'utilisation de prise de vues LANDSAT (THEMATIC MAPPER) et par une analyse comparative des prises de vue SPOT sur les cuvettes de Matam avec les résultats obtenus par les équipes USAID par enquêtes sur le terrain et par relevés vidéo.

Mais il est surtout indispensable d'exploiter les campagnes SPOT 1986/87 et 1988/89 de façon à déterminer :

- les superficies inondées et cultivées en décrue par UNE et hors UNE,
- d'établir des calques superposables permettant de comparer les parcelles cultivées en décrue en 1987 et 1989 et éventuellement avec les cartes établies par M. JUTON en 1971 et 1973.

2. - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRO-PHYSIQUES DES SOLS

Les méthodes classiques de mesure des caractères hydrologiques des sols de cuvette nécessiteraient d'importants moyens et ne pourraient être réalisées que sur un nombre limité de sites. Elles sont de plus difficilement interprétables comme nous l'avons vu précédemment pour les essais de Guédé ; Lampsar et Dagana.

Les méthodes de rétractométrie mises au point par M.E. BROUDEAU de l'ORSTOM (Annexe 2) permettent d'obtenir rapidement les principaux paramètres hydrophysiques et notamment la capacité de rétention, le point de saturation maximum, la réserve utile et même d'en effectuer le suivi en temps réel. Un programme de recherche appliquée sur la vallée du fleuve Sénégal a été proposé par l'ORSTOM - IMG (Institut Mécanique de Grenoble) - ISRA comportant :

1ère année : une cartographie des unités pédologiques définies à partir des unités géomorphologiques définies sur les cartes au 1/50.000 existantes et à partir de l'étude de courbes de retrait déterminées dans des stations caractéristiques.

2^e année : des études en station test

de la recharge du sol en cours de submersion
de la réserve du sol en phase de ressuyage et évaporation.

3^e année : la mise en place d'un système de prévision des lames
d'eau et des temps de submersion correspondant à l'objectif
de recharge, à partir des capteurs équipés de dispositifs
d'enregistrement et de télétransmission permettant le
suivi en temps réel de la recharge en eau des sols.

Ce programme permettra une gestion rationnelle de la crue artificielle dans l'ensemble des cuvettes concernées et après aménagement de ces cuvettes de définir les régimes d'irrigation.

Il permettra aussi de suivre :

- l'utilisation de l'eau par les plantes,
- l'évolution structurale des sols sous culture à partir des caractéristiques pédo-hydriques.

Ce programme de recherche appliquée devrait être mis en place le plus rapidement possible afin que ses résultats puissent être utilisés pour la gestion des cuvettes.

3. - AMENAGEMENT DE LA CRUE ARTIFICIELLE GIBB

3.1. - Superficie inondable

Toutes les études et enquêtes réalisées ont conduit à la conclusion qu'il n'y avait pas de corrélation entre la superficie inondée et la superficie cultivée en décrue. Toutefois ces études ont permis de mettre en évidence deux points :

- compte tenu des disponibilités en main d'oeuvre la maximum de superficie cultivable en décrue est de l'ordre de 100 000 ha ;
- la superficie inondée susceptible d'être cultivée doit répondre à deux critères ;

- avoir été submergée au moins 15 jours pour permettre un stockage suffisant d'eau,
- avoir été exondée suffisamment tôt pour que le semis intervienne avant le 15 Novembre.

A. GIBB a estimé que la durée de submersion devait rester inférieure à 45 jours. La superficie inondée susceptible d'être cultivée en décrue a donc été prise égale à $S_{15} - S_{45}$.

Cette estimation paraît non fondée. En effet la durée de submersion n'a aucun effet sur la possibilité de culture de décrue : pendant les années de sécheresse des zones en bordure de lacs ou de mares ont été cultivées en décrue alors que ces zones étaient restées noyées pendant des années. Le seul facteur qui compte est la date à laquelle les terrains sont exondés.

Compte tenu du délai optimum de 7 jours entre le retrait de la crue et le semis et du délai de transfert entre Bakel et la Basse Vallée estimée à 18 Jours la superficie inondée utile est celle qui a été inondée au moins 15 jours et qui était exondée le 20 Octobre. On vérifie que pour les crues de 1970 - 1972 - 1973 à cette date le niveau de l'eau à Bakel était redescendu en dessous de la côte 15 m et qu'en conséquence la totalité de la superficie était théoriquement dénoyée.

On peut toutefois admettre que ne sont pas cultivables les zones trop basses correspondant approximativement à la côte 1 m soit environ 22.000 ha sur l'ensemble de la vallée (Atlas CHAUMENY).

Il est donc possible de rectifier le tableau 4.5. de l'Etude de GIBB sur la crue artificielle.

Année	Superficie cultivée ha	Superficie inondée cultivable ($S_{15} - 22.000$ ha)
1970-1971	103 100	314 000
1972-1973	13 700	19 000 (41 000)
1973-1974	82 200	158 000
1976-1977	29 400	55 000
1977-1978	15 500	64 000
1978-1979	56 900	90 000

On constate (graphique 2 joint) que ces points se trouvent sur une courbe tangente à l'horizontale 110 000 ha à l'exception des 2 années 1972 et 1977.

La crue de 1972 a été très faible et l'on peut observer qu'il a été possible de mettre en culture même les zones les plus basses et qu'il convient de considérer comme superficie inondée irrigable la superficie totale soit 41.000 ha.

Par contre la valeur particulièrement faible de 1977 (15 400 ha au lieu de 35 000 ha) reste inexpiquée en l'absence de documents sur le déroulement de la campagne agricole. Il faut toutefois noter que dans l'étude Manantali, il est fourni pour cette année la valeur 30 000 ha qui est beaucoup plus satisfaisante.

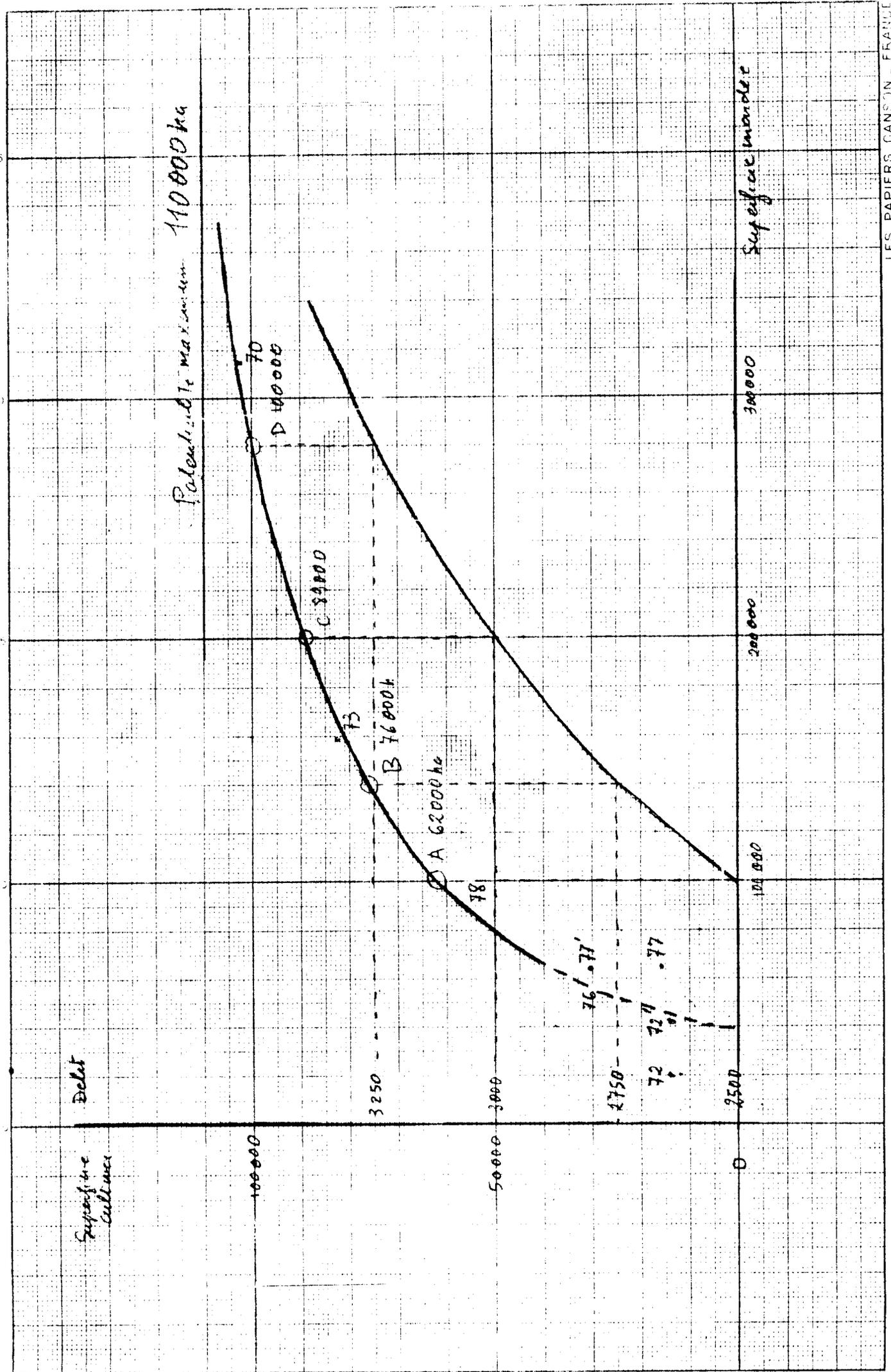
A partir de ce graphique on peut déduire que les crues A, B et C modifiées conduisent à des superficies cultivées de respectivement :

	Superficie inondée cultivable	Superficie cultivable
crue A	100 000 ha	62 000 ha
crue B	140 000 ha	76 000 ha
crue C	200 000 ha	89 000 Ha

La crue C ne permet pas d'atteindre l'objectif proposé de 100 000 ha.

Graphique 2

Courbe des superficies cultivées et débit de pointe en fonction de la superficie inondée



Si l'on considère les courbes de superficies cultivées en fonction de la superficie inondée et de la superficie inondée en fonction du débit de pointe de la crue on trouve qu'il faudrait prévoir une crue D avec un débit de pointe de 3250 m³/s.

3.2. - Hydrogramme de crue

A la suite de l'étude des crues naturelles et des pratiques agricoles de la culture de décrue, le Groupement Alexander Gibb and Patners - Electricité de France International - Euroconsult a fixé des consignes d'exploitation relatives aux lâchures qui conduisent aux résultats suivants pour la crue artificielle :

- début de la crue à Bakel entre le 16 Août (à partir du 10 Août la crue est déclenchée à Manantali après une amorce de crue de 3 jours et demande 3 jours pour le transfert à Bakel) et le 13 Septembre (10 Septembre date extrême du déclenchement de la crue à Manantali) ;
- la montée des eaux s'effectue avec une augmentation du débit de 200 m³/s/j. Le débit à Bakel étant au moment du déclenchement de la crue d'au moins 600 m³/s (amorce de crue de 500 m³/s à partir d'un débit de 100 m³/s), le débit de pointe sera atteint au plus en :
 - . 10 jours pour une crue de 2500 m³/s soit entre le 26 Août et le 23 Septembre
 - . 11 jours " " " 2750 m³/s soit entre le 27 Août et le 24 Septembre
 - . 12 jours " " " 3000 m³/s soit entre le 28 Août et le 25 Septembre
 - . 13 jours " " " 3250 m³/s soit entre le 29 Août et le 26 Septembre.

Ce débit de pointe sera maintenu pendant 5 jours.

- la décrue s'effectue avec une diminution du débit de 100 m³/s jusqu'à 1500 m³/s ce qui demandera :
 - . 10 jours pour une crue de 2500 m³/s
 - . 13 jours " " " " 2750 m³/s
 - . 15 jours " " " " 3000 m³/s
 - . 18 jours " " " " 3250 m³/s.

- la décrue se poursuivra alors avec une diminution de débit de 50 m³/s/j jusqu'à l'obtention d'un débit de 300 m³/s ce qui nécessitera 24 jours ;

La décrue aura donc une durée de 34 à 42 jours. Mais en fait d'après le modèle UNE de GIBB, l'inondation se termine à la cote 15,00 m à Bakel correspondant à 675 m³/s. La durée de la décrue sera donc en fait de 27 à 35 jours.

- Les débits décroîtront de 300 m³/s en Octobre à 50 m³/s en Janvier.

Si l'on se réfère aux données relatives à la culture de décrue on observe :

1°/ - Les semis doivent être terminés avant le 15 Novembre en raison des contraintes climatiques. Compte tenu du décalage de la crue de 18 jours entre Bakel et la Basse Vallée et de la durée de 7 jours entre le retrait de l'eau et le semis, la pointe de crue doit intervenir au plus tard 65 jours (40 + 18 + 7) avant le 15 Novembre soit le 11 Septembre. Les semis interviendront à Bakel dès le 18 Septembre et il ne paraît pas souhaitable d'avancer cette date compte tenu de la concurrence des cultures d'hivernage.

Notons que cette date correspond sensiblement à la date médiane d'occurrence des débits maximaux à Bakel (entre le 20 Août et le 30 Septembre).

2°/ - Par ailleurs il est indiqué que la durée de submersion doit être supérieure à 15 jours.

Il est donc possible d'écarter la crue artificielle de la hauteur pour laquelle la submersion est inférieure à 15 jours puisque les zones inondées pendant cette période ne seront pas cultivables.

Compte tenu des taux de montée (200 m³/s/j) et de décrue (100 m³/s/j) L'augmentation du délai de submersion de 1 Jour correspond à un écrêtement de $\frac{200}{3}$ m³/s/j.

Pour porter le délai de submersion de 5 jours à 14 jours il suffit donc de l'écrêter de 600 m³/s ce qui conduit aux débits de pointe suivants :

crue A	1900 m ³ /s
crue B	2150 m ³ /s
crue C	2400 m ³ /s
crue D	2650 m ³ /s.

sans diminution des superficies cultivables.

3°/ - Le taux de montée de 200 m³/s par jour proposé par A. GIBB a été conservé mais il faut noter que GIBB indique qu'en 1971 le taux de montée a été supérieur à 750 m³/s par jour. Le taux de montée pourrait être augmenté dans les limites permises par les consignes d'ouverture des vannes de Manantali.

Le déclenchement de la crue devra être fixé de façon à respecter la courbe de montée :

	Crue A	Crue B	Crue C	Crue D
11 Septembre	1900	2150	2400	2650
10 Septembre	1700	1950	2200	2450
9 Septembre	1500	1750	2000	2250
8 Septembre	1300	1550	1800	2050
7 Septembre	1100	1350	1600	1850
6 Septembre	900	1150	1400	1650
5 Septembre	700	950	1200	1450
4 Septembre	500	750	1000	1250
3 Septembre	-	550	800	1050
2 Septembre	-	-	600	850
1 Septembre	-	-	-	650

Le choix entre les crues sera effectué chaque année en fonction de la situation de la réserve de Manantali et des apports constatés pour Juillet-Août.

./.

4°/ - De même les taux de descente ont été tirés de l'observation de la décrue naturelle ce qui conduit à un taux plus élevé en début de décrue et plus faible en fin de décrue. C'est la forme classique d'une courbe de décrue dont la pente se réduit progressivement. Mais en fait pour la culture de décrue ce qui compte n'est pas le taux de décrue mais la vitesse à laquelle les terres s'exondent. Or à partir du modèle établi par A. GIBB il est facile d'établir la courbe de la superficie inondée en fonction de la hauteur d'eau à Bakel (graphique 3). Cette courbe montre que la superficie exondée est beaucoup plus importante pour les fortes hauteurs que pour les faibles hauteurs. En conséquence si l'on veut obtenir une vitesse régulière d'exondation il est nécessaire d'augmenter progressivement la rapidité de la décrue au lieu de la diminuer.

Si on assimile cette courbe à 3 segments de droite, on peut calculer le rapport de la variation de superficie à la variation de débit.

Intervalle de débit	Variation de débit ΔQ m ³ /s	Variation de superficie ΔS	$\Delta S / \Delta Q$
675-1700	1000	80 000	80
1700-2300	600	100 000	170
2750-2300	450	160 000	360

En conséquence la crue GIBB conduit au rythme suivant d'exondation

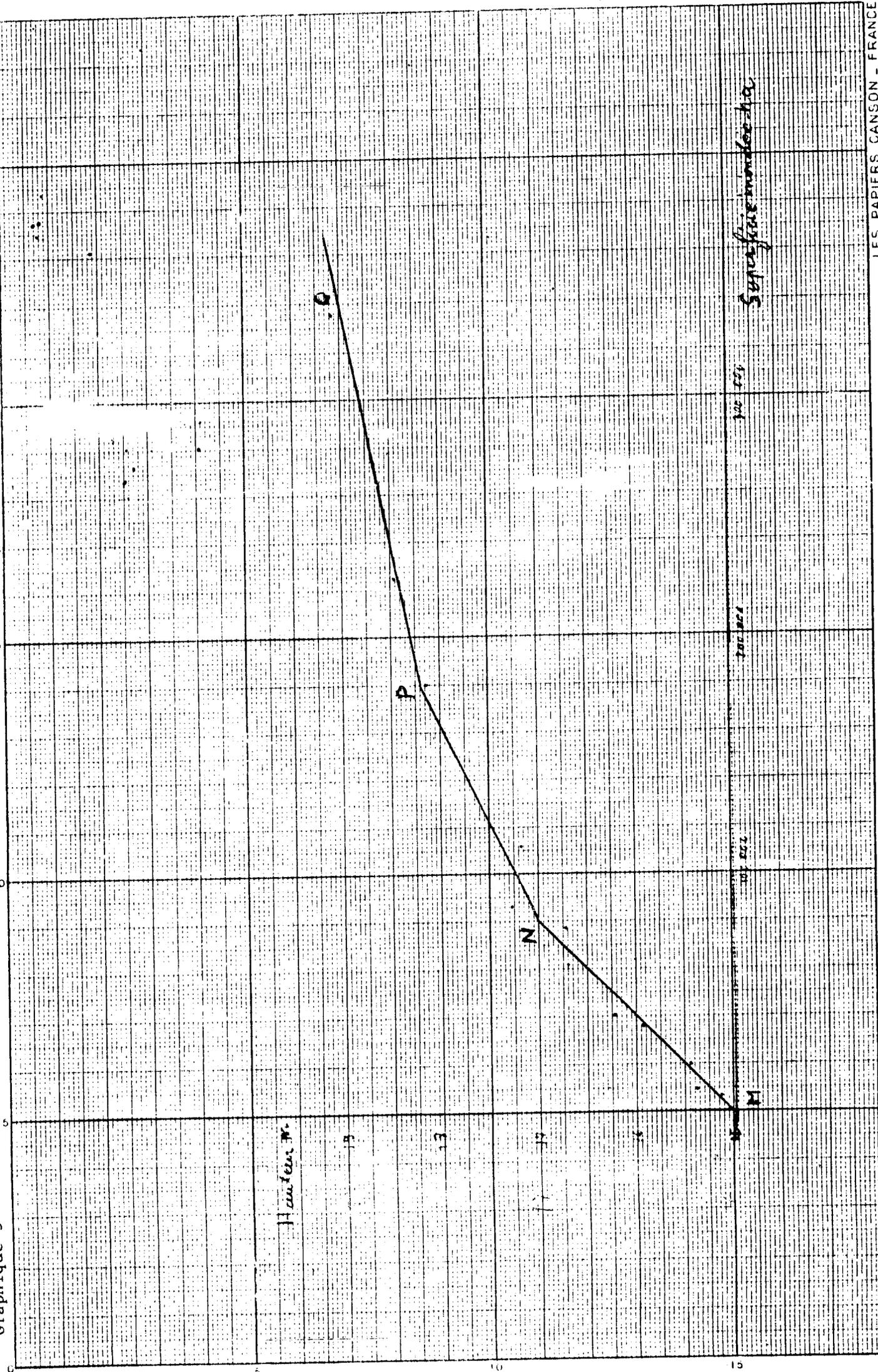
Débit	Nombre de jours pour réduire le débit	Exondation (ha/j)			
		Crue A	Crue B	Crue C	Crue D
2650					36 000
2400	2,5			36 000	36 000
2300	1			17 000	17 000
2150	1,5		17 000	17 000	17 000
1900	2,5	17 000	17 000	17 000	17 000
1700	2	8 000	8 000	8 000	8 000
1500	2	4 000	4 000	4 000	4 000
650	17				

Il paraît souhaitable d'adopter un rythme constant d'exondation qui pourrait être pris égal à 17 000 ha/j ce qui conduit aux vitesses suivantes :

./.

./.

Graphique 3
 Courbe de la superficie inondée en fonction de la hauteur maximum de la crue



	Nombre de jours	Vitesse de décrues m ³ /s par jour			
		Crue A	Crue B	Crue C	Crue D
2650	5				50
2400	2			50	50
2300	1,5			100	100
2150	2,5		100	100	100
1900	2	100	100	100	100
1700	6	200	200	200	200
500					

Compte tenu des nouveaux hydrogrammes proposés les volumes de crue sont les suivants :

Crue	Volume 10 ⁶ m ³			Crue Gibb fin octobre	Superficie cultivée
	Septembre	Octobre	Total		
A	3650	250	3900	6200	62 000 ha
B	4300	600	4900	7200	76 000 ha
C	5000	1 100	6100	8400	89 000 ha
D	5650	2 100	7750	-	100 000 ha

L'étude précédente montre qu'il est possible d'adopter des hydrogrammes de crue qui permettent d'assurer les mêmes objectifs que les crues GIBB en réduisant le volume de la crue de 2,3 milliards de m³ environ.

Toutefois il faut bien souligner que cet hydrogramme comme celui proposé par GIBB a été déterminé à partir de considérations théoriques et qu'il est indispensable de les tester et pour cela de mettre en place les systèmes d'enquêtes définis précédemment.

Remarque 1

On peut faire observer que le choix d'une date variable pour la crue GIBB avait l'avantage d'entraîner des économies d'eau en profitant des apports naturels.

Cette économie ne porte en fait que sur 40 % des besoins pour la crue puisqu'il est toujours possible de stocker dans le barrage de Manantali les apports du Bafing estimés à 60 % des apports à Bakel.

C'est de plus une fausse économie car dans ce cas une partie des terres inondées ne pourront être cultivées car elles auront été exondées trop tôt et les agriculteurs ne disposeront pas du temps nécessaire pour exécuter les semis.

Remarque 2

Comme l'étude GIBB, cette étude ne porte que sur la crue à Bakel. On pourrait imaginer que compte tenu de l'amortissement qui se produit dans la vallée, la crue s'aplatit et qu'en conséquence le profil proposé par GIBB est justifié par cette transformation.

Cette étude a été faite par l'ORSTOM et l'on constate (graphique 3) qu'en fait l'hydrogramme de crue subirait une translation. Il garde sensiblement la même forme et perd uniquement son caractère trop géométrique.

Remarque 3 :

Le volume de la crue artificielle est constitué pour une part de volumes lâchés de Manantali. Pour les années sèches de fréquence 0,9 et 0,8 les apports sont respectivement :

	$f = 0,9$	$f = 0,8$
Septembre	3900	5250
Octobre	1800	2500

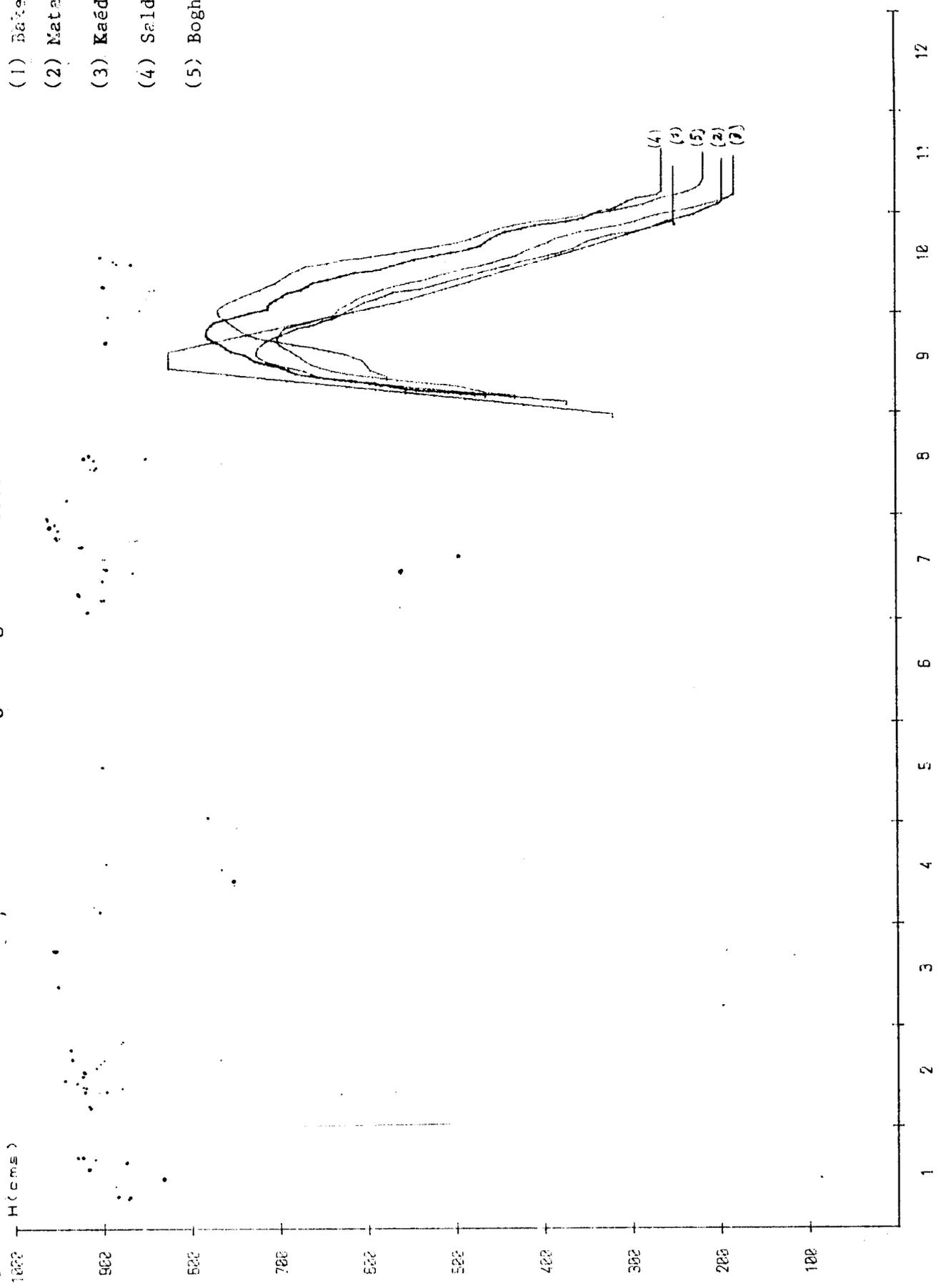
Les débits prélevés sur Manantali sont donc :

./.

Déformation, de la crue Gibb Cle long de la vallée

H (cms)

- (1) D'at-el
- (2) Matam
- (3) Kaédi
- (4) Salde
- (5) Boghé



Crue	Septembre		Octobre		Total		Superficie cultivée ha	Consommation d'eau à l'ha f=0,9
	f=0,9	f=0,8	f=0,9	f=0,8	f=0,9	f=0,8		
A	-	-	-	-	-	-	62 000	0
B	600	-	-	-	600	-	76 000	8000
C	1300	-	-	-	1300	-	89 000	15000
D	2000	600	300	-	2300	650	100 000	23000

4. - AMENAGEMENTS DES CUVETTES

La plus grande partie du débit de la crue artificielle ne sert pas au remplissage des cuvettes mais uniquement à maintenir la côte.

C'est pourquoi, il serait possible au lieu de prévoir de maintenir la pointe de crue pendant une durée suffisante pour assurer le remplissage des cuvettes et dès que ce remplissage est obtenu de retenir l'eau par un ouvrage vanné. Il n'existe aucune donnée sur le temps nécessaire pour le remplissage des cuvettes. On sait que pour le fleuve Sénégal la vitesse d'avancement en période de crue est de l'ordre de :

BIEF	Longueur (km)	Temps de parcours (j)	Vitesse d'avancement (km/j)
Bakel-Matam	180	1,5 à 2	90-120
Matam-Kaédi	95	1,5 à 2	47- 63
Kaédi-Saldé	62	1 à 1,5	41- 62
Saldé-Boghé	99	1,5	66

Si l'on admet que les cuvettes les plus éloignées du fleuve (extrémité du Diamel, du Koudi) sont à 60 - 90 km de l'embouchure des défluent l'eau mettra environ 2 jours pour parvenir à l'extrémité. Il pourrait être adopté donc une durée maximum de la pointe de crue de 3 jours en conservant la courbe de montée définie précédemment. Pour tenir compte de l'infiltration et de l'évaporation (1,5 cm par jour) pendant la durée ou le niveau sera maintenu (15 jours) il faut majorer les hauteurs de crue de 25 cm environ ce qui correspond sensiblement à une augmentation du débit à Bakel de 150 m³/s.

./.

Dans ces conditions les volumes de crue deviendront

Crue	Débit pointe m ³ /s	Volume crue 10 ⁶ m ³
A	2050	1 400
B	2300	1 650
C	2550	1 950
D	2800	2 300

Ces estimations ne doivent évidemment être considérées que comme une première approche qui ne pourra être précisée qu'à la suite des études des mécanismes de remplissage des cuvettes.

Il faut noter que l'existence d'un ouvrage de fermeture permet une gestion des cultures de décrue qui pourront être très différentes de la gestion actuelle par exemple maintien de la cuvette en eau, possibilité éventuelle d'apport complémentaire d'eau en saison sèche. Mais cela suppose que soient réalisées les études de mise en valeur correspondantes.

Un seul projet de ce type a été étudié, le Dirol sur la rive droite en Mauritanie et a fait l'objet de deux études hydrologiques (Olivry ORSTOM - Dames and Moore). Malheureusement ces études comportent une analyse rétrospective des crues naturelles qui n'a qu'un intérêt historique puisque actuellement il serait nécessaire d'analyser les crues provenant de la partie du bassin non régularisée. Elles comportent aussi quelques réflexions quantitatives sur l'effet de la crue artificielle.

Ces réflexions générales sur la crue artificielle GIBB devraient être précisées par une simulation du fonctionnement de Manantali. Mais surtout ces études n'apportent aucun élément pour améliorer la gestion de l'eau puisqu'elles adoptent la même démarche que si les apports n'étaient pas régularisables : proposer les possibilités de mise en valeur en fonction des apports à l'embouchure du Dirol.

Or actuellement la démarche devrait être fondamentalement différente : déterminer les apports à l'embouchure du Dirol nécessaires pour la mise en valeur optimum et vérifier leur compatibilité avec la gestion de Manantali.

./.

des droits de culture chaque année en fonction de l'âge et de la situation sociale des bénéficiaires, respect des droits des générations à venir. Pour ces raisons, l'introduction d'une législation foncière moderne apparaît comme beaucoup plus difficile dans les zones de walo de la vallée que dans le delta où il existait principalement des éleveurs nomades. L'amélioration de la culture de décrue permettrait de garantir la mise en culture des mêmes superficies d'une année sur l'autre et permettrait d'introduire progressivement l'habitude d'affecter aux exploitants les mêmes terres de culture d'une année sur l'autre. Des enquêtes faites à Matam à plusieurs années d'intervalle ont montré que les limites des parcelles de culture de décrue n'avaient pas varié.

Il serait très important de suivre l'évolution du système foncier parallèlement à l'évolution de la culture de décrue et de mettre en place des dispositions légales susceptibles de faciliter cette évolution.

CONCLUSION

La culture de décrue qui a joué un rôle économique et culturel important dans la vallée du fleuve Sénégal ne devrait pas être condamnée par l'introduction de l'irrigation et les possibilités de régulariser les apports. Mais elle doit être adaptée aux nouvelles conditions pour en tirer les meilleurs avantages tant du point de vue de la production de sorgho que de la conservation de l'équilibre du milieu naturel dans les cuvettes., et en ne consommant que la part strictement nécessaire du volume régularisé par Manantali.

Pour cela il est nécessaire d'aborder la culture de décrue dans une perspective entièrement nouvelle :

- sur le plan agronomique il faut diffuser les résultats déjà acquis par la recherche en considérant ces actions de formation comme une préparation à l'irrigation : respect du calendrier de culture, utilisation des semences sélectionnées, lutte contre les adventices, utilisation d'engrais. Il devrait être étudié, aussi les possibilités de développement des cultures de décrue en dehors de la contre saison froide qui ne sont actuellement pratiquées que sur les falos ainsi que les possibilités d'association de la culture de décrue à la production de fourrage (bourgoutières et pâturages de décrue) et au développement des forêts de gonakiés.

- sur le plan hydrophysique il est indispensable d'entreprendre une recherche générale sur les terres de la vallée en utilisant les possibilités offertes par les mesures de rétractométrie. En particulier le vaste programme de recherche proposé par l'ORSTOM l'IMG et l'ISRA doit déboucher sur des applications et la mise au point de méthodes de gestion de l'eau dans les cuvettes,

- sur le plan des aménagements, il est nécessaire :

de mettre en place un suivi évaluation de la culture de décrue en développant les moyens déjà mis en place pour le suivi évaluation des cultures irriguées,

d'étudier de façon détaillée les mécanismes de remplissage des cuvettes et leur alimentation à partir des défluent et proposer des règles nouvelles de gestion permettant soit de réduire la durée pendant laquelle il est nécessaire de maintenir des côtes élevées dans le fleuve, soit d'offrir des possibilités de remplissage des défluent et des cuvettes les plus basses en dehors de l'hivernage,

de ne pas négliger les difficiles problèmes d'évolution du système foncier.

- Enfin sur le plan de la gestion des ouvrages communs, il faut pouvoir tester les conséquences au niveau de la vallée de plusieurs formes d'hydrogramme, différant par les vitesses d'augmentations et réduction du débit et des hauteurs d'eau correspondantes et par la hauteur et la durée du palier à la côte maximum.

Une fois l'hydrogramme théorique défini, il sera vérifié sa compatibilité avec la gestion des ressources en eau dans les diverses hypothèses d'utilisation de l'eau (agriculture, alimentation en eau, énergie, navigation) en utilisant le modèle de simulation en préparation par l'ORSTOM.

Ces programmes devraient être réalisés très rapidement et dans tous les cas avant la mise en service de la centrale hydroélectrique car après cette mise en service les contraintes de production seront trop rigides pour permettre la réalisation d'essais et d'expérimentations.

ANNEXE 1Enquête sur la valorisation de
la crue par les cultures de décrue

Crue 19.....

1ère partie : Mise en culture

(Questionnaire à retourner à l'OMVS pour le 30 Novembre)

Nom de la cuvette.....	N° UNE Chaumeny.....	
I. - Inondation	Pour l'année	Pour l'année précédente
Date début d'inondation	.....	.....
Maximum d'inondation	.....	.....
fin d'inondation	.....	.....
Hauteur d'eau	faible - bonne - forte	faible - bonne - forte (1)
Superficie inondée	faible - bonne - forte	faible - bonne - forte (1)
durée de la crue	faible - bonne - forte	faible - bonne - forte (1)
Si ces données ont pu être mesurées		
Hauteur d'eau maximum	.....	.....
Superficie inondée	.....	.....
II.- Semis		
Date début semis	.....	.....
fin semis	.....	.....
Superficie semée	faible - bonne - forte	faible - bonne - forte
Etat du sol au semis	mouillé - ressuyé - sec	mouillé - ressuyé - sec
Part de la superficie	0 - 10 %	0 - 10 % (1)
inondée ensemencée	10 - 35 %	10 - 35 % (1)
	35 - 65 %	35 - 65 % (1)
	65 - 90 %	65 - 90 % (1)
	90 - 100 %	90 - 100 % (1)
Si la superficie ensemencée est inférieure à la montée de la superficie inondée ou si elle est inférieure à celle de l'année précédente donner les raisons (2)		
Crue défavorable (trop courte - trop faible)		
décru défavorable (prématurée - tardive - trop rapide - trop lente)		
mauvaise qualité des sols (topographie défavorable - dessiccation trop rapide)		
manque de main d'oeuvre		
manque de semence		
autre raison (préciser).....		
Souhaits des utilisateurs pour les crues futures.		
.....		
.....		
.....		

(1) - rayer les mentions inutiles

(2) - souligner les raisons principales (3 au maximum).

**Enquête sur la valorisation de la crue
par les cultures de décrue**

Crue 19..... Campagne 19.../19...

(Questionnaire à retourner à l'OMVS pour le 30 Avril)

Nom de la cuvette :..... N° UNE Chaumeny.....

I. - Culture pratiquée..... Pour l'année Pour l'année précédente

Culture	Sorgho	Sorgho	(1)
	Sorgho-niébé	Sorgho-niébé	(1)
	Sorgho-béref	Sorgho-béref	(1)
	Autres.....	Autres.....	(1)
Dates début récolte	.....	.....
fin récolte	.....	.....
Part de la superficie ensemencée récoltée	90 - 100 %	90 - 100 %	(1)
	70 - 90 %	70 - 90 %	(1)
	50 - 70 %	50 - 70 %	(1)
	moins de la moitié	moins de la moitié	(1)
Rendements sur les zones récoltées	bon moyen mauvais	bon moyen mauvais	(1)

Si les données ont pu être mesurées

	sorgho	sorgho-niébé	sorgho-béref	autres
Superficies récoltées				
Rendements				

II. - Facteurs qui ont influencé la production

Si la superficie récoltée a été inférieure à 90 % ou si les rendements n'ont pas été bons indiquer les raisons (2).

- mauvaise levée (semis tardif - manque de semence - mauvaise semence)
- concurrence d'autres activités (culture Diéré - culture irriguée - élevage pêche)
mauvaise
- conditions climatiques (basse température - harmattan)
mauvaise
- qualité des sols (trop pauvres - réserve en eau insuffisante)
- problème phytosanitaire (adventices - maladies parasites - oiseaux - criquets-rats))
- autres raisons (préciser.....)

Souhait des utilisateurs pour les prochaines campagnes

(1) : rayer la mention inutile.

(2) : souligner les raisons principales (3 au maximum).

LISTE DES CUVETTES RIVE GAUCHE

UNE Chaumeny

(de l'aval vers l'amont)

Région du GUIDARAR GU

Région de DAGANA DA

Région du N'GALENKA NG1 à NG4

Ile à MORPHIL MO1 (Podor) MO2 (Guédé) MO3 (N'Dioum)

MO4 à MO11 - MO12 (Cascas) MO13 à MO16

MO17 (Saldé) MO18

Rive gauche du DOUE DO1 à DO3

Région ORONFONDE-THILOGNE OT1 (Diorbévol) OT2 à OT6

Région du DIAMEL (de l'amont vers l'aval)

rive gauche DI 1 à DI 4

rive droite DI 5 à DI 6

Région de MATAM KANEL MK1 (Matam) MK2 (Kanel) MK3

Région de TIANGOL-BALLEL TB1 à TB 3

Région de DEMBAKANE DE 1 à DE 3

LISTE DES CUVETTES RIVE DROITE

UNE Chaumeny

(de l'aval vers l'amont)

Région du GARAK GA1 - GA2

Région du KOUNDI KO1 - KO2

Région de BOGUE BO1 (Bogué) BO2 - BO3

Région de TIANGOL M'BAGNE MB1 à MB3

Région de KAEDI KI

Région de GARLI GI

Région de DAO DAO

Région de MOGHANA DEMBAKANE MD1 (Moghana) MD2 - MD3 (wali)

MD4 - MD5

ANNEXE 2

ETUDE DES SOLS DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL PAR
RETRACTOMETRIE. INTERET ET APPORTS DE LA METHODE.

a) - Remarque préliminaire

L'étude des relations sols-eau ou hydro-physique du sol, se base sur des hypothèses théoriques et sur une méthodologie inapplicables dans un milieu comme celui des zones inondables de la vallée du fleuve Sénégal.

Les hypothèses généralement nécessaires sont les suivantes :

- milieu rigide (non gonflant) ;
- milieu homogène : répartition uniforme des particules, pas de macroporosité ;
- profil d'humidité uniforme dans certains cas.

Les mesures réalisées sont en général :

- l'humidité du sol par humidimètre neutronique : étalonnage souvent irréalisable nécessité d'une connaissance de la densité du sol, mesure indirecte de l'état hydrique du sol ;
- la pression de l'eau du sol par tensiométrie : mesure lourde et coûteuse, difficile à interpréter, impossible à mettre en oeuvre dans les sols gonflant et fissurés. De plus, la gamme de pressions mesurées n'est pas celle des pressions intéressant la plante.

De ce bref rappel, il ressort de toute évidence qu'une relation sol-eau est inabordable scientifiquement à partir de ces méthodes, dans la vallée du fleuve Sénégal.

b) - Principe de la rétractométrie

L'étude de la rétraction du sol est une façon entièrement nouvelle de considérer la relation sol-eau. Son emploi permet de contourner toutes les difficultés théoriques et expérimentales citées ci-avant.

Le développement de cette méthodologie est du à E. Braudeau (ORSTOM)

Le principe initial est de suivre la relation entre le volume massique d'un échantillon de sol non perturbé et sa teneur en eau massique. Un dispositif permet de suivre cette relation de manière continue (cf. courbes ci-après). Il apparaît que même pour un sol sableux contenant 10 % de particules fines, une variation de volume fonction de la teneur en eau existe.

Dans un second temps, un modèle a été élaboré, destiné à décrire la courbe de retrait du sol.

Ce modèle est bâti sur le fait que le sol possède une organisation. On distingue des agrégats, contenant un volume correspondant à la microporosité, et des espaces entre les agrégats appelés macroporosité.

Ce modèle permet de distinguer plusieurs phases lors du retrait du sol, notamment, il distingue l'eau se trouvant dans les macropores et la fraction de l'eau se trouvant dans les agrégats, ou volume microporeux.

ANNEXE 2

Calé sur huit paramètres dont la signification physiques est établie, ce modèle permet enfin de redéfinir de façon précise les différentes notions semi-empiriques utilisées par les agronomes et les pédologues : structure du sol, point de flétrissement, stock d'eau , réserve utilisable, capacité de rétention etc...

Enfin, la mesure "in situ" de la rétraction d'un volume de sol a été mise au point.

En conclusion, cette méthode apporte :

Un progrès conceptuel : le sol n'est plus considéré comme un objet rigide, inorganisé. Le gonflement est pris en compte, la différenciation d'agrégats est reconnue ;

Un progrès méthodologique : le sol et son état hydrique sont caractérisés par une mesure directe et simple dont sont extraits les paramètres pertinents.

Un progrès technique : la mesure est directe, réalisable dans toutes les conditions expérimentales ;

Un progrès transdisciplinaire : la même caractérisation du sol devient pertinente pour les agronomes, les pédologues et les physiciens du sol.

Pratiquement, l'application de la rétracométrie trouve des débouchés immédiats en matière de détermination des réserves en eau des sols et de leur suivi en temps réel, de cartographie et d'agronomie.

BIBLIOGRAPHIE SUR LA CULTURE DE DECRUE

1. - Inventaire des superficies inondées et cultivées en décrue.

1.1. Reconnaissance aériennes (méthode JUTON).

- Inventaire des superficies cultivées en décrue
 - Année agricole 1970/71 M. JUTON/M. MUTSAARS
Juin 1971 AFR/REG 61.
 - Année agricole 1972/73 N. BENSOUSSAN/M. MUTSAARS
Mars 1973 AFR/REG. 65/061
 - Année agricole 1973/74 A. O/HAMDINOU/D. RIJKS
Mars 1974 RAF 73/060 - RAF 65/061.

1.2. Télédétection :

- les données NOAA et l'inventaire des superficies inondées et des cultures de décrue dans la vallée du Sénégal (crue 1985/86).
Rapport n° 5 - Laboratoire de télédétection.
Département de géographie - Université de Dakar - Sénégal - Juin 1986.
- L'utilisation des données SPOT pour l'inventaire des superficies inondées et des superficies des cultures de décrue dans la vallée du Sénégal (crue 1986/87) - Cellule d'Evaluation et de Planification Continue - OMVS - Juillet 1987.

1.3. Modèle UNE :

- Etude sur les Unités Naturelles d'Equipement - U. CHAUMENY
Agroéconomiste - Juin 1973 - RAF 65/061.
- Atlas des Unités Naturelles d'Equipement - J. CHAUMENY - Agroéconomiste
Juin 1973 - RAF 65/061.
- Etude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS - Rapport Phase 1
Volume 1B - Optimisation de la crue artificielle.
Rapport définitif - Sir Alexander Gibb and Partners - Electricité de France
International - Euroconsult - Juin 1987.

2. - Données agronomiques sur la culture de décrue

Projet pour le développement de la recherche agronomique et ses applications dans le bassin du fleuve Sénégal :

- La production des céréales dans la vallée I les sorghos J. CASTIAUX -
Juillet - Août 1970.
- La culture de décrue du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal - quelques techniques culturales simples pour son amélioration - SAPIN REYMONDIRAT _ 1968

ANNEXE 3

- La culture du sorgho de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal
L'acquis de la recherche agronomique - P. SAPIN, Ingénieur IRAT
Richard-Toll - Juillet 1971.
 - Principales données sur la culture du sorgho de décrue dans la vallée
du fleuve Sénégal - NGUYEN VU, Ingénieur agronome - Décembre 1971.
 - La culture du sorgho de décrue dans la vallée du Sénégal - Fiches de
vulgarisation - Dakar, Septembre 1974.
3. - Données pédologiques sur les sols de décrue.
- Projet d'enquête sur les rendements des cultures de décrue dans la vallée
du Sénégal - J. MAYNARD - 1956.
 - Etude des facteurs naturels qui influencent la culture de décrue J. MAYNARD
ORSTOM - 1956/57.
- 3.1. Essai de Guédé 1956-1957
- Etude expérimentale des facteurs naturels influant sur les cultures
de décrue - Fascicules A et B - J. MAYNARD - 1954.
 - Effet résiduel de la submersion sur la structure du sol (mise en
évidence à l'aide de l'indice d'instabilité structural de S. HENIN
Sols africains Vol. 5 n° 2 - J. MAYNARD - A. COMBEAU - 1968.
- 3.2. Expérimentation ORSTOM 1980-1982
- Caractéristiques et évolution des propriétés hydriques des sols allu-
viaux de la vallée du fleuve Sénégal - Périmètres de Tilène P. ZANTE
ORSTOM - DAKAR - 1984.
 - Caractéristiques et évolution des propriétés hydriques des sols allu-
viaux de la vallée du fleuve Sénégal - périmètre de Dagana - P. ZANTE
ORSTOM - Dakar 1984.
4. - Propositions de crue artificielle et d'aménagement des cuvettes
- Etude d'exécution du barrage et de l'usine hydroélectrique de
Manantali - Rapport final - Actualisation des données de base -
Annexe 4 Agriculture - Groupement Manantali - Décembre 1977.
 - Réflexion sur "l'optimisation" de la crue artificielle OMVS - Projet
DIama - F. GUERBER - Juillet 1985.
 - Etude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS - Rapport Phase 1
Volume 1B - Optimisation de la crue artificielle - rapport définitif
Sir Alexander Gibb and Partners - Electricité de France International
Euroconsult - Juin 1987.
- Projet d'aménagement de la plaine du Dirol
- Aménagement hydroagricole de la plaine du Dirol Avant-Projet sommaire
J. LEBLOAS USAID - Mission de Dakar - 1984-86
 - Dirol Plan Project - Dames and Moore - 1988
 - Etude préliminaire du régime foncier dans la plaine du Dirol TK PARK
G. ROGERS T. NGALDE - 1986.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
Introduction : Intérêt de l'amélioration des cultures de décrue.....	1
1ère Partie : Détermination des superficies inondées et des superficies cultivées en décrue.....	2
1. - Sondage auprès des populations.....	2
2. - Relevés aériens.....	4
3. - Photographie aérienne.....	9
4. - Télédétection.....	10
Utilisation de NOAA.....	11
Utilisation de SPOT.....	12
5. - Utilisation des modèles.....	16
Le modèle SOGREAH de simulation des crues.....	16
Le modèle UNE d'A. Gibb.....	17
2ème Partie : La pratique de la culture de décrue.....	19
3ème Partie : Les résultats de la recherche.....	20
1. - Les essais de Guédé.....	20
2. - Aspects hydro-physiques.....	21
2.1. - Réserve en eau du sol.....	21
2.2. - Besoins en eau des cultures.....	23
2.3. - Infiltration et durée de submersion.....	25
2.4. - Cas des sols salins.....	29
3. - Aspects agronomiques.....	29
3.1. - Facteurs influant sur le rendement.....	29
3.2. - Les pratiques culturales préconisées par la recherche.....	31
4ème Partie : Les actions à mener.....	36
1. - Suivi évaluation des cultures de décrue.....	36
1.1. - Les enquêtes de terrain.....	36
1.2. - La télédétection.....	37
2. - Détermination des caractéristiques hydro-physiques des sols.....	37
3. - Aménagement de la crue artificielle GIBB.....	38
3.1. - Superficie inondable.....	38
3.2. - Hydrogramme de crue.....	41
4. - Aménagement des cuvettes.....	47
5. - Evolution du régime foncier.....	49
CONCLUSION	50

Annexes : Annexe 1 : Enquête sur la valorisation de la crue par les cultures de décrue	52
Annexe 2 : Etude des sols de la vallée du fleuve Sénégal par rétractométrie.....	56
Annexe 3 : Bibliographie sur la culture de décrue.....	60

INTRODUCTION : INTERET DE L'AMELIORATION DE LA CULTURE DE DECRUE

Les études d'aménagement de la vallée du fleuve Sénégal ont prévu le maintien pendant une période transitoire de la culture de décrue en attendant que l'irrigation puisse être développée dans l'ensemble des cuvettes. En conséquence est-il justifié de se préoccuper de l'amélioration des cuvettes en culture de **décrue** ?

La réponse est incontestablement positive.

- a) - la crue naturelle conduisait à une consommation de l'hectare cultivé en décrue de plus de 1 000 000 m³ qui était sans importance puisque ce volume ne pouvait pas être régularisé. Dans le cas d'une crue artificielle une partie du volume de la crue proviendra encore des apports non régularisables. Mais une autre partie proviendra des apports régularisables utilisables pour d'autres usages. Il faut donc en conséquence que cette partie soit utilisée de façon à permettre effectivement un accroissement sensible de la superficie susceptible d'être cultivée à partir de la crue résiduelle. Il est donc important de définir avec précision, le minimum de hauteur et de durée de submersion à garantir, la date optimum de commencement de la décrue, la vitesse de décrue ;
- b) - la culture de décrue programmée qu'il sera possible de réaliser après une crue artificielle constitue une excellente préparation à l'irrigation à condition de former les paysans à :

- . gérer la réserve en eau du sol,
- . associer à l'utilisation de l'eau, l'emploi des engrais et la lutte contre les adventices.

La culture de décrue constitue en fait une forme de culture irriguée avec un seul apport programmé en début de culture. Pour que les plantes puissent tirer parti de cette eau, il qu'elles aient une alimentation suffisante (engrais) et qu'elles ne souffrent pas de la concurrence des mauvaises herbes (travail du sol). Ces principes sont les mêmes pour l'irrigation classique.

L'effort de vulgarisation pour la culture de décrue ne doit pas être conçu comme l'apprentissage d'une technique transitoire mais comme une formation en vue de l'introduction future de l'irrigation.

C'est pourquoi, le problème de la culture de décrue préoccupe de nombreux organismes et différents programmes d'études et d'enquêtes sont envisagés sans que les responsables de ces programmes soient toujours parfaitement informés des études déjà réalisées, des résultats obtenus et des points qui méritent d'être plus particulièrement étudiés.

Il nous a paru important de tenter d'établir le point des connaissances acquises tant en ce qui concerne les connaissances relatives aux superficies inondées et aux superficies cultivées qu'en ce qui concerne la gestion de l'eau en culture de décrue.

Cette étude a pris en compte les informations immédiatement disponibles à l'OMVS et devront être complétées et dans certains cas rectifiées pour tenir compte des informations existant par ailleurs qui n'ont pas été exploitées et surtout des informations qui pourront fournir les différents organismes intéressés.

PREMIERE PARTIE DETERMINATION DES SUPERFICIES INONDEES ET DES SUPERFICIES

Le premier problème qui a été posé en matière de culture de ^{Cultures} celui de la détermination des superficies cultivées dans l'ensemble de la vallée du fleuve. Ce problème est très lié à celui de l'estimation des superficies inondées.

Plusieurs méthodes ont été utilisées.

1. - Sondage auprès des populations

Ces méthodes ont été pratiquées par le Sénégal dans le cadre des enquêtes agricoles effectuées par les services de l'agriculture de la région du Fleuve.

La méthode de sondage était en 1970 la suivante :

- choix des villages-échantillon,
- choix des cultivateurs-échantillon,
- arpentage et dépiquage des champs des cultivateurs retenus,
- calcul de la surface par personne active,
- calcul de la superficie cultivée à partir de l'estimation du nombre de personnes actives.

Les résultats établis par département (Dagana, Podor, Matam) et par arrondissement concernent les cultures :

- mil et sorgho:diéri,
- sorgho :oualo,
- maïs:diéri oualo, et falo,
- niébé:diéri et oualo,
- patate:oualo
- arachide:diéri.

Pour les cultures de maïs et de niébé, JUTON a admis que l'on pouvait considérer qu'1/3 de ces cultures sont des cultures de oualo.

Pour l'extrapolation à l'ensemble de la vallée, il a été proposé plusieurs formules :

- a) - superficie rive droite = 0,8 superficie rive gauche
- b) - superficie rive droite aval = 0,4 superficie rive gauche aval,
superficie rive droite amont = superficie rive gauche.

Il semble que dans ces formules on a inclus le Gorgol.
D'après les renseignements fournis par JUTON, en 1970 on disposait des enquêtes pour les périodes suivantes :

1946-1947 = 2 ans
1950-1957 = 8 ans
1961 = 1 an
1963-1970 = 8 ans.

Il conviendrait de vérifier si des enquêtes ont été effectuées pour les années ultérieures. Il est nécessaire de disposer non seulement des résultats mais aussi du protocole de réalisation de ces sondages de façon à pouvoir le cas échéant éliminer les données qui paraissent insuffisamment fiables.

2. - Relevés aériens

Trois campagnes de relevés aériens ont été organisées par la FAO en 1970-1971 ; 1972-73 ; 1973-74 ; (crue de 1970-1972 - 1973) et ont fait l'objet de trois rapports :

- 1970-71 JUTON - Mutsars
- 1972-73 Bensoussan - Mutsars
- 1973-75 Hamdinou - Rijks.

La méthode a été exposée de façon détaillée dans le rapport JUTON - Mutsars.

- survol de la vallée et transcription des observations sur un jeu de photos au 1/50 000,
- report des indications portées sur les photos sur les cartes au 1/50 000 de la vallée,
- coloriage et planimétrage sur le 1/50 000,
- établissement d'une carte de présentation au 1/200 000è.

La période convenable pour effectuer les vols est fin Janvier - début Février pour la partie amont, fin Février pour la partie aval.

Le rapport fournit des informations utiles pour estimer l'importance du travail et le coût de l'opération :

- avion monomoteur 200-250 CV (Robin HR 100 ou Piper Cherokee)
4 places,
- vitesse croisière 270-300 km/h , vitesse observation 160-180 km/h,
- altitude d'observation 400/600 m,
- autonomie 10 heures,
- nombre d'heures de vol 1972 crue très faible 15 heures,
(observateur + assistant) 1970 crue normale 38 heures30,
- report photos sur cartes 100 h/observateur
- planimétrage 150 h assistant
- carte de présentation - rapport 20 h observateur.

On peut donc considérer que compte tenu du temps de préparation il faut prévoir :

- 5 semaines d'observateur) qui peuvent être des experts de
- 5 semaines d'assistant) l'OMVS.

Il faut envisager environ 40 heures de vol.

En admettant un prix de l'heure de vol de 100 000 F, le coût serait de l'ordre de 4 000 000 F.

Pour l'ensemble des trois années, on dispose des superficies réparties :

- zone amont rive droite et rive gauche
- zone aval rive droite et rive gauche.

De plus, pour l'année 1970-71, on dispose d'une répartition par département et arrondissement.

Enfin, pour les années 1970-71 et 1972-73, il existe une répartition par UNE (Atlas Chaumeny).

L'exploitation de ces résultats permet certaines études comparatives :

a) - JUTON a comparé les résultats des relevés aériens aux enquêtes par sondage. Les différences sont considérables 54 500 pour les relevés aériens, 31 115 pour l'enquête par sondage. Pour essayer de comprendre cette différence, il a effectué une comparaison à l'échelle des 9 arrondissements. Il conclut que la comparaison faite au niveau des arrondissements est "absolument décevante et déroutante". Suivant les arrondissements les chiffres varient dans les rapports 6/1 à 4/1. Il est incontestable que certains résultats sont aberrants. Mais en l'absence de compte rendu d'exécution de l'enquête, il n'est pas possible d'en déterminer les causes : échantillonnage, mesure sur le terrain, extrapolation du sondage.

b) - Pour ces 3 années, il est possible de calculer le rapport entre les superficies irriguées en rive droite et en rive gauche en vue de l'extrapolation des mesures effectuées sur une rive.

	1970-71	1972-73	1973-74
Amont	0,78 (0,50)	0,61 (0,30)	0,50
Aval	0,78	0,26	0,61
TOTAL	0,72 (0,67)	0,42 (0,28)	0,56

(Les chiffres entre parenthèses concernent la rive droite sans le Gorgol).

On peut constater des variations analogues dans le rapport entre culture aval et amont.

	1970-71	1972-73	1973-74
Rive gauche	1,59	0,5 (1,0)	1,06
Rive droite	1,59 (2,48)	0,5 (1,0)	1,30
TOTAL	1,59 (1,89)	0,93 (1,15)	1,14

Ces résultats montrent une extrême hétérogénéité de la répartition des cultures entre rive droite et rive gauche, amont et aval suivant les années et l'importance de la crue.

Il est donc impossible d'extrapoler de façon simple les superficies cultivées à partir des données relatives à une zone et en particulier à partir des données disponibles pour la rive gauche.

Il semble en effet que les conditions les plus favorables pour la réalisation des cultures de décrue sont obtenues pour chaque cuvette pour une crue de caractéristiques particulières.

En effet, il est vraisemblable que compte tenu des conditions de remplissage et de vidange de chaque cuvette, de l'importance des superficies de hollaldé, l'infiltration et le stockage de l'eau, le dénoyage et le réssuage des terres s'effectue de façon très différente. La disponibilité de main d'oeuvre intervient certainement aussi mais uniquement pour le plafonnement de la superficie cultivée.

Compte tenu des données disponibles, on peut caractériser l'importance des cultures de décrue dans les différentes zones par le pourcentage de culture de décrue. *par rapp. à quoi ?*

Année	Caractéristiques de la crue	Amont			Aval	
		RG	RD	Gorgol	RG	RD
1972-73	Exceptionnelle faible	32	10	10	38	10
1973-74	Faible	31		16	33	20
1970-71	Moyenne faible	22	11	6	35	26

De façon qualitative, on peut noter que la part des cultures de décrue reste sensiblement constante pour l'ensemble rive droite/amont-Gorgol et pour la rive gauche aval et est très variable pour la rive gauche amont, dans le sens inverse de la crue ainsi que pour la rive droite aval, mais dans le même sens que la crue.

Il serait bien évidemment nécessaire de posséder d'autres données et en particulier dans le cas de crues moyennes à fortes pour confirmer ces tendances. Et surtout il serait nécessaire d'affiner ces données à un niveau plus fin.

c) - Pour une étude analytique des cultures de décrue, on dispose d'un découpage dont la validité peut être contestée d'autant plus qu'il a été fait dans un objectif d'équipement. Ce découpage est celui des Unités Naturelles d'Equipement (UNE) qui a été proposée dans l'Etude Chaumeny (Etude Hydroagricole du bassin du fleuve Sénégal RAF 65/061 Juin 1973). Mais il a l'avantage de permettre de disposer facilement de données topographiques (courbes, surfaces, hauteur) et pédologique (cartes d'aptitudes cultivables au 1/50 000) ainsi que de données sur les boisements et forêts. C'est pourquoi, il paraît utile de l'utiliser.

Malheureusement les données n'ont été exploitées au niveau des UNE que pour les deux années 1970/71 et 1972/73.

L'année 1972/73 n'est pas exploitable car la culture de décrue n'a été pratiquée que dans 15 UNE sur 72.

Pour l'année 1970/71, on peut établir un tableau de répartition des UNE en fonction du taux de culture de décrue par rapport à la superficie inondée cultivable (appelée surface inondable dans le rapport Chaumeny) définie dans cette étude à partir de la cote maximum de culture de décrue ainsi que du taux de culture de décrue par rapport à la superficie de hollaldé.

Taux de culture de décrue	Nombre d'UNE				
	Pratiquement nul <15 %	Environ 1/4 >15% <35%	Environ 1/2 >35% <65%	Environ 3/4 >65% <85%	totalité >85%
Superficie inondée cultivable	9	21	33	7	2
Superficie hollaldé	8	13	28	18	5

Il serait évidemment intéressant de connaître comment ces répartitions varient d'une année à l'autre et éventuellement d'en tirer une typologie des cuvettes du point de vue de la culture de décrue.

d) - On dispose pour les trois années de cartes au 1/200 000^e permettant de repérer les zones cultivées en décrue pour les années 1970/71, 1972/73 et 1973/74. Il serait intéressant d'en tirer des calques superposables pour analyser qualitativement dans chaque UNE les variations des zones cultivées en décrue.

3. - Photographie aérienne

On dispose pour l'année 1979, 1980 d'une couverture aérienne totale au 1/10 000 prise de Décembre 1979 à Février 1980. Les photographies sont d'excellente qualité.

Elles n'ont pas été exploitées mais quelques tests ont montré qu'elles constituaient un excellent document de référence pour étudier l'évolution de la vallée au cours des années 1980 (1).

- déboisements - défrichements
- extension des villages.

En ce qui concerne les cultures de décrue, leur repérage est aisé sur les photographies prises en Février (végétation développée) mais plus difficile sur les photographies prises en Décembre (levée de semis).

(1) : Note - Il existe des couvertures à diverses échelles, plus anciennes
 1952-54 1/50 000
 1958-64 1/15 000 et 1/25 000

D'autre part, la crue de 1979 est très semblable à celle de 1972.

Débit moyen (maïs)	Août	Septembre	Octobre
1972	978	1315	590
1979	983	1277	569

Nous avons vu que l'étude de la crue de 1972 n'avait apporté que peu d'informations sur les cultures de décrue qui ont été très limitées. Il ne paraît donc pas justifié d'exploiter ces photographies pour l'étude des cultures de décrue.

Dans le cadre de différents projets, il peut être prévu des levés aériens partiels de certaines zones du fleuve. La période de prise de vue est fixée en fonction des objectifs de l'étude et des possibilités de réalisation des photographies. En conséquence leur intérêt pour l'étude des zones inondées et des cultures de décrue est variable.

Il serait important d'établir un fichier précis des photographies disponibles (localisation - échelle - date de prise de vue).

Même si les photos prises en période de crue ne permettent pas de déterminer les superficies inondées car elles coïncident rarement avec la pointe de crue, elles pourraient cependant être exploitées pour analyser les mécanismes de remplissage de certaines cuvettes.

4. - Téledétection

Beaucoup d'espoirs ont été fondés sur ces méthodes. Leur avantage principal est leur faible coût par rapport aux photographies aériennes, 500 à 15 000 F le km² pour la photographie aérienne, 150 F le km² pour la télédétection à partir de prises de vues SPOT qui sont les plus coûteuses. De plus, elles ne soulèvent aucun problème d'autorisation de survol.

Mais compte tenu de la superficie de la vallée l'investissement nécessaire est important pour les prises de vues par SPOT.

- Une couverture complète images multispectrales (films 1/400 000 agrandissements 1/50 000 pour une interprétation visuelle) et bande magnétique CCT (pour traitement numérique) revient à environ 19 millions de francs.

La seule couverture complète en images multispectrales coûte encore environ 11 millions de francs.

Les coûts pourraient être réduits en utilisant des prises de vue Landstat (Thematic Mapper) mais il serait nécessaire de tester les possibilités d'utilisation pour l'étude des superficies inondées (suivi de la pointe de décrue) et pour l'étude des cultures de décrue (résolution).

Il est bien évident que l'acquisition de ces couvertures ne peut être justifiée que par des utilisations multiples et notamment l'acquisition de données annuelles sur les zones cultivées et particulièrement les zones irriguées ou des études générales sur des problèmes spécifiques pâturages, forêts crue et culture de décrue.

Utilisation de NOAA

Antérieurement aux campagnes réalisées par l'OMVS en 1987 et 1988, le laboratoire de télédétection du département de géographie de l'Université de Dakar avait en 1983 procédé à un inventaire des superficies inondées et des cultures de décrue dans la vallée du Sénégal à partir des données NOAA.

Ces données ont été utilisées du fait de l'impossibilité d'obtenir les données LANDSAT (THEMATIC MAPPER) malgré l'insuffisante résolution (1100 m). Par contre ce satellite permet d'obtenir en 9 jours 3 couvertures. Les images sont à l'échelle du 1/850 000. Il a été retenu 2 classes qui peuvent caractériser les zones inondées.

Classe 1 : eaux estuariennes et lacustres - cuvettes de décantation inondées

Classe 2 : zones humides - bordures exondées des cuvettes de décantation.

Toutefois, cette classe 2 recouvre aussi les terrains humides à la suite de précipitations et la distinction est impossible à faire. 4 couvertures de la vallée prises sur une période d'une semaine ont été exploitées et ont conduit aux résultats suivants :

	Surfaces inondées	Surfaces humides
25 Septembre	12 200	280 000
30 Septembre	47 000	236 000
1er Octobre	53 000	295 000
2 Octobre	57 000	214 000

Ces résultats sont difficilement interprétables. En effet, la pointe de crue s'est produite le 10 Septembre à Bakel et elle se trouvait aux environs de Boghé le 25 Septembre et aux environs de Podor du 30 Septembre au 2 Octobre.

Les variations de superficie sont en fait la différence entre l'accroissement des superficies à l'aval et la diminution des superficies à l'amont et il est donc impossible de déduire de ces chiffres la superficie inondée. Il est indispensable pour estimer l'ampleur de la crue de disposer d'une série de scènes prises au voisinage de la pointe de crue et en conséquence décalées dans le temps d'environ 1 mois entre Bakel et Dagana.

D'autre part le pouvoir de résolution de NOAA ne permet pas de distinguer les cultures de décrues réparties en tâches dans l'ensemble de la vallée.

Un satellite de type NOAA n'est donc pas adapté aux inventaires de superficies inondées et de cultures de décrue.

Utilisation de SPOT

La Cellule Télédétection de l'OMVS a effectué des tests pendant trois campagnes 1986/87 - 1987/88 - 1988/89.

a) - Crue maximale

Pour la crue maximale les prises de vue sont programmées en fonction des dates habituelles de la pointe de crue :

- Bakel 10 Septembre ± une semaine
- Saint-Louis 27 Septembre ± une semaine.

Malgré les performances de SPOT qui permet d'effectuer une prise de vue en visée oblique tous les 3-4 jours certaines scènes n'ont pu être obtenues qu'avec 1 ou 2 mois de retard en raison des importantes couvertures nuageuses qui subsistent en fin d'hivernage.

Ecart par rapport à la pointe de crue	Nombre de scènes			Non acquis
	Moins d'une semaine de la pointe	Moins de 2 mois de la pointe	Plus de 2 mois de la pointe	
1986	9 (1)	3	2	1
1987	5	6	-	2

(1) dont une inexploitable en raison d'un couvert nuageux trop important.

L'analyse numérique permet de distinguer trois classes parmi les zones inondées :

- classe 1 lit mineur et chenaux d'écoulement
- classe 2 cuvettes et petites dépressions
- classe 3 sols engorgés de sous faible hauteur en bordure des cuvettes, dépressions et chenaux.

L'interprétation visuelle ne permet d'individualiser que les classes 1 et 2 avec une excellente précision puisque la différence d'estimation des surfaces n'est que 2 %. La classe 3 difficilement repérable visuellement ne représente sur les zones test que 14 % de la superficie inondée, de plus il s'agit de zones marginales du point de vue de la culture de décrue.

Toutefois, une difficulté se présente pour les scènes qui n'ont pu être obtenues moins d'une semaine après la pointe de la crue. Il est certes possible de repérer autour des eaux libres des zones plus sombres correspondant à des sols à forte rétention d'eau (hollaldés). Mais est-il possible d'affirmer que ces sols ont été submergés ou qu'ils ont été saturés uniquement par les précipitations et éventuellement le ruissellement local.

En conclusion il apparaît qu'il est très possible de délimiter avec précision les limites des zones inondées par analyse visuelle à condition de disposer de scènes obtenues moins d'une semaine à 10 jours de la pointe de crue. Pour cette étude, il est donc exclu d'utiliser des satellites dont la périodicité est de l'ordre du mois. Même avec un satellite de périodicité 3-4 jours SPOT, il n'est possible de disposer de scènes aux dates convenables que sur la moitié environ de la vallée. Pour pouvoir effectuer des études comparatives et des interpolations et extrapolations, il est donc nécessaire d'utiliser un découpage assez fin. Nous proposons de retenir le découpage par UNE et de compléter l'estimation faite sur l'ensemble de la vallée par une estimation par UNE.

Pour la crue de 1986 cette méthode a conduit à une superficie inondée dans la vallée de 266 563 ha excluant les deux scènes les plus amont (Bakel) c'est-à-dire approximativement les UNE de 1 à OP - 3 - MD 3 à MD 4 - TB 3 et une partie de MD 2 - TB 2. Compte tenu de la côte atteinte (19 m) Bakel et des données topographiques relatives à ces UNE on peut estimer la superficie inondée sur ces deux scènes à 18 500 ha (modèle UNE Alexander Gibb cf. surfac.). La superficie inondée dans la vallée en 1986 aurait donc été de 285 000 ha.

Il faut observer que ces chiffres inclut^{ent} les surfaces inondées à l'intérieur des UNE et hors UNE. Pour pouvoir le rendre comparable aux chiffres obtenus par le modèle UNE d'Alexander Gibb il serait nécessaire de ventiler cette superficie par UNE.

La crue de 1987 a été trop faible pour qu'il soit possible d'en tirer des informations utiles.

La crue de 1988 a été cartographiée mais les résultats ne sont pas disponibles.

b) - Culture de décrue

C'est normalement au stade de floraison épiaison que les cultures de décrue (essentiellement sorgho) sont les mieux perceptibles. Cela conduit donc à effectuer les prises de vue entre début Février pour Bakel et fin Février pour Saint-Louis. A cette période de l'année sans pluies, on pourrait penser que les prises de vue peuvent être effectuées sans difficulté. Toutefois en 1988 en raison de brumes sèches ou de couverture nuageuse, il n'a été possible d'obtenir que quelques vues. Il serait utile de disposer d'informations météorologiques pour estimer l'importance de cette contrainte. Toutefois l'évolution de la végétation est à ce stade suffisamment lente pour que certaines prises de vue puissent être retardées.

L'analyse numérique ne permet malheureusement pas de discriminer avec suffisamment de précision les cultures de décrue d'autres formations en végétation à cette période de cultures irriguées, herbes, vétiver et même broussailles et forêts.

Toutefois, une analyse multitemporelle, superposition de l'image de la période de crue et de l'image de la période de décrue permet d'isoler les cultures de décrue. Il conviendrait toutefois de contrôler certains risques de confusion qui pourrait survenir dans le cas de bourgoutières ou de graminées naturelles.

Les résultats obtenus pour 2 zones testées en 1986-87 :

Zone Matam Est	: 50 % des zones inondées,
Scène Podor	: 64 % des zones inondées (déterminées par analyse visuelle).

paraissent plausibles compte tenu des chiffres obtenus par ailleurs pour des crues analogues. Mais pour entreprendre une analyse plus précise il serait là encore nécessaire de disposer de résultats ventilés par UNE. Par ailleurs, les cartes d'aptitudes porte l'indication de la végétation observée lors de leur établissement et il serait intéressant de les confronter avec les résultats obtenus par analyse numérique.

L'analyse visuelle ne permet pas d'identifier aisément les cultures de décrue. Toutefois, compte tenu de la haute résolution obtenue avec les images SPOT (20 m en couleur) on peut distinguer assez nettement des parcelles cultivées du fait de leurs limites géométriques.

Il paraît donc possible de procéder visuellement au moins à une étude quantitative permettant par UNE :

- de localiser les zones de culture de décrue. Cette localisation devrait être faite à l'échelle du 1/200 000 pour permettre une comparaison avec les enquêtes faites par observation aérienne ;

- d'estimer l'importance de la superficie cultivée par rapport à la superficie inondée déterminée par ailleurs.

Il est donc nécessaire de compléter les tests déjà réalisés sur les cultures de décrue ainsi qu'il vient d'être indiqué avant de pouvoir conclure en ce qui concerne les possibilités dans ce domaine.

5. - Utilisation de modèles

Pour la détermination des zones inondées, il a été utilisé deux modèles :

a) - le modèle SOGREAH de simulation des crues

Il s'agit d'un modèle maillé complexe prenant en compte les divers écoulements et échanges entre lit mineur et lit majeur. Le modèle permet de calculer le niveau de l'eau dans ces divers casiers et en conséquence la superficie inondée. Il s'agit d'un modèle lourd disponible au siège de la SOGREAH à Grenoble et qui a été utilisé pour calculer les zones inondées 15 jours, 30 jours et 45 jours ainsi que la zone d'inondation maximum pour les 4 années 1968 - 1969 - 1970 et 1973 (avec toutefois diverses hypothèses d'endiguement en rive droite du delta du Sénégal). Il a été réutilisé en 1981-1982 dans le cadre de l'étude GERSAR d'aménagement de la rive gauche.

Les résultats sont disponibles suivant un découpage en 19 régions qui ne coïncide pas avec le découpage en UNE. La précision obtenue sur les niveaux est satisfaisante en ce qui concerne le cours principal = la moyenne des niveaux maxima calculés sur les 16 stations utilisés diffère de la moyenne des niveaux maxima sur le cours principal et il peut y avoir localement pour certaines cuvettes des différences beaucoup plus importantes. La précision obtenue sur les limites est celle de la carte au 1/50 000.

Pour être facilement utilisable ce modèle devait être transformé pour fonctionner sur micro-ordinateur. Mais l'investissement risque d'être aussi important que celui nécessaire pour la réalisation d'un nouveau modèle, d'autant plus que l'équipe qui avait réalisé le modèle n'est plus à SOGREAH.

./.

./.

b) - Le modèle UNE Alexander Gibb

Ce modèle repose sur des hypothèses simplificatrices :

- les zones cultivées en décrue se trouvent pour l'essentiel à l'intérieur des UNE ;

Cette hypothèse a été contrôlée par Chaumeny pour l'année 1970. Elle n'était vérifiée qu'à 11 % près. Sur les 103 000 ha cultivés en décrue 89 % étaient situés dans les UNE.

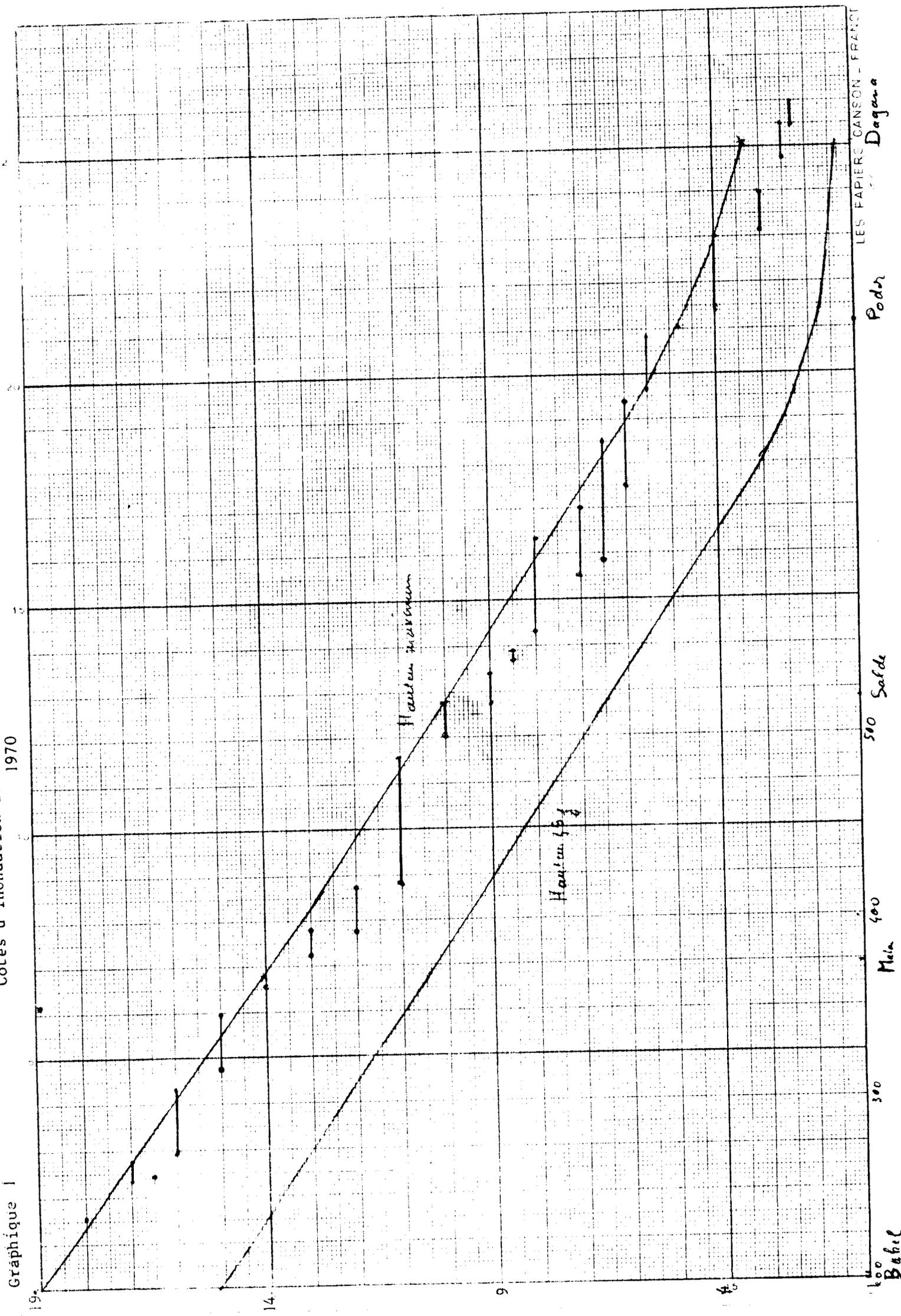
- Le niveau dans les cuvettes est le même que dans le cours d'eau au droit de cette cuvette. Compte tenu de la complexité des écoulements dans les chenaux du lit majeur, il est très difficile d'estimer la validité de cette hypothèse en particulier pendant les périodes de remplissage et de vidange. Il serait utile d'entreprendre des contrôles soit directs (par l'installation d'échelles à maxima) soit indirects à partir des superficies relevées et des courbes hauteurs superficie disponible pour chaque UNE .

A partir des côtes relevées aux stations de Bakel, Matam, Saldé, Podor et Dagana, il est possible de tracer pour 1970 la ligne de côte maintenue 30 j tout le long du fleuve. Il a été tracé aussi la ligne de côte maintenue 45 j en 1977 qui correspond à la vidange pratiquement totale des cuvettes.

A partir des données de l'Etude Chaumeny, il est possible de porter la côte maximum CD (c'est-à-dire la côte à partir de laquelle la culture de décrue a été pratiquée) observée dans les cuvettes repérées par rapport aux PK du fleuve.

Le graphique correspondant est joint en annexe. On constate que dans la plupart des cuvettes, la côte est bien inférieure à celle observée sur le fleuve. Malgré l'imprécision des données résultant du fait que la côte maximum CD est estimée aux mètres près (éventuellement 0,50 m) et que cette côte ne correspond pas nécessairement à la hauteur maintenue 30 jours, il est possible d'avoir une estimation qualitative de la validité de l'hypothèse faite de l'égalité des côtes dans le lit mineur et les cuvettes situées sur un même profil en travers. Les différences peuvent en fait dépasser 1 m et semblent en moyenne être de l'ordre de 0,50 m. Cette différence est plus marquée dans certaines zones (Oronfondé, Thilogne et Ile à Morphil).

Graphique 1
 Côtés d'inondation dans les cuvettes comparés aux côtés du fleuve
 1970



- la ligne d'eau dans le fleuve est calculée par interpolation entre les hauteurs mesurées aux stations de :

- Bakel (PK 202) - Matam (PK 373) - Saldé (PK 522) - Podor (PK 729)
- Dagana (PK 827).

Il existe pour le projet de navigation des études de ligne d'eau pour les débits faibles. Mais est-il possible d'extrapoler ces résultats pour les débits de crue ?

Malgré toutes les incertitudes qui subsistent, ce modèle est très certainement l'outil le plus valable pour le calcul des superficies inondées. Il est indispensable qu'il soit intégré à l'ensemble des modèles de gestion en cours d'établissement par l'OMVS.

Mais simultanément il faut contrôler sa validité dans différentes conditions de crue et de prévoir en conséquence :

- des mesures de niveau à l'intérieur des différentes cuvettes. Il semble que des échelles ont été installées dans le cadre de divers programmes et projets. Il serait utile de les recenser et de rechercher les relevés existants ;

- des mesures des superficies inondées à partir non seulement des inventaires réalisés par l'OMVS en 1986 et 1987 mais aussi à partir de tous les documents (photographies aériennes, données de télédétection qui ont été établis pendant la période de crue (Août à Octobre) dans le cadre de divers projets réalisés non seulement par l'OMVS mais aussi par divers organismes nationaux. Il serait utile de mettre en place un système permettant de recenser toutes les données existant dans ce domaine.

2EME PARTIE : LA PRATIQUE DE LA CULTURE DE DECRUE

De nombreuses études ont été effectuées sur les cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal depuis plus de 30 ans (voir bibliographie).

Les principales conclusions de ces diverses études ont été reprises dans l'étude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS (A. Gibb and Partners-Electricité de France International - Euroconsult). :

- les cultures de décrue sont localisées dans les cuvettes (Walo) sur des sols riches en argile (hollaldé et faux hollaldé)

ou sur les berges du lit mineur (Walo) sur des sols légers,

- les cultures pratiquées sont les suivantes

dans la vallée	75 à 80 % (jusqu'à 90 %)	de sorgho
	15 à 20 %	de niébé ?
	5 à 10 %	de béref ?

.....
dans le Falo généralement des cultures associées maïs, patates douces, légumes.

- Les cultures de décrue sont semées entre mi-octobre et fin novembre et récoltées en Avril-Mai.

- Les dates de semis sont fonction de la concurrence des cultures de diéri, de la date de retrait des eaux, de la vitesse de ressuage et de la température.

- Une famille de 6 personnes peut cultiver 2 à 3 ha de Walo, la main-d'oeuvre disponible permet d'irriguer 110 000 ha répartis :

- Basse Vallée.....	60 000 ha
- Moyenne Vallée	35 000 ha
- Haute Vallée.....	15 000 ha.

- Les pratiques culturales comportent le semis au baton fousseur (lougal) l'arrachage des herbes et le grattage du sol (pour limiter les pertes d'eau) le gardiennage (pour protéger les récoltes contre les oiseaux) la récolte et le transfert.

- Les rendements varient de 8 à 800 kg/ha et la production au cours des années 70 a varié entre 6 000 et 40 000 tonnes essentiellement en fonction de la superficie cultivée liée elle-même aux caractéristiques de la crue.

3EME PARTIE : LES RESULTATS DE LA RECHERCHE

1. - Les essais de Guédé

En dehors de quelques résultats épars, les seules études approfondies sur les cultures de décrue ont été effectuées à Guédé en 1956-57 et en fait l'objet d'un rapport de J. MAYMARD.

Ces essais ont porté sur 2 des 4 éléments caractéristiques de la crue : la durée de submersion (reconstitution de la réserve), la date de retrait (date de semis).

Les deux autres éléments :

- hauteur d'eau
- vitesse de retrait.

n'ont pu être testés au cours de ces essais, le premier parce que le dispositif expérimental (petites cuvettes) ne permettait pas de faire varier ce paramètre et le second parce qu'il s'agit d'un problème d'organisation du travail. Les essais ont porté en plus de la culture traditionnelle de sorgho sur hollaldé, sur des cultures de sorgho sur fondé et sur des cultures de coton sur hollaldé.

Pour le sorgho sur fondé il a été testé 4 durées de submersion (2-3-4-5 semaines), une seule date de retrait (1er Novembre) et 3 variétés.

Pour le sorgho sur hollaldé, il a été testé 3 durées de submersion (2-3-4 mois) 3 dates de retrait classées en fonction de la durée de submersion (1er Novembre - 15 jours - 15 Novembre - 15 jours - 1er Décembre - 15 jours) et 3 variétés pour le coton sur hollaldé il a été testé 2 durées de submersion (3-4 mois) 3 dates de retrait classées en fonction de la durée de submersion (15 novembre - 15 jours - 1er Décembre - 15 jours et 3 variétés).

Chacun des essais a fait l'objet de 6 répétitions ce qui a permis de disposer de très nombreux résultats.

1er essais	: 4 X 3 X 6 = 72 résultats
2è essai	: 3 X 3 X 3 X 6 = 162 résultats
3è essai	: 2 X 3 X 3 X 6 = 108 résultats.

susceptibles d'être exploités statistiquement.

2. - ASPECTS HYDROPHYSIQUES

2.1. - Réserve en eau du sol

Les essais de Guédé ont comporté des mesures des caractéristiques des sols au laboratoire et au champ.

a) - Mesures au laboratoire

La porosité en grand ou macroporosité a été estimée à partir du coefficient de retrait caractérisé par des dimensions des fissures (en admettant que le sol est constitué de troncs de pyramides jointifs à leur base).

Hollaldé $P_1 = 8,12 \%$

La porosité des mottes ou microporosité a été mesurée en laboratoire sur sol sec.

Hollaldé $p_2 = 34,5 \%$

Fondé $p_2 = 28 \%$.

La porosité totale est pour le hollaldé $42,6 \%$.

b) - Mesures au champ

La capacité de rétention au champ a été déterminée à partir des profils hydriques.

Elle est fonction du taux d'argile

$C_1 = 7,77 + 32x(\text{taux d'argile})$

Pour l'humidité équivalente

$C_2 = 19,47 + 64 x (\text{taux d'argile})$

Ces formules conduisent aux valeurs suivantes :

	Taux d'argile	Capacité de rétention	Humidité équivalente
Hollaldé	8,5	23,8	51,5
Fondé balléré	8,43	21,5	47
Fondé ranéré	8,29	17	38

Les essais n'ont pas comporté de mesure au point de flétrissement et l'on ne peut déterminer la réserve utile.

Ces résultats peuvent être comparés à d'autres données tirées de diverses études.

Note de N'GUYEN VU de Décembre 1971.

Capacité de rétention..... 30 %

Humidité au point de flétrissement.... 20 %

ce qui conduirait pour une profondeur de 1,80 m à une réserve utile de 180 mm.

Etudes ORSTOM des sols alluviaux de la vallée du Sénégal
LOYER-CHEVAL - LEBRUSQ - ZANTE 1980/1982)

SOL	Profondeur	Taux argile	Humidité Pf 4,2%	Capacité de rétention(%)	Microporosité	Humidité	Porosité totale
1 Hollaldé (Lampsar)	0-50	0,36	12	31	-	34	-
	0-80	0,25	9	24,5	-	27,5	-
2 Hollaldé (Dagana)	0-25	0,65	25,5	48	-	53-55	-
	0-140	0,56	28	-	-	45-47	-
3 Faux- Hollaldé (Dagana)	0-50	0,56	26	45-47	40-43,5	48,5-49,5	45,5-48,5
	0-100	0,58	29	-	-	44,5-46	-
4 Fondé Ranéré (Dagana)	0-50	0,31	15	31-33	28-30	38-40	36,5-45,5
	0-100	0,24	13	33	-	32-39	-
	0-150	0,20	15	38	-	33-38	-
	0-250	-	-	-	-	39-41	-

Ces résultats sont difficilement exploitables car en fait les sols de la basse vallée sont très hétérogènes et comportent fréquemment des passages sablonneux; par exemple, le hollaldé du Lampsar après 30 cm repose sur une couche sableuse.

On pourrait cependant retenir, pour les hollaldé et faux hollaldé une humidité à pf 4,2 de 25 à 30 %, une capacité de rétention de 45 à 50 % une humidité à saturation de 45 à 50 %.

Pour les fondés, une humidité à pf 4,2 de 15 % une capacité de rétention de 35 % et une humidité à saturation de 35 à 40%

On pourrait donc estimer :

la réserve utile pour une profondeur de 1,80 m à 360 mm pour les hollaldé, faux hollaldé et fondés.

la dose de remplissage en supposant le sol complètement desséché, à 900mm pour les hollaldé et 720mm pour les fondés.

2.2. - Besoins en eau des cultures de décrue

Il est intéressant de comparer la réserve disponible suivant les différents types de sols aux besoins en eau donnés par Rijks pour le sorgho (moyennes sur 4 ans observées à Guédé et Kaédi).

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Total
Sorgho	70	110	140	150	80	550

Les besoins totaux 550 m sont très supérieurs aux valeurs indiquées précédemment pour (180 mm à 360 mm) ce qui implique que les besoins du sorgho de décrue sont très inférieurs aux besoins du sorgho en irrigué ou en pluvial.

Cultures en hivernage

Les essais ont permis de calculer l'évapotranspiration à partir des profils hydriques en partant de la valeur estimée de la capacité au champ au moment du semis.

Pour le sorgho, il a été estimé une consommation de 90 à 150 mm de la réserve. Même si l'on ajoute les 37 mm de pluie tombée en Décembre (qui n'ont certainement pas été entièrement utilisés) les besoins ne dépassent pas 180 mm.

N'GUYEN VU dans la note de Décembre 1971 indique la même consommation de 180 mm pour le sorgho sans engrais. Par contre avec un apport de 200 unités d'azote la consommation atteindrait 300 mm.

Pour le coton, la consommation a été de 210 mm pour un cycle plus long.

Ces valeurs très faibles peuvent s'expliquer par les mécanismes d'évaporation :

- en sol humide l'évaporation est très forte et tend à se rapprocher de la valeur d'évaporation sur plan d'eau ;
- en sol sec avec croute, seule est éliminée la vapeur qui traverse cette couche. Dans une culture de décrue il n'y a donc qu'une phase d'évaporation intense tandis que dans les cultures sous pluie ou les cultures irriguées, cette phase se reproduit plusieurs fois à chaque averse ou à chaque arrosage.

Il n'y a pas de plus dans ces sols argileux (hollaldé) de diffusion capillaire qui pourrait compenser à partir des couches profondes l'assèchement qui se produit au niveau des radicelles.

Cette faible consommation est confirmée par le fait qu'il reste encore de l'eau disponible en fin de saison car il a été observé dans plusieurs parcelles des repousses.

Le sorgho utilise toute l'eau disponible grâce à son système racinaires qui occupe toute la tranche jusqu'à 1,20 m et peut descendre à 2 m s'il est nécessaire de trouver plus d'eau.

Des essais effectués à Matam ont montré que les parcelles en sorgho conservaient plus d'humidité que les bandes entre les parcelles où s'étaient développées des mauvaises herbes représentant pourtant une quantité de matière sèche bien inférieure. Cela confirme l'intérêt du désherbage car les mauvaises herbes demandent plus d'eau que le sorgho.

Toutefois l'évaporation est élevée avant le semis.

Les fiches de vulgarisation établies dans le cadre du projet de recherche agronomique PNUD/FAO/OMVS RAF 73060 indique une évaporation de 6 à 10 mm sur sol détrempe ce qui correspond sensiblement à l'évaporation sur plan d'eau libre qui est de 230 mm pour le mois de Novembre. Mais par contre l'évaporation après ressuyage est inconnue alors que cette donnée serait nécessaire pour connaître la réserve qui reste disponible après le semis. Mais il est certain que pour réduire ces pertes, il est nécessaire de pratiquer le semis le plus rapidement possible après le retrait de l'eau.

2.3. - Infiltration et durée de submersion

La note de N'GUYEN VU indique une perméabilité verticale de 5.10^{-5} cm/s soit 1,8 mm/heure. On peut penser que c'est la perméabilité moyenne pendant la durée de remplissage.

Dans cette hypothèse, pour fournir la dose de remplissage évaluée précédemment à 900 mm pour le hollaldé, il faudrait :

$$\frac{900}{5 \cdot 10^{-5}} \times \frac{1}{86.400} = 21 \text{ Jours, durée comprise entre}$$

la durée de 15 jours proposée dans l'étude A. GIBB et la durée de 1 mois proposée par le Groupement Manantali. Cette durée est toutefois inférieure à celle proposée par les paysans. D'après l'enquête MISOES :

- 83 % des paysans interrogés estiment que la durée de submersion doit être de 3 à 7 semaines,
- 67 % considèrent que la durée doit être 5 semaines.