

Consignes de gestion du barrage à vocation multiple de Manantali

Détermination des cotes limites à respecter dans la retenue

Jean-Claude BADER (1)

RÉSUMÉ

Le barrage de Manantali est un ouvrage à vocation multiple implanté sur le haut bassin du Sénégal. Les cotes limites à respecter dans le lac de ce barrage, correspondant à des réserves ou des revanches suffisantes pour ne pas compromettre la satisfaction de certains objectifs assignés à l'ouvrage, sont déterminées par une méthode statistique ne faisant pas appel à un calcul de prévision en temps réel des apports. La procédure permet de définir des limnigrammes annuels au pas de temps journalier, correspondant à certains niveaux de protection contre les échecs. Ces limnigrammes peuvent être utilisés directement comme consignes de gestion.

MOTS CLÉS : Fleuve Sénégal — Barrage de Manantali — Consignes de gestion de barrage — Cote d'un lac de retenue — Modélisation numérique — Pas de temps journalier.

ABSTRACT

MULTIPLE USE MANAGEMENT OF MANANTALI DAM : DETERMINATION OF LIMITING STORAGE LEVELS

The Manantali Dam is a multiple objective structure on the upper Senegal. The limiting reservoir levels, corresponding to reserves necessary for certain objectives, are determined by statistical analysis without appeal to real-time forecasting. The procedure allows the definition of daily levels corresponding to certain levels of protection. These levels series may be used directly as release rules.

KEY WORDS : Senegal river — Manantali Dam — Release rules — Impoundment level — Modelling — Daily time step.

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

Le régime naturel du fleuve Sénégal, très proche du type tropical pur (RODIER 1964), est caractérisé par une période de hautes eaux s'étendant de août à octobre, et une forte variabilité interannuelle. Il est modifié depuis 1987 par le barrage de Manantali, implanté sur le cours du Bafing (cf. fig. 1), et géré par l'OMVS. (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal, regroupant les états du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal).

Les objectifs suivants sont assignés à l'ouvrage :

- production d'électricité (puissance installée prévue : 200 Mw) ;
- laminage des crues du Bafing et du Sénégal ;

(1) Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal.

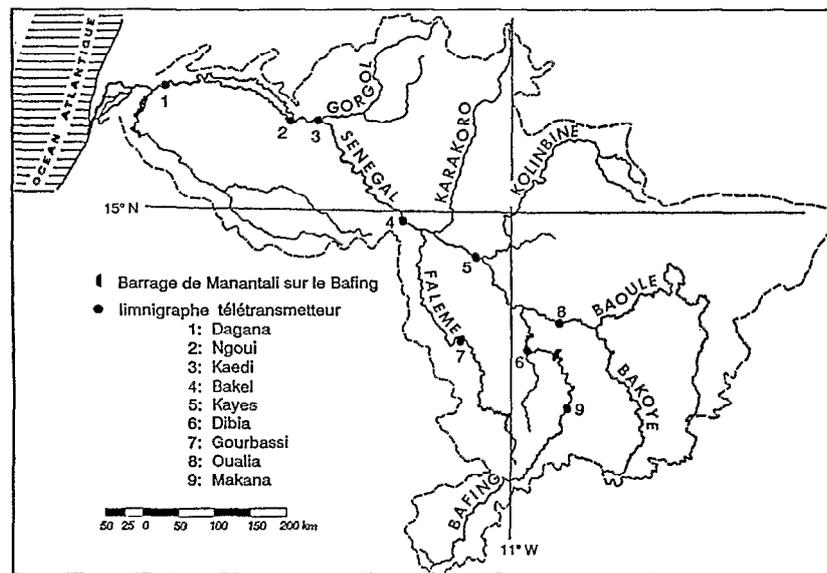


FIG. 1 — Carte du réseau hydrographique du bassin du Sénégal.

— fourniture de débits permettant de satisfaire toute l'année les besoins de l'irrigation dans la vallée du Sénégal (principalement à l'aval de Bakel) ;

— soutien des étiages du Sénégal, pour la navigation ;

— soutien des crues naturelles du Sénégal, permettant une inondation annuelle suffisante du lit majeur, indispensable à la pratique des cultures traditionnelles de décrue.

Afin de définir une gestion optimale de l'ouvrage, l'OMVS a chargé l'Orstom de réaliser une modélisation numérique au pas de temps journalier (BADER 1991), permettant de tester l'effet de différentes règles de gestion, sur le degré de satisfaction de chacun des objectifs. Cette modélisation s'appuie sur la banque de données hydrométriques du haut bassin du Sénégal, dont un travail préliminaire (BADER 1990) a permis d'étendre les données brutes, pour constituer des fichiers de débits moyens journaliers complets de 1904 à 1989 sur différentes stations.

1.2. CONSIGNES DE GESTION DU BARRAGE. PROBLÈME À RÉSOUDRE

Dans la modélisation, la gestion du barrage est simulée en prenant en compte un certain nombre de consignes, assorties de rangs de priorité, pour évaluer chaque jour le débit sortant de la retenue, et l'évolution du niveau du lac qui en découle.

Ces consignes sont de deux types :

— 1^{er} type : des consignes d'exploitation visant à lâcher un débit, dont la valeur même ou la propagation va permettre de satisfaire directement certains objectifs, soit le jour même (production électrique, laminage des crues dans le Bafing, respect de cote maximale de sécurité dans la retenue), soit dans les jours à venir (demande de débits pour l'irrigation dans la vallée ou la navigation, laminage des crues dans la vallée, soutien de crue naturelle) ;

— 2^e type : des consignes qui visent à respecter dans le barrage une cote minimale ou maximale, permettant respectivement de garder une réserve suffisante pour satisfaire des besoins futurs, ou une revanche suffisante pour amortir les crues futures.

Pour l'élaboration des limnigrammes de cotes limites à respecter dans le lac, qui sont à la base du deuxième type de consignes de gestion, on a utilisé une méthode purement statistique, ne faisant intervenir aucune prévision en temps réel des apports dans la retenue. Le problème à résoudre peut s'énoncer au travers des deux exemples suivants :

— exemple 1 : quelle est la cote minimale qu'il est nécessaire de conserver dans le lac, en fonction de la date dans l'année, pour garantir avec un certain niveau de probabilité, la possibilité de satisfaire dans le futur les demandes en débits exprimées au niveau de Bakel pour l'irrigation ?

— exemple 2 : quelle est la cote maximale à ne pas dépasser dans le lac, en fonction de la date dans l'année, pour garantir avec un certain niveau de probabilité, la possibilité de limiter à une valeur donnée les lâchures futures du barrage ?

2. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE UTILISÉE DANS LA MODÉLISATION

2.1. CALCUL DE LA CHRONIQUE DE LÂCHURES JOURNALIÈRES LIMITES À FOURNIR

Soit un certain objectif — ou groupe d'objectifs — assigné à la retenue, pour lequel on désire établir les limnigrammes annuels de cote limite correspondant à différents niveaux de risque d'échec.

On commence par reconstituer, en fonction de la chronique historique des débits journaliers observés aux différentes stations, la chronique fictive des lâchures journalières limites, $V_{lim}(j)$, qui aurait permis d'atteindre cet objectif avec le moins d'échecs possible. Cela correspond à la gestion optimale sur la série historique, vis à vis de l'objectif choisi, d'une retenue fictive dont ni les dimensions physiques, ni le remplissage, n'auraient entraîné de limitation sur les débits à lâcher.

Dans la modélisation au pas de temps journalier, le calcul des lâchures limites $V_{lim}(j)$, correspondant à des volumes, se ramène bien évidemment à celui des débits moyens journaliers correspondants, $Q_{lim}(j)$. On procède donc de la façon décrite ci-dessous.

2.1.1. Premier cas : l'objectif se traduit en valeurs de débit à respecter au niveau de Bakel

Le calcul utilise alors une modélisation de la propagation des débits entre stations (LAMAGAT 1989), consistant en deux sous-modèles :

$$Q_k(j+P1) = f(Q_o(j) + Q_m(j))$$

$$Q_b(j+P1+P2) = f(Q_k(j+P1) + Q_g(j+P1))$$

Le débit à respecter au niveau de Bakel pouvant être variable avec le temps, et les temps de propagation $P1$ et $P2$ variant eux-mêmes avec la valeur des débits, une procédure d'encadrements successifs est utilisée pour déterminer le débit limite à lâcher $Q_m(j)$, qui permette de faire coïncider à un horizon $P1+P2$, le débit propagé résultant au niveau de Bakel, et le débit demandé.

Dans le cas d'un débit à atteindre ou dépasser au niveau de Bakel (demande pour l'irrigation, la navigation, le soutien de crue ou le soutien d'étiage), la méthode reconstitue une chronique de lâchures limites minimales qui permet de satisfaire l'objectif à 100 %.

Dans le cas d'un débit à ne pas dépasser au niveau de Bakel (laminage de crue), elle reconstitue par contre une chronique de lâchures limites maximales qui peut présenter certains échecs inévitables (cas où le débit passant à Oualia ou Gourbassi est très fort et ne permet pas, même avec des lâchures nulles, d'atteindre le laminage souhaité à Bakel).

2.1.2. Deuxième cas : l'objectif correspond à des valeurs de débit à respecter à la sortie de la retenue

La chronique des lâchures limites (maximales si l'objectif est le laminage des crues, ou minimales si c'est la fourniture de débit réservé), correspond exactement aux valeurs du débit à respecter, et ne présente donc aucun échec.

2.2. CALCUL DE LA CHRONIQUE DES NIVEAUX LIMITES À RESPECTER DANS LE LAC

Il s'agit maintenant d'établir la chronique journalière du niveau limite dans le lac à 0 heure, qui doit être compatible avec la chronique des lâchures limites $V_{lim}(j)$, compte-tenu des paramètres suivants :

- la chronique $V_a(j)$ des apports moyens journaliers observés dans la retenue ;
- la relation donnant la cote dans le lac en fonction du volume maximal qu'elle permet d'évacuer de la retenue en 24 heures, tous les organes du barrage étant ouverts au maximum : $H_{min}(v)$;
- la relation donnant la cote dans le lac en fonction du volume minimal qu'elle oblige à évacuer de la retenue en 24 heures, tous les organes du barrage étant ouverts au minimum (vidange de fond et vannes des turbines fermées, et vannes secteurs de surface ouvertes au minimum requis pour éviter leur submersion) : $H_{max}(v)$;
- les pertes nettes moyennes par évaporation dans le lac : $I_e(j)$;
- les courbes de remplissage de la retenue : $Surf(H)$, $Vol(H)$, $H(V)$.

En notant $V(j)$, le volume stocké dans la retenue au jour j à 24 heures, et $Vl(j)$, le volume effectivement lâché le jour j , le bilan volumique du jour j dans la retenue peut s'exprimer, en première approximation, de la façon suivante :

$$V(j) = V(j-1) + Va(j) - Vl(j) - Ie(j) * Surf(H(V(j))) \quad [1]$$

Le calcul diffère ensuite, selon que la chronique des lâchures limites $Vlim(j)$ correspond à une limite minimale (satisfaction de demandes de débits) ou maximale (laminage de crues) à respecter.

2.2.1. Premier cas : volume stocké maximal dans le lac, compatible avec une chronique de lâchures maximales $Vlim(j)$

Connaissant le volume stocké à 24 heures, on doit calculer le volume stocké maximal à 0 heure, permettant au volume lâché, le jour j , de ne pas dépasser $Vlim(j)$.

$$Vl(j) \leq Vlim(j) \quad [2]$$

$$[1], [2] \implies V(j-1) \leq [V(j) - Va(j) + Ie(j) * Surf(H(V(j))) + Vlim(j)] \quad [3]$$

Par ailleurs, en première approximation, le niveau moyen dans la journée doit être inférieur au niveau qui, dépassé, entraîne obligatoirement l'évacuation d'un volume supérieur à $Vlim(j)$:

$$H((V(j) + V(j-1)) / 2) \leq Hmax(Vlim(j))$$

$$\leq \implies [(V(j) + V(j-1)) / 2] \leq Vol(Hmax(Vlim(j)))$$

$$\leq \implies V(j-1) \leq [2 * Vol(Hmax(Vlim(j))) - V(j)] \quad [4]$$

Enfin, le volume doit rester inférieur au volume maximal admissible :

$$V(j-1) \leq Vmax \quad [5]$$

Des inégalités [3], [4] et [5], on tire le volume maximal stocké à 0 heure le jour j :

$$V(j-1) = \min[Vmax, [V(j) - Va(j) + Ie(j) * Surf(H(V(j))) + Vlim(j)], [2 * Vol(Hmax(Vlim(j))) - V(j)]] \quad [6]$$

2.2.2. Deuxième cas : volume stocké minimal dans le lac, compatible avec une chronique de lâchures minimales $Vlim(j)$

Connaissant le volume stocké à 24 heures, on doit calculer le volume minimal stocké à 0 heure, permettant au volume lâché le jour j , d'atteindre $Vlim(j)$.

$$Vl(j) \geq Vlim(j) \quad [7]$$

$$[1], [7] \implies V(j-1) \geq [V(j) - Va(j) + Ie(j) * Surf(H(V(j))) + Vlim(j)] \quad [8]$$

Par ailleurs, en première approximation, le niveau dans la journée doit être supérieur au niveau qui, non atteint, entraîne l'évacuation d'un volume forcément inférieur à $Vlim(j)$:

$$H((V(j) + V(j-1)) / 2) \geq Hmin(Vlim(j))$$

$$\leq \implies [(V(j) + V(j-1)) / 2] \geq Vol(Hmin(Vlim(j)))$$

$$\leq \implies V(j-1) \geq [2 * Vol(Hmin(Vlim(j))) - V(j)] \quad [9]$$

[8] et [9] donnent finalement :

$$V(j-1) = \max[[V(j) - Va(j) + Ie(j) * Surf(H(V(j))) + Vlim(j)], [2 * Vol(Hmin(Vlim(j))) - V(j)]] \quad [10]$$

2.2.3. Conclusion

Dans les deux cas, on voit que $V(j-1)$ peut être estimé à partir de $V(j)$, par les équations 6 ou 10. Il est donc possible de reconstituer une chronique journalière de volumes limites stockés à 24 heures, par un calcul itératif mené dans le sens inverse du sens chronologique. La chronique de cotes limites correspondante est ensuite obtenue en utilisant la fonction de remplissage $H(V)$.

2.3. INTERPRÉTATION STATISTIQUE DES CHRONIQUES DE COTES LIMITES DANS LE LAC

Le calcul présenté ci-dessus permet donc de reconstituer une chronique de cotes limites dans le lac, compatible avec la réalisation d'une certaine chronique de lâchures, correspondant elle-même au minimum d'échecs possibles pour l'objectif assigné au départ à la retenue.

En pratique, le calcul est mené sur un nombre entier d'années, en fixant arbitrairement une cote initiale pour le 31 décembre à 24 heures de la dernière année chronologique concernée. Le résultat du calcul dépend bien entendu de la valeur initiale choisie. Les simulations effectuées pour le barrage de Manantali, pour divers objectifs assignés à la retenue, montrent cependant que l'influence de cette valeur initiale ne se fait sentir dans la plupart des cas, que sur un nombre très limité de pas de calcul (quelques dizaines de jours). Quoi qu'il en soit, il convient de fixer la cote initiale du lac à une valeur compatible avec la série des cotes reconstituées par le calcul pour le même quantième de l'année, et proche, si possible, de leur moyenne. Ceci peut amener à faire plusieurs calculs successifs, jusqu'à l'obtention du résultat souhaité. La convergence du processus peut être accélérée de la façon suivante :

Soient H_1 la valeur fixée pour la cote initiale, au 31 décembre de la dernière année chronologique, et h_1 la moyenne des cotes résultant du calcul sur N années pour ce même quantième. On prendra alors comme valeur initiale pour le calcul suivant :

$$H_2 = (N \cdot h_1 - H_1) / (N - 1)$$

En pratique, une seule répétition du calcul suffit pour obtenir un résultat satisfaisant.

Une fois obtenue la chronique définitive des cotes limites, un classement des valeurs permet d'obtenir pour chaque quantième de l'année, la fonction de répartition de la cote limite à respecter dans le lac. Le tracé des valeurs journalières correspondant à différents temps de retour, sur diagramme annuel, peut alors être directement utilisé comme consigne de gestion de la retenue. On trouvera ci-dessous de tels graphiques, obtenus pour différents objectifs assignés au barrage de Manantali.

3. EXEMPLES

Remarques préliminaires

Les exemples donnés ci-dessous prennent en compte un certain nombre d'hypothèses simplificatrices concernant les organes d'évacuation du barrage, tant du point de vue des règles de leur utilisation, que de leurs étalonnages, qui restent à vérifier par des mesures.

Les objectifs assignés à la retenue dans ces modélisations (sur la période 1904-1989), correspondent à différentes hypothèses simples de travail, dont on ne peut pas affirmer qu'elles représentent précisément les règles qui seront retenues par l'OMVS.

L'interprétation des figures qui suivent nécessite d'indiquer les valeurs de certains paramètres :

- cote maximale admise dans la retenue : 210,50 m
- cote à partir de laquelle le barrage déverse : 208,05 m
- cote du seuil de la vidange de fond : 155,28 m

3.1. EXEMPLES DE COTES LIMITES MINIMALES À RESPECTER DANS LE LAC

Sont envisagés ici, les objectifs assignés à la retenue qui se traduisent en valeurs à atteindre ou dépasser par les débits lâchés du barrage. L'interprétation des limnigrammes de cotes limites minimales à respecter dans le lac, correspondant à de tels cas, est exposée dans le premier exemple.

3.1.1. Fourniture de débits pour l'irrigation de 100 000 ha et la consommation humaine

L'objectif envisagé ici se traduit par une demande de débit à satisfaire au niveau de Bakel, égale à la somme d'un débit constant de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ destiné à la consommation humaine, et d'une fonction en escaliers (tabl. I), composée des débits moyens mensuels nécessaires pour irriguer 100 000 hectares. La figure 2 représente les limnigrammes de cotes limites minimales correspondants.

TABLEAU I
Débits moyens mensuels requis au niveau de Bakel, pour l'irrigation de 100 000 ha dans la vallée du Sénégal

mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	25.9	74.1	93.3	94.4	82.3	70.3	65.6	131	162	147	96.2	40.9

Pour le 31 janvier à 24 heures, par exemple, les points A,B,C et D indiquent les niveaux minimaux qu'il est nécessaire de conserver dans le lac, respectivement une année sur cinquante, une année sur deux, 9 années sur 10 et 49 années sur 50, pour garantir la possibilité de satisfaire ultérieurement l'objectif. Autrement dit, le point C indique qu'à cette date, abaisser le niveau du lac sous la cote 170,24 m, entraîne neuf fois sur dix un échec ultérieur inévitable pour la satisfaction de l'objectif.

On constate que pendant la période de juillet à septembre, on peut se permettre de vider le lac quasiment jusqu'au seuil de la vidange de fond, la fin de la crue du Bafing permettant de reconstituer une réserve suffisante pour garantir la fourniture des débits demandés pendant la saison sèche suivante.

3.1.2. Fourniture de débits pour le soutien des crues

Diverses études menées par l'OMVS (GIBB *et al.* 1987) ont permis d'établir trois formes de crues type du Sénégal à Bakel, dénommées Gibb A, B et C, permettant la pratique de la culture de décrue dans la vallée sur des superficies respectives de 50 000, 75 000 et 100 000 hectares.

On envisage ici le soutien de crues consistant à produire au niveau de Bakel, un hydrogramme supérieur ou égal à celui de la crue type « Gibb A », ou de la crue « Gibb C », dont les hydrogrammes sont indiqués dans le tabl. II. Les figures 3 et 4 montrent les limnigrammes de cotes limites minimales à respecter dans le lac, correspondant à ces objectifs respectifs.

TABLEAU II
Hydrogrammes des crues types « Gibb A » et « Gibb C », permettant la pratique de la culture de décrue dans la vallée sur une superficie de 50 000 et 100 000 hectares, respectivement

Les hydrogrammes se définissent par interpolations linéaires entre les points indiqués ci-dessous:

"Gibb A"	crue	date	1-Jan	31-Juil	1-Août	4-Sep	15-Sep	20-Sep	1-Oct	26-Oct	15-Nov	16-Nov	31-Déc
	débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		0	0	300	500	2500	2500	1500	300	300	0	0
"Gibb C"	crue	date	1-Jan	31-Juil	1-Août	31-Août	15-Sep	20-Sep	7-Oct	1-Nov	15-Nov	16-Nov	31-Déc
	débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		0	0	300	476	3000	3000	1500	300	300	0	0

On constate qu'un stockage interannuel est très rarement indispensable (courbe correspondant au temps de retour de 60 ans), et que la première partie de la crue annuelle du Bafing (août et début septembre) suffit la plupart du temps à constituer la réserve nécessaire pour produire la crue type « Gibb A ». Par contre, pour la crue « Gibb C », le stockage interannuel s'avère beaucoup plus souvent nécessaire (au moins une fois tous les 10 ans).

3.1.3. Fourniture de débit pour le soutien de crue et le soutien d'étiage

L'objectif envisagé ici correspond simultanément au soutien de crue consistant à produire la crue « Gibb C », et à la fourniture d'un débit supérieur en permanence à $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au niveau de Bakel, pour permettre la navigation. La figure 5 montre les limnigrammes de cotes limites minimales à respecter.

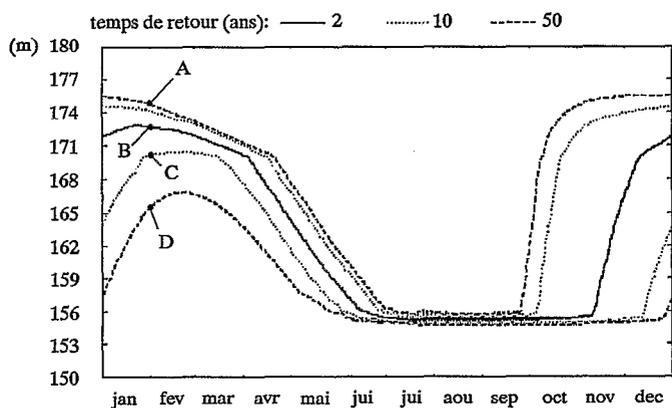


FIG. 2 — Cotes limites minimales à respecter dans le lac, pour la fourniture de débits destinés à la navigation et la consommation humaine.

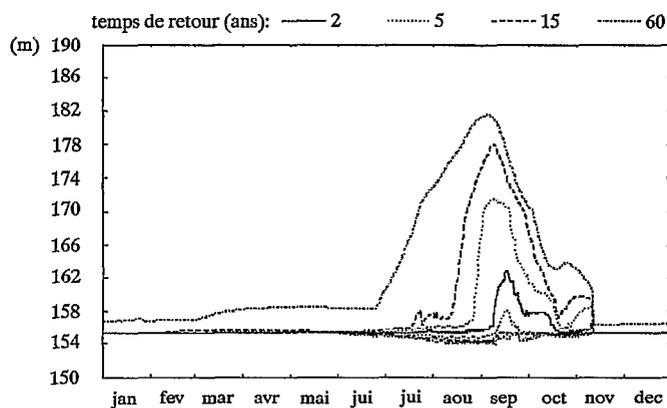


FIG. 3. — Cotes limites minimales à respecter dans le lac, pour la production de la crue type « Gibb A ».

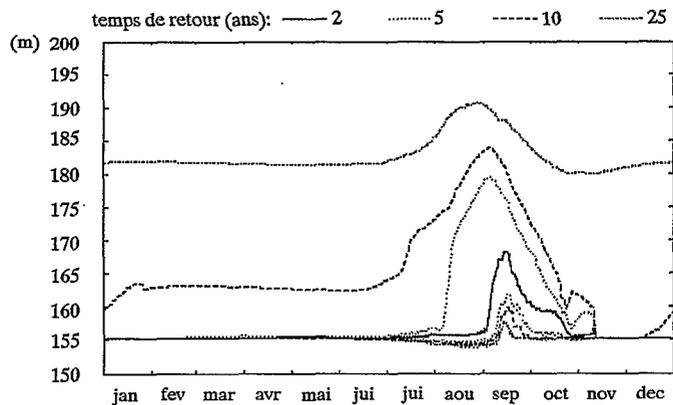


FIG. 4. — Cotes limites minimales à respecter dans le lac, pour la production de la crue type « Gibb C ».

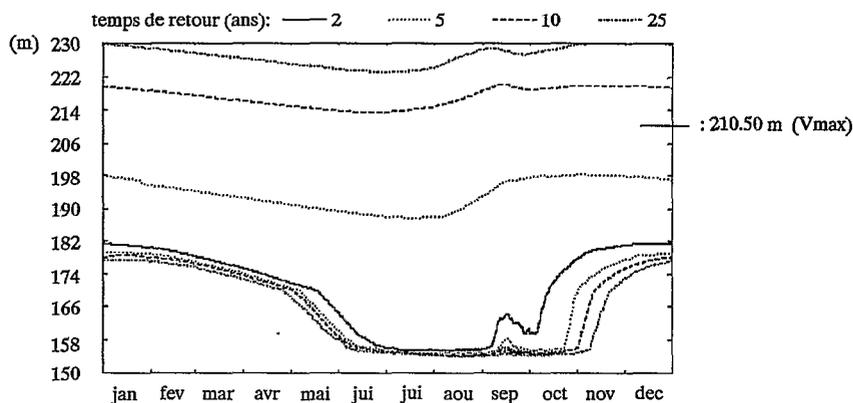


FIG. 5. — Cotes limites à respecter dans le lac, pour la production de la crue type « Gibb C » et le soutien d'étiage à $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Les périodes sèches et humides sont représentées respectivement par les courbes situées au-dessus et au-dessous de la courbe de temps de retour 2 ans.

On remarque tout de suite que les limnigrammes supérieurs correspondant aux temps de retour 10 et 25 ans se situent entièrement au dessus du niveau limite maximal acceptable dans le lac du point de vue de la sécurité (210,50 m), et sont donc inutilisables. Ils signifient que la capacité de la retenue est insuffisante pour permettre d'atteindre en permanence le double objectif assigné au barrage.

Les courbes situées sous la cote 210,50 m peuvent être interprétées d'une façon un peu différente des autres cas. Elles désignent en effet des limites qu'il est nécessaire de respecter avec une certaine fréquence, pour garantir la possibilité d'atteindre ultérieurement l'objectif avec le moins d'échec possible — et non plus sans échec du tout. Ces courbes montrent le besoin fréquent d'un stockage interannuel (au moins une fois tous les cinq ans). Ce stockage doit s'étendre sur plusieurs années durant les périodes précédant des séries d'années d'apports très déficitaires.

3.2. EXEMPLES DE COTES LIMITES MAXIMALES À RESPECTER DANS LE LAC

Les objectifs assignés à la retenue sont ici le laminage des crues, soit au niveau de la sortie du barrage, soit au niveau de Bakel.

3.2.1. Laminage des crues à la sortie de la retenue

La figure 6 montre les limnigrammes de cotes limites maximales à respecter dans le lac, pour garantir la possibilité de laminier les débits sortant du barrage à $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Les points E,F,G,H et I indiquent le niveau qu'il est nécessaire de ne pas dépasser le 31 juillet à 24 heures, respectivement tous les ans, une année sur deux, une année sur cinq, une année sur quinze et une année sur soixante dix, pour garantir la possibilité de réaliser le laminage désiré après cette date. Autrement dit, le point G indique par exemple que laisser monter le niveau du lac à la cote 205,92 m, un 31 juillet à 24 heures, entraîne une fois sur cinq un échec ultérieur inévitable du laminage désiré.

En dehors de la période de crue, le niveau limite permis correspond approximativement à une unique valeur pour tous les temps de retour, correspondant au niveau pour lequel le débit passant par les vannes de surface, ouvertes au minimum, vaut $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

3.2.2. Laminage des crues au niveau de Bakel

La figure 7 montre les limnigrammes de cotes limites maximales à respecter dans le lac, pour garantir la possibilité de laminier à $4\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ les débits passant à Bakel, à chaque fois que c'est physiquement possible. Un certain nombre d'échecs inévitables (7 jours sur la période 1904-1989) interviennent en effet, dans les cas où les

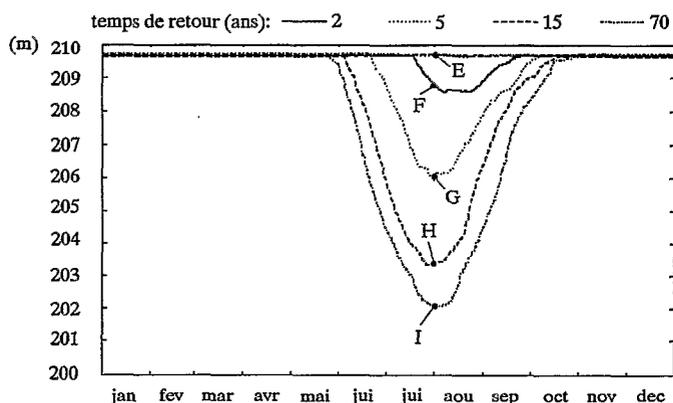


FIG. 6. — Cotes limites maximales à respecter dans le lac, pour le laminage à $1\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ des débits sortant du barrage.

Les périodes sèches et humides sont représentées respectivement par les courbes situées au-dessus et au-dessous de la courbe de temps de retour 2 ans.

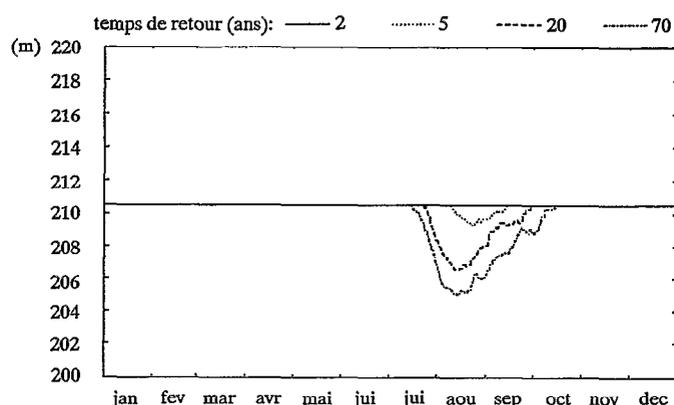


FIG. 7. — Cotes limites maximales à respecter dans le lac, pour le laminage à $4\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ des débits passant au niveau de Bakel.

Les courbes figurées correspondent aux périodes humides. Celles correspondant aux périodes sèches sont confondues avec le niveau maximal admissible dans la retenue (210,50 m).

débites provenant du Bakoye et de la Falémé créent à eux seuls un débit supérieur au seuil désiré, au niveau de Bakel.

En dehors de la période de crues, le niveau maximal autorisé correspond à la cote limite maximale acceptable dans le lac du point de vue de la sécurité.

4. CONCLUSION

Les exemples présentés ci-dessus montrent une allure générale relativement simple des limnigrammes de cotes limites dans le lac, évalués de façon statistique. De tels limnigrammes pourront être utilisés directement en tant que consignes de gestion du deuxième type (cf 1.2.) de la retenue, pour préserver dans le lac une réserve — ou une revanche — suffisante pour la satisfaction future de certains objectifs. Logiquement, le rang de priorité de ces consignes devrait être inférieur à celui des consignes du premier type (cf 1.2.) correspondant à la satisfaction immédiate des mêmes objectifs.

Une autre façon d'élaborer ces consignes de deuxième type serait de mettre au point une modélisation des apports dans la retenue, permettant d'en faire la prévision en temps réel. Les calculs pourraient être basés sur l'utilisation des équations de tarissement du Bafing en dehors de la période de crue, et, pendant celle-ci, sur l'utilisation de données télétransmises par des limnigraphes installés sur le haut bassin. Cette méthode aurait l'avantage d'utiliser des données en temps réel, mais aussi l'inconvénient de prévoir les stockages ou déstockages nécessaires sur un laps de temps ne pouvant excéder, en période de crue, le temps de concentration des écoulements entre le haut du bassin et la retenue (peut-être 15 ou 20 jours). Or on a vu plus haut que les stockages peuvent parfois s'avérer nécessaires sur une ou plusieurs années consécutives, précédant des séries d'années aux apports déficitaires. De même, les déstockages doivent s'étaler parfois sur plusieurs mois à l'avance.

Pour ces raisons, il apparaît qu'une utilisation complémentaire des deux méthodes — la première, statistique, et la deuxième, prévisionnelle — serait souhaitable pour la définition des consignes du « deuxième type » dans la retenue de Manantali. Une prochaine étude est prévue sur ce sujet.

LISTE DES VARIABLES UTILISÉES

- Cote(j) : (m) cote dans la retenue, au jour j à 24 heures.
H(V) : (m) cote de la retenue correspondant à un volume V stocké dans celle ci.
Hmax(v) : t(m) cote maximale dans la retenue, permettant d'évacuer un volume v pendant 24 heures. Au dessus de cette cote, le volume évacué est forcément supérieur à v.
Hmin(v) : (m) cote minimale dans la retenue, permettant d'évacuer un volume v pendant 24 heures. Au dessous de cette cote, le volume évacué est forcément inférieur à v.
Ie(j) : (m.jour⁻¹) intensité d'évaporation nette moyenne, pendant le quantième j de l'année.
P1 : temps de propagation entre Oualia-Manantali et Kayes.
P2 : temps de propagation entre Kayes-Gourbassi et Bakel.
Qb(j) : débit du Sénégal à Bakel, le jour j.
Qg(j) : débit de la Falémé à Gourbassi, le jour j.
Qk(j) : débit du Sénégal à Kayes, le jour j.
Qm(j) : débit du Bafing sortant du barrage de Manantali, le jour j.
Qo(j) : débit du Bakoye à Oualia, le jour j.
Qlim(j) : (m³.s⁻¹) lâchure limite du jour j, exprimée en débit moyen journalier.
Surf(H) : (m²) superficie de la retenue pour une cote H.
V(j) : (m³) volume stocké dans la retenue, au jour j à 24 heures.
Va(j) : (m³) volume des apports dans la retenue, le jour j, entre 0 et 24 heures.
Vlim(j) : (m³) lâchure limite du jour j.
Vl(j) : (m³) volume effectivement lâché durant le jour j.
Vol(H) : (m³) volume de la retenue, pour une cote H.
Vmax : (m³) volume maximal autorisé pour la sécurité de la retenue.

BIBLIOGRAPHIE

- BADER (J.C.), 1990. — *Homogénéisation et complétement de la banque de données hydrométriques du Sénégal en amont de Bakel*. OMVS, Orstom. Dakar, 17 p., 4 annexes, multigr.
- BADER (J.C.), 1991. — *Simulsen. Logiciel de simulation de gestion de la retenue de Manantali au pas de temps journalier. Notice d'utilisation*. OMVS, Orstom. Dakar, 19 p., 3 annexes, multigr.
- GIBB (A.), Électricité de France international, Euroconsult, 1987. — *Étude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS*, Vol. 1B et 2A.
- LAMAGAT (J.P.), 1989. — *Modèle de propagation des crues du fleuve Sénégal. Calage des paramètres*. OMVS, Orstom. Dakar, 46 p., multigr.
- RODIER (J.), 1964. — *Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo*. Mém. Orstom n° 6, 137 p., Paris.