

DDG. 59.136

11609

ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

HAUT COMMISSARIAT

CELLULE PROVISOIRE D'EXPLOITATION DES BARRAGES

PROGRAMME DE GESTION DES EAUX DU FLEUVE SENEGAL

PENDANT L'HIVERNAGE 1996

(JUILLET 1996 - NOVEMBRE 1996)

Rosso, Avril 1996

S . O . M . M . A . I . R . E

- I - OBJECTIFS DE GESTION DES EAUX*
- II - GESTION DE LA RETENUE DE MANANTALI*
- III - GESTION DE LA RETENUE DE DIAMA*
- IV - PROPOSITION DE PROGRAMMES DE GESTION.*

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 : Débits moyens journaliers du Bakoye, du Bafing et de la Falémé,*
- ANNEXE 2 : Calcul des lâchers à Manantali : Bonne hydraulicité*
- ANNEXE 3 : Calcul des lâchers à Manantali : Moyenne hydraulicité*
- ANNEXE 4 : Calcul des lâchers à Manantali : Faible hydraulicité*
- ANNEXE 4B : Calcul des lâchers à Manantali : Faible hydraulicité (crue réduite).*
- ANNEXE 5 : Gestion de la retenue de Manantali : Bonne hydraulicité*
- ANNEXE 6 : Gestion de la retenue de Manantali : Moyenne hydraulicité*
- ANNEXE 7 : Gestion de la retenue de Manantali : Faible hydraulicité*
- ANNEXE 7B : Gestion de la retenue de Manantali : Faible hydraulicité (crue réduite).*
- ANNEXE 8 : Calcul des débits à Bakel : Bonne hydraulicité*
- ANNEXE 9 : Calcul des débits à Bakel : Moyenne hydraulicité*
- ANNEXE 10 : Calcul des débits à Bakel : Faible hydraulicité*
- ANNEXE 10 B : Calcul des débits à Bakel : Faible hydraulicité (crue réduite)*
- ANNEXE 11 : Résumé des niveaux prévisionnels de la retenue de Manantali.*

I - OBJECTIFS DE LA GESTION DES EAUX PENDANT L'HIVERNAGE 1996

Pendant l'hivernage 1996 les objectifs de la gestion des eaux du fleuve Sénégal seront les suivants :

- 1^{er}) accumulation d'eau dans la retenue du barrage de Manantali dans les limites permises par les travaux de réparation du rip rap de ce barrage,
- 2nd) maintien d'un débit d'écoulement suffisant pour la satisfaction des besoins en eau des usagers, notamment agricoles,
- 3rd) soutien de la crue du fleuve qui serait provoquée par les apports des affluents non contrôlés,
- 4th) amélioration des conditions de remplissage des défluents, des marigots, des lacs et des dépressions alimentés par le fleuve.

Les paramètres de gestion des eaux du fleuve Sénégal qui détermineront les caractéristiques de l'écoulement (hauteurs et débits) le long du fleuve sont :

- les lâchers à Manantali : période, durée et débits
- la cote de gestion de la retenue de Diamal.

Pour la gestion de la retenue de Manantali, la contrainte à prendre en compte est constituée par les travaux de réparation du rip rap.

Quantification des objectifs de gestion des eaux pendant la crue

a) Objectif d'accumulation d'eau dans la retenue de Manantali

Dans la perspective de la mise en service de la centrale hydroélectrique de Manantali la réserve d'eau devra être reconstituée pendant les prochaines crues de façon à atteindre la côte 208,00 m le plus tôt possible.

Durant cet hivernage, il devra donc être accumulé le maximum d'eau possible compatible avec les autres objectifs et la progression des travaux de réparation du rip rap.

b) Objectif agricole

La sécurisation des périmètres hydroagricoles notamment ceux dépendants des affluents, comme le DIOULOL, alimentés par la crue du fleuve requiert un débit de 375 m³/s à Bakel.

Par ailleurs à partir du 1er Novembre 1996 le volume d'eau disponible dans la retenue de Manantali imposera une stricte limitation des lâchers pour les besoins de la saison sèche 1996/1997.

...../.....

Il est donc proposé pour les besoins agricoles de retenir un objectif : $375 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bakel pendant 4 mois du 16 Juillet au 15 Novembre 1996.

c) Objectif de soutien de la crue naturelle

L'analyse des débits journaliers en période de crue (Juillet à Octobre) de 1980 à 1994 montre que la période de 15 jours la plus probable des grands débits des principaux affluents du Sénégal sont les périodes suivantes :

- Bakoye à Oualia : du 31 Août au 14 Septembre
- Falémé à Gourbassi : du 03 au 17 Septembre
- Bafing à Bafing Makana : du 28 Août au 11 Septembre.

En tenant compte de l'expérience des années précédentes il est proposé de retenir pour la crue artificielle, des débits à Bakel de :

- $2\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 5 jours suivis de
- $1\ 650 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 15 jours.

En considérant la période la plus probable des plus forts débits sur les affluents on retient a priori :

- la période du 01 au 05 Septembre pour le débit de $2\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$.
- la période du 06 au 20 Septembre pour le débit de $1\ 650 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il reste entendu que la date précise de déclenchement des lâchers pour la crue artificielle sera fixée en fonction des apports réels des affluents. Cependant pour des besoins de programmation et d'information préalable des usagers il est utile de retenir que dans tous les cas, la crue artificielle devra intervenir à Bakel à partir de début Septembre.

En résumé les objectifs pendant la crue 1996 sont :

- Accumulation d'eau dans la retenue de Manantali dans le cadre d'un programme de remplissage de la retenue sur 3 à 4 ans.
- $375 \text{ m}^3/\text{s}$ au moins à Bakel du 16 Juillet au 15 Novembre 1996.
- Crue artificielle sur une période de 20 jours successifs en Septembre avec des débits à Bakel $2\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 5 jours suivis de 15 jours à au moins $1\ 650 \text{ m}^3/\text{s}$

II- GESTION DE LA RETENUE DE MANANTALI

Pour obtenir des débits déterminés à Bakel, les lâchers à Manantali seront modulés en fonction des apports du Bakoye à Oualia et de la Falémé à Gourbassi. De façon générale on peut écrire :

..../....

$$Q_{kay}(j + t1) = \alpha \underline{Q}_{Man}(j) + Q_{Oua}(j) \underline{7}$$

$$Q_{Bak}(j + t1 + t2) = \beta \underline{Q}_{kay}(j + t1) + Q_{Gour}(j + t1) \underline{7}$$

Avec : Q_{bak} : débit à Bakel (m^3/s)

Q_{kay} : débit à Kayes (m^3/s)

Q_{Gour} : débit à Gourbassi (m^3/s)

Q_{Oua} : débit à Oualia (m^3/s)

Q_{Man} : débit à Manantali (m^3/s)

α : Coefficient d'apport (ou de pertes) entre Oualia/Manantali et Kayes.

β : Coefficient d'apports (ou de pertes) entre Kayes/Gourbassi et Bakel.

(j) : date de la mesure

(t1) : temps de propagation entre Manantali/Oualia et Kayes

(t2) : temps de propagation entre Kayes/Gourbassi et Bakel.

En supposant $Q_{Gourbassi}(j) = Q_{Gourbassi}(j + t1)$, on déduit les lâchers effectuer à Manantali au jour (j) pour atteindre des débits cibles à Bakel au jour $(j + t1 + t2)$.

$$Q_{Bak}(j + t1 + t2) = \alpha \beta Q_{Man}(j) + \alpha \beta Q_{Oual}(j) + \beta Q_{Gour}$$

on obtient :

$$Q_{Man}(j) = \frac{Q_{Bak}(j + t1 + t2) - Q_{Gour}(j) - Q_{Oua}(j)}{\alpha \beta}$$

Les coefficients d'apports intermédiaires sont fonction de l'hydraulique de l'année et de la période considérée durant l'hivernage.

De façon générale ces coefficients varient en hivernage de :

* 0,91 à 1,13 pour le coefficient α

* 1,14 à 1,18 pour le coefficient β

Trois hypothèses d'hydraulique sont considérées.

- Hypothèse 1 : Faible hydraulique :

type crue 1987 pour le Bakoye à Oualia

type crue 1987 pour le Bafing à Bafing Makana

type crue 1987 pour la Falémé à Gourbassi.

- Hypothèse 2 : Moyenne hydraulique :

type crue 1991 pour le Bakoye à Oualia

type crue 1991 pour le Bafing à Bafing Makana

type crue 1988 pour la Falémé à Gourbassi.

- Hypothèse 3 : Bonne hydraulicité

type crue 1994 pour le Bakoye à Oualia

type crue 1994 pour le Bafing à Bafing Makana

type crue 1994 pour la Falémé à Gourbassi.

Les débits moyens journaliers correspondants à ces 3 hypothèses sont données dans le tableau en Annexe 1 : débits journaliers des affluents.

A ces hypothèses correspondent les scénarios de gestion ci-dessous :

- scénario FA : faible hydraulicité
- scénario MO : Moyenne hydraulicité
- scénario BO : Bonne hydraulicité.

Le bilan d'exploitation de la retenue peut être déterminé comme suit :

$$V_f = V_d + \text{Apport} + \text{Pluie} - \text{Evaporation} - \text{Demande}$$

avec : V_f = Volume de la retenue en fin de période

V_d = Volume de la retenue en début de période

Demande = volume sortant (lâchers)

Pluie - Evaporation = volume du bilan, appliqué à la surface moyenne de la retenue durant la période

Apports = volume des apports entrant dans la retenue durant la période.

Les différents éléments constitutifs du bilan peuvent être évalués comme suit :

- les apports entrants dans la retenue de Manantali correspondent aux apports mesurés à Manantali. Ils sont en principe supérieurs aux apports mesurés à Bafing Makana. Les correlations établies par le Groupement Manantali pour période 1965 à 1977 aboutissent aux chiffres de :

M O I S	Q. SOUKOUTALI Q. BAFING MAKANA
Juillet	1, 0588
Août	1, 0690
Septembre	1, 0999
Octobre	1, 1460
Novembre	1, 0969

...../.....

Cependant compte tenu des faibles écarts entre les débits entrants et les débits à Bafing Makana (moins de 10 % en général) et des erreurs probables dans l'estimation des débits, nous supposons que les débits à Bafing Makana sont suffisamment représentatifs des apports entrants.

Selon le Groupement Manantali, l'action combinée de la pluie et de l'évaporation sur la retenue de Manantali peut être exprimée par :

$$\sqrt{(1 - R) \text{ précipitation} - \text{Evaporation}} \propto \text{surf.}$$

Avec : R = Coefficient de ruissellement des terres inondées.

Surf = Superficie de la retenue

Le tableau ci-dessous calcule le bilan (pluie - Evaporation), c'est à dire l'évaporation nette, en considérant pour R une valeur de 0,29.

	Précipitation mm	Evaporation mm	B i l a n mm
Juin	141,35	198,0	- 97,6
Juillet	236,17	75,6	+ 92,1
Août	351,23	68,4	+181,0
Septembre	238,26	109,8	+ 59,4
Octobre	76,89	102,6	- 48,0
Novembre	8,47	102,6	- 96,6
T O T A L	1 052,37	657,00	90,30

En considérant les objectifs définis ci-dessus, à savoir :

- * un débit d'au moins $375 \text{ m}^3/\text{s}$ du 16 Juillet au 15 Novembre 1996?
- * une crue sur une période d'au moins 20 jours en Septembre avec des débits à Bakel d'environ $2 500 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 5 jours et $1 650 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 15 jours, les lachers à effectuer à Manantali sont calculés dans les annexes suivant :
 - Annexe 2 pour le scénario bonne hydraulique
 - Annexe 3 pour le scénario moyenne hydraulique,
 - Annexe 4 pour le scénario faible hydraulique.

Les simulations de gestion de la retenue de Manantali tenant compte de ses lachers, figurent en :

- Annexe 5 pour le scénario bonne hydraulique,
- Annexe 6 pour le scénario moyenne hydraulique,
- Annexe 7 pour le scénario faible hydraulique.

Les débits à Bakel, résultants des lâchers effectifs à Manantali sont calculés aux tableaux en :

- Annexe 8 pour le scénario de bonne hydraulicité
- Annexe 9 pour le scénario de moyenne hydraulicité
- Annexe 10 pour le scénario de faible hydraulicité.

En résumé :

1°) Les débits moyens (m^3/s) attendus à Bakel pendant le mois de Septembre sont :

	Bonne Hydraul.	Moyenne Hydraul.	Faible Hydraul.
01 au 05	2 500	2 500	2 500
06 au 10	1 650	1 650	1 650
11 au 15	1 650	1 650	1 650
16 au 20	1 650	1 650	1 650
21 au 25	1 308	630	375
26 au 30	1 271	423	375

2°) En supposant pour le niveau de la retenue de Manantali au 30 Juin 1996 les valeurs suivantes :

Hypothèse 1 : Niveau à la cote 180, 50 m IGN

HYPOTHÈSE 2 : Niveau à la cote 180,00 m IGN

Hypothèse 3 : Niveau à la cote 179,50 m IGN

Hypothèse 4 : Niveau à la cote 179,00 m IGN

Hypothèse 5 : Niveau à la cote 178,50 m IGN

Les tableaux ci-dessous résument les cotes prévisibles pour le niveau de la retenue le 25 Août, 20 Septembre et 10 Novembre 1996.

a) Scénario de Bonne Hydraulicité

m IGN	25/08/1996	20/09/1996	10/11/1996
178,50	187,49	191,13	200,52
179,00	187,80	191,42	200,75
179,50	188,15	191,71	200,98
180,00	188,50	191,99	201,21
180,50	188,85	192,28	201,43

...../.....

b) Scénario de moyenne hydraulicité

<i>m IGN</i>	25/08/1996	20/09/1996	10/11/1996
178,50	188,94	191,57	195,71
179,00	189,29	191,88	195,96
179,50	189,64	192,14	196,22
180,00	189,90	192,43	196,47
180,50	190,08	192,71	196,73

c) Scénario de faible hydraulicité

<i>m IGN</i>	25/08/1995	20/09/1996	10/11/1996
178,50	180,08	174,80	181,13
179,00	180,57	175,30	181,64
179,50	181,08	175,82	182,15
180,00	181,59	176,33	182,66
180,50	182,10	176,35	183,17

On constate que dans les cas de bonne hydraulicité et moyenne hydraulicité il pourrait être procédé aux lâchers de soutien de la crue tout en accumulant suffisamment d'eau dans la retenue dans le cadre du programme de reconstitution progressive de la retenue.

Par contre en cas de faible hydraulicité la fourniture de la crue artificielle suivant les caractéristiques définies ci-dessus (5 jours à 2 500 m³/s et 15 jours à 1 650 m³/s) réduirait considérablement le volume d'eau accumulable pendant cet hivernage ; ce qui pourrait avoir des répercussions sur le programme général de la reconstitution progressive de la retenue et sur la satisfaction des besoins des usagers pendant la saison sèche 1996/1997.

Compte tenu de cela, nous avons examiné dans l'hypothèse d'une faible hydraulicité, une variante de crue artificielle réduite avec :

- * 2 500 m³/s à Bakel pendant 5 jours suivis de
- * 1 650 m³/s à Bakel pendant 10 jours, au lieu de 15 jours.

Le tableau ci-dessous permet de comparer le niveau de la retenue à la date du 10 Novembre 1996 dans cette variante de crue réduite à celui à la même date dans la variante de crue non réduite.

Cotes au 30/06/1996	Cote au 30/11/1996 en Faible hydraulicité	
	Crue artificielle de base	Crue artificielle réduite.
178,50 m IGN	181,13 m IGN	183,87 m IGN
179,00 m IGN	181,64 m IGN	184,38 m IGN
179,50 m IGN	182,15 m IGN	184,89 m IGN
180,00 m IGN	182,66 m IGN	185,27 m IGN
180,50 m IGN	183,17 m IGN	185,63 m IGN

On constate un rehaussement du niveau de la retenue de l'ordre de 2,50 m. Toutefois le volume accumulé dans la retenue en fin d'hivernage restera encore trop modeste par rapport aux besoins de la saison sèche 1996/1997 et de la reconstitution progressive de la retenue.

L'analyse des tableaux précédents suggère de retenir comme critère déterminant pour décider de déclencher ou non une crue et du type de crue (crue réduite ou crue non réduite) la cote atteinte par la retenue à la date du 25 Août 1996.

Le tableau ci-dessous résume en fonction de la retenue le 30 Juin 1996, les cotes atteintes par la retenue le 25 Août 1996 qui pourraient être retenues comme limites minima de déclenchement de la crue artificielle.

Her : Cote minimum exigée le 25 Août 1996 pour faire une crue réduite : 2 500 m³/s pendant 5 jours, suivis de 1 650 m³/s pendant 10 Jours, à Bakel.

Hcn : Cote minimum exigée le 25 Août 1996 pour faire une crue non réduite : 2 500 m³/s pendant 5 jours, suivis de 1 650 m³/s pendant 15 jours à Bakel.

Cote le 30 Juin m IGN	$H < H_{cr}$	Her	$Her \leq H < H_{cn}$	Hcn	$Hcn \leq H$
178,50	Pas de Crue Artificielle	182,50	Crue Artificielle Réduite	185,00	Crue Artificielle de base
179,00		182,90		185,25	
179,50		183,45		185,80	
180,00		183,90		186,20	
181,50		184,35		186,60	

Recommandations :

La question principale de la gestion de la retenue de Manantali est celle des lâchers à effectuer pour la crue artificielle à fournir à Bakel en Septembre.

Dans le contexte actuel de la reconstitution progressive pendant les prochains hivernages de la retenue de Manantali, l'hydraulicité des trois principaux affluents (le Bakoye, la Falémé et le Bafing) déterminera les choix relatifs à la crue artificielle.

En cas d'hydraulicité moyenne à forte, il serait possible de satisfaire les objectifs de remplissage partiel de la retenue et des lâchers pour la crue artificielle à Bakel.

Par contre en cas d'hydraulicité faible, il s'avère que la fourniture de la crue artificielle à 2 500 m³/s pendant 5 jours et 1 650 m³/s pendant 20 jours à Bakel se ferait au détriment de la reconstitution partielle de la retenue et pourrait aussi être source de difficultés pour la satisfaction des besoins des usagers pendant la saison sèche 1996/1997.

Les décisions concernant l'ampleur de la crue artificielle (durée et débits) étant en définitive fonction de l'hydraulicité des trois principaux affluents celles-ci ne pourront être prises avant une période suffisamment avancée pour permettre une appréciation relativement correcte de l'hydraulicité, soit au plus tôt en fin Août 1996.

Sur la base de l'évolution du niveau de la retenue de Manantali, dans les trois hypothèses d'hydraulicité, nous recommandons les principes suivants :

- 1°) Si à la date du 25 Août 1996, le niveau de la retenue est égal ou supérieur à la cote (Hcn) du tableau ci-dessous, il sera procédé à la fourniture de la crue artificielle de base : 5 jours à 2 500 m³/s et 15 jours à 1 650 m³/s à Bakel.
- 2°) Si à la date du 25 Août 1996, le niveau de la retenue est inférieur à (Hcn) mais égal ou supérieur à (Hcr), il sera procédé à la fourniture d'une crue artificielle réduite avec 5 jours à 2 500 m³/s et 10 jours à 1 650 m³/s.
- 3°) Si à la date du 25 Août 1996, le niveau de la retenue est inférieur à Hcr, il sera procédé à la fourniture d'une crue identique à la crue naturelle à Bakel pendant 20 jours.

H. Déport m IGN	Hcr (m IGN)	Hcn (m IGN)
178,50	182,50	185,00
179,00	182,90	185,25
179,50	183,45	185,80
180,00	183,90	186,20
180,50	184,35	186,60

III - GESTION DE LA RETENUE DE DIAMA

La gestion de la retenue de Diana visera à concilier au mieux les exigences des consignes d'exploitation du barrage et les possibilités d'offrir les meilleures conditions hydrauliques pour la campagne d'hivernage 1996.

La retenue de Diana est actuellement gérée à environ 1,75 m IGN.

Les consignes d'exploitation stipulent que durant le passage de la crue, la cote + 1,50 m IGN sera maintenue tant que les débits sont tels qu'il ne soit pas nécessaire d'effacer entièrement toutes les vannes.

La question principale est celle de la période pendant laquelle le niveau de la retenue devra être abaissée de 1,75 m IGN à 1,50 m IGN

A notre avis, dans un souci de sécurité pour l'ouvrage, la date la plus tardive à laquelle le niveau de la retenue devra avoir, par abaissement, atteint la cote 1,50 m IGN est le 15 Août 1996.

Il pourrait donc être retenu pour la retenue de Diana, la règle suivante :

- * maintenir le niveau de la retenue à environ 1,75 m IGN jusqu'au 31 Juil 96.
- * réguler le niveau de la retenue entre 1,75 et 1,50 m du 01 au 15 Août 1996 de façon à ce que le niveau de la retenue soit de 1,50 m IGN le 15 Aout 1996
- * maintenir, à partir du 15 Août 1996, le niveau de la retenue à la cote 1,50 m IGN, environ, par manœuvres des vannes tant que les débits seront tels qu'il ne soit pas nécessaire d'effacer entièrement toutes les vannes du barrage.

Le débit de 2 500 m³/s environ à Bakel, en début Septembre 1996 et la cote 1,50 m IGN à Diana se traduiront dans la vallée par les cotes ci-dessous :

(Côtes maximums prévisionnelles)

<i>m</i>	Matam	Kaédi	Boghé	Podor	Dagana	Rosso
IGN	13,00	10,30	6,50	3,60	2,40	2,20

IV - PROPOSITION DE GESTION DES RETENUES DE DIAMA ET DE MANANTALI PENDANT L'HIVERNAGE 1996

1°) Gestion de la retenue de Manantali

- a) moduler les débits de lachers à Manantali de façon à maintenir un débit d'au moins 375 m³/s à Bakel à partir du 16 Juillet 1996.
- b1) Si à la date du 25 Août 1996, le niveau de la retenue de Manantali est inférieur à Hcr, maintenir le niveau de la retenue à cote constante pendant la période du 26 Aout au 15 Septembre 1996,

- b2) Si à la date du 25 Aout 1996, le niveau de la retenue de Manantali est supérieur ou égale à H_{cr} et inférieur à H_{cn} , moduler les débits de lachers à Manantali de façon à obtenir à Bakel une crue d'une durée d'environ 15 jours avec 5 jours à $2\ 500\ m^3/s$ et 10 jours à $1\ 650\ m^3/s$.
- b3) Si à la date du 25 Aout 1996 le niveau de la retenue de Manantali est supérieur ou égale à H_{cn} , moduler les débits de lachers à Manantali de façon à obtenir à Bakel une crue d'une durée de 20 jours avec 5 jours à $2\ 500\ m^3/s$ et 15 jours à $1\ 650\ m^3/s$.
- c) A partir du 16 Septembre 1996 (date aproximative) moduler les lachers débits de lachers à Manantali de façon à maintenir un débit d'au moins $375\ m^3/s$ à Bakel jusqu'au 15 Novembre 1996.

2°) Gestion de la retenue de Diama

- a) Maintenir le niveau de la retenue à environ $1,75\ m$ IGN jusqu'au 31 Juillet 1996.
- b) A partir du 1er Aout 1996, réguler le niveau de la retenue en fonction des apports de façon à être à $1,50\ m$ IGN à Diama au plus tard le 15 Août 1996.
- c) A partir du 16 Août 1996, maintenir le niveau de la retenue à $1,50\ m$ IGN, environ, à Diama, par manoeuvres des vannes, tant que les débits demeurent tels qu'il ne soit pas nécessaire d'effacer entièrement toutes les vannes.