



GIE ORSTOM / EDF

Région du delta du Sénégal

Etude des problèmes d'environnement et des projets de conservation du patrimoine naturel

Impact des barrages de Diama et de Manantali,
sur les niveaux dans le delta du Sénégal.
Estimation numérique des modifications
entraînées au droit des stations de
Rosso, Dagana, Podor, Guédé.

**Jean Claude Bader
Jean Albergel**

Dakar, Avril 1994

Table des matières

page	
2	1 - Introduction
2	2 - Données hydrométriques
3	3 - Principe des simulations numériques effectuées
3	3.1 - Modèle de propagation de crue de Lamagat
3	3.2 - Modèle de gestion de la retenue de Manantali: SIMULSEN
4	3.3 - Modèle de courbe de remous du barrage de Diama: COREDIAM
4	3.3.1 - Détermination de la cote à la station la plus à l'aval, en régime influencé
5	3.3.2 - Correspondance des débits entre stations successives
5	3.3.3 - Précision des cotes modélisées par COREDIAM
6	3.4 - Combinaison des différentes modélisations
6	4 - Cas de gestion simulés
6	4.1 - Scénarios de gestion retenus pour la gestion du barrage de Manantali
7	4.2 - Scénarios de gestion retenus pour le barrage de Diama
7	5 - Le régime naturel de référence (1950-1992)
10	6 - Résultats de la modélisation, pour les cas de gestion envisagés à Manantali et Diama
10	6.1 - Généralités
11	6.2 - Statistique des cotes moyennes journalières
11	6.2.1 - Différences obtenues entre modes de gestion 1 et 2 de Manantali
11	6.2.2 - Différences obtenues entre modes de gestion A et B de Diama
11	6.2.3 - Différences obtenues entre les différents modes de gestion et le régime naturel
20	6.3 - Statistique des niveaux caractéristiques de crue et d'étéage
20	6.3.1 - Niveaux caractéristiques d'étéage
20	6.3.2 - Niveaux caractéristiques de crue
25	7 - Données et études nécessaires pour une gestion d'ensemble des eaux du delta
25	7.1 - Lacunes des études déjà effectuées
25	7.2 - Gestion hydraulique des défluent du delta
26	7.2.1 - Les marigots du delta
26	7.2.2 - L'alimentation du Lac R'Kiz et du Lac de Guiers
28	Références bibliographiques

Impact des barrages de Diama et Manantali, sur les niveaux dans le delta du Sénégal. Estimation numérique des modifications entraînées au droit des stations de Rosso, Dagana, Podor et Guede.

1 - Introduction

Le bassin du fleuve Sénégal est équipé de deux grands barrages, voués à modifier de façon importante son régime hydrologique. Celui de Diama, implanté très près de l'embouchure et mis en service en 1986, est destiné à empêcher l'intrusion de la langue salée marine, et permet en outre de réhausser le niveau du fleuve, favorisant ainsi l'irrigation. Celui de Manantali, implanté sur la rivière Bafing qui fournit environ la moitié des volumes d'eau transitant dans le fleuve, a été mis en service en 1987. Cet ouvrage, pouvant retenir jusqu'à 12 milliards de mètres cube d'eau, est destiné à la fois à produire de l'électricité, et à régulariser le fleuve pour des objectifs multiples: fourniture de débit pour l'irrigation, soutien d'étiage pour la navigation, laminage des fortes crues, soutien des faibles crues pour l'optimisation des cultures traditionnelles.

Le barrage de Diama, implanté dans la partie deltaïque du fleuve où la pente est extrêmement faible, peut influencer le niveau jusqu'à environ 350 km en amont. Le réhaussement ainsi provoqué croît avec le niveau maintenu dans le lac, et décroît avec la distance au barrage et avec le débit arrivant de l'amont (BADER, 1992-b). Le barrage de Manantali, avec sa capacité de stockage équivalent à environ une année d'écoulement moyen de la rivière Bafing, affecte l'ensemble du cours du fleuve de Manantali à Diama. Il permet une régularisation saisonnière très importante des débits transitant dans la vallée, en diminuant les pointes de crue et en augmentant les valeurs d'étiage. Bien que moins importante, une régularisation interannuelle peut également être réalisée, en reportant sur les années de faible hydraulité les volumes d'eau stockés en années excédentaires (BADER, 1992-a).

Le premier objectif de cette note est de quantifier l'impact des barrages de Diama et Manantali, sur le niveau du fleuve dans sa partie comprise entre Diama et Podor - Guede. Cet impact dépend bien-sûr du mode de gestion des ouvrages, et nous n'envisagerons ici que deux types de consignes pour chacun d'entre eux, ce qui donne quatre situations à comparer à celle du régime naturel. La méthode adoptée est une simulation numérique au pas de temps journalier basée sur le modèle de propagation de crue de LAMAGAT (1989-a), auquel est adjoint un calcul de courbe de remous par la méthode de SILBER (1968). Cette simulation est menée sur la période 1950 - 1992, en utilisant comme données de base les débits observés à certaines stations non influencées du haut bassin du Sénégal. En d'autres termes, on tente de reconstituer les niveaux qu'on aurait obtenus sur cette période entre Diama et Podor - Guede, si les barrages de Diama et Manantali avaient existé.

Le second objectif de cette note est de faire quelques propositions concernant les études qu'il serait nécessaire de mener, afin d'appréhender de façon plus précise l'impact des deux ouvrages sur les niveaux d'eau dans l'ensemble du delta.

2 - Données hydrométriques

Le Sénégal est un fleuve pour lequel on dispose de données hydrologiques très anciennes. Dès le début des années 1890, il a été équipé sur les seuils et aux escales des bateaux, d'échelles limnimétriques suivies d'août à décembre pendant les hautes eaux. Cependant, on ne dispose en général de relevés complets en basses eaux à ces stations qu'à partir de 1951 (ROCHETTE, 1974). L'ensemble des chroniques de hauteurs d'eau et des mesures de débit permettant d'étalonner les stations, est géré sur une banque de données informatisée (ORSTOM, 1990). L'étalonnage a été établi ou révisé pour l'ensemble des stations où l'on dispose de mesures de débit (LAMAGAT, 1989-b). En amont de Bakel, l'étalonnage des stations est bi-univoque: le débit ne dépend que de la hauteur d'eau. Pour Bakel et toutes les stations situées en aval, le débit dépend à la fois de la hauteur d'eau et de la vitesse de variation de celle-ci, ce caractère s'accroissant vers l'aval à mesure que la pente du fleuve diminue.

Pour le haut bassin du Sénégal (Bakel et stations situées en amont), un contrôle graphique a permis d'éliminer un certain nombre de valeurs aberrantes dans les fichiers de cotes. L'analyse des relations existant entre les cotes observées aux différentes stations a permis de détecter certaines hétérogénéités relatives à des décalages de zéro d'échelles limnimétriques, et de faire les corrections nécessaires. A partir de ces mêmes relations et de l'analyse des courbes de tarissement, on a pu reconstituer les valeurs manquantes

dans la banque de données (BADER, 1990). Un travail similaire de vérification et de complétement des données a été mené dans le cadre de la présente étude, pour certaines stations situées en aval de Bakel. On dispose ainsi de chroniques de cotes complètes jusqu'en 1992 pour les stations nécessaires à notre étude.

3 - Principe des simulations numériques effectuées

3.1 - Modèle de propagation de crue de Lamagat

Une analyse de la propagation des débits pour le haut bassin du fleuve, et des cotes pour la vallée (à l'aval de Bakel), a permis de mettre au point un modèle corrélatif de transfert des ondes de crue (LAMAGAT, 1989-a), calé sur les données du régime naturel. En débit, il consiste à établir la relation permettant de passer du débit Q_{amont} d'une station à un instant t , au débit Q_{aval} qui en résulte à une station située à l'aval, au temps $t+Dt$. Pour déterminer les relations $Q_{\text{aval}}(Q_{\text{amont}})$ et $Dt(Q_{\text{amont}})$, on calcule à partir des données observées, par tranches de valeurs de Q_{amont} et pour différentes valeurs de Dt , les régressions linéaires entre $Q_{\text{amont}}(t)$ et $Q_{\text{aval}}(t+Dt)$. Pour chaque tranche, on retient la valeur moyenne de Q_{amont} , la valeur de Dt qui donne le meilleur coefficient de corrélation, et la valeur correspondante de Q_{aval} donnée par la régression retenue. Les relations ainsi établies de façon statistique entre stations successives, prennent en compte à la fois l'amortissement moyen des ondes de crues et, dans le cas des écoulement non filaires observés dans la vallée, la répartition des débits dans les différents bras du fleuve.

3.2 - Modèle de gestion de la retenue de Manantali: SIMULSEN

Ce modèle (BADER, 1991) a été réalisé pour permettre d'évaluer l'effet de certaines règles de gestion du barrage de Manantali sur le degré de satisfaction de différents objectifs assignés à l'ouvrage. Le principe de l'évaluation consiste dans un premier temps à simuler numériquement un type de gestion de la retenue, en calculant ce qu'il en résulte en matière de propagation de débit (jusqu'au niveau de Bakel, à l'aide du modèle de propagation de LAMAGAT), d'évolution du niveau de la retenue et de production d'électricité. Dans un second temps, les chroniques de débits, de cotes et de production électrique ainsi élaborées, sont analysées de façon statistique pour déterminer le taux de satisfaction des différents objectifs exprimés.

Les simulations sont faites au pas de temps journalier, sur la base des chroniques de débits de la banque de données homogénéisées du haut bassin du Sénégal. Chaque calcul est mené pour une combinaison de contraintes et de règles de gestion, choisies parmi la liste suivante et affectées de rangs de priorité :

- Respect des limites physiques imposées sur les lâchers par les dimensions des organes d'évacuation du barrage, et respect du niveau maximal admissible pour la sécurité de la retenue (ceci constitue une contrainte de gestion, retenue en première priorité pour toutes les simulations prenant en compte le barrage).
- Laminage des crues, au niveau de Bakel ou à la sortie de la retenue.
- Demande de production électrique.
- Satisfaction de différents types de besoins en eau (irrigation, navigation, alimentation des centres urbains) exprimés en débit au niveau de Bakel.

Chacune de ces consignes permet de définir soit une limite minimale Q_{min} , soit une limite maximale Q_{max} , soit les deux, pour le débit total à lâcher du barrage dans la journée (vidangé + déversé + turbiné). Pour la plupart, ces limites correspondent soit aux valeurs de débit lâché - notées Q_{min_l} ou Q_{max_l} - permettant de satisfaire directement la demande associée (c'est par exemple le débit dont la propagation, associée à celle du Bakoye à Oualia et de la Falémé à Gourbassy, produit au niveau de Bakel le débit à atteindre ou au contraire à ne pas dépasser), soit aux valeurs - notées Q_{min_b} ou Q_{max_b} - qui ramènent la cote du lac au niveau de stock ou de revanche nécessaire pour garantir la possibilité de satisfaire la demande associée avec un certain niveau de risque dans le futur (par exemple 1 année d'échec sur 50 pour les calculs effectués dans le cadre de cette étude).

Chaque jour, l'application successive des différentes règles par ordre de priorité décroissante, se traduit par le resserrement d'une fourchette de valeurs limites pour le débit total à lâcher, jusqu'à ce que toutes les règles aient été prises en compte, ou que l'une d'elles, incompatible avec les limites fixées par les règles précédentes, resserre la fourchette en une valeur unique. Finalement, la limite inférieure de la fourchette est retenue pour le débit à lâcher.

L'ensemble des paramètres intervenant dans les calculs (caractéristiques des organes du barrage et du lac, modèle de propagation de débit, besoins en eau exprimés au niveau de Bakel, limnigrammes limites à

respecter dans le lac, liste des stations hydrométriques équipées de limnigraphes télétransmetteurs où les débits sont connus en temps réel) est entièrement géré par l'utilisateur du logiciel.

Une procédure particulière (BADER, 1992-a) permet d'élaborer des limnigrammes de cote limite à respecter dans le lac, correspondant à certains niveaux d'échec pour la satisfaction des différents objectifs. Ces limnigrammes peuvent être utilisés directement en tant que consignes de gestion, pour le calcul des limites Q_{max} , ou Q_{min} , définies plus haut.

3.3 - Modèle de courbe de remous du barrage de Diama: COREDIAM

Le logiciel COREDIAM (BADER, 1992-b) combine la méthode proposée par SILBER (1968) pour le calcul des courbes de remous dans les cours d'eau naturels, avec le modèle de propagation de crue de LAMAGAT (1989-a).

Pour un écoulement filaire en régime permanent, la méthode de SILBER consiste à utiliser les relations hauteur - débit du régime naturel, connues en un certain nombre de stations, pour déterminer les cotes obtenues à ces stations en régime influencé, pour une valeur donnée de débit. Pour cela, on commence le calcul avec la station la plus en aval, qui doit être située le plus près possible de l'ouvrage dont on veut calculer le remous, de façon que la cote influencée puisse y être assimilée à celle du plan d'eau de l'ouvrage. Pour une cote donnée à cette station, on écrit pour le régime naturel et pour le régime influencé, la relation de BERNOULLI traduisant la perte de charge subie par l'écoulement depuis la station précédente située en amont. La juxtaposition des deux équations permet alors de déterminer en régime influencé, pour la condition de débit retenue, la charge et la cote à la station amont. On réitère ensuite le calcul entre cette station et la suivante, et ainsi de suite.

Moyennant certaines adaptations, la méthode de SILBER peut être appliquée le long des deux parcours suivants, où l'on indique pour chaque station la valeur de PK, distance kilométrique mesurée le long du chenal depuis la ville de Saint-Louis, proche de l'embouchure du fleuve.

-- branche Sénégal : Rosso (PK 133), Dagana (PK 169), Podor (PK 267), Boghe (PK 379), Salde (PK 474), Kaedi (PK 532);

-- branche Doué : Rosso, Dagana, Guédé (PK 305), Ngoui (PK 461), Kaedi.

Les adaptations nécessaires concernent la détermination de la cote à la station la plus à l'aval en régime influencé, et la correspondance des débits entre stations successives.

3.3.1 - Détermination de la cote à la station la plus à l'aval, en régime influencé

Rosso, la station la plus en aval ayant pu être étalonnée, est située 105 km à l'amont du barrage de Diama (PK 28). Cette distance importante ne permet pas d'assimiler la cote à cette station à celle qui, relevée au droit de l'ouvrage, constitue une des deux entrées du modèle. En préalable aux autres calculs, un calcul corrélatif est donc effectué sur les données du régime influencé, pour déterminer la fonction liant la cote à Rosso à la cote simultanée à Diama, et à une cote relevée antérieurement à Kaédi ou Bakel. Cette fonction précédemment établie en 1992 lors de l'élaboration du logiciel COREDIAM, a pu être redéfinie (à partir de Bakel) avec une meilleure précision dans le cadre de la présente étude, grâce à un échantillon de cotes plus important (1988-1993), correspondant à une variation de niveau dans le lac de plus grande amplitude (de 0 à 180 cm IGN environ) et de moindre corrélation avec les cotes observées à Bakel. Cette fonction est explicitée ci-dessous, en notant j le jour, t le temps de propagation entre Bakel et Rosso, et pour les niveaux d'eau: H_B la cote à l'échelle de Bakel, H_R la cote IGN à Rosso, H_D la cote IGN du lac de Diama au droit de l'ouvrage, et D la dénivelée entre Rosso et Diama.

$$H_R(H_B(j), H_D(j+t(H_B(j))), j+t(H_B(j))) = H_D(j+t(H_B(j))) + D(H_B(j), H_D(j+t(H_B(j))))$$

La dénivelée D , toujours positive ou nulle, est obtenue par interpolation linéaire à partir du tableau I.

Tableau I. Dénivelée (cm) entre Rosso et Diama en fonction de la cote à l'échelle de Bakel, pour une cote IGN de 75 cm ou 150 cm à Diama.

$H_B(j)$ (cm)	50	150	250	350	450	550	650	750	850
$H_D(j+t) = 75$ cm	0	0	4	17	48	85	102	110	118
$H_D(j+t) = 150$ cm	0	0	2	6	16	28	33	37	40

à partir de Kaedi :
 (Rosdiat. xl)

	7	11	20	32	50	80	127	185	265
	0	3	6	20	47	80	108	130	150
	0	2	3	8	20	32	43	51	56

La fonction $t(H_p)$ qui donne le temps de propagation est conservée telle que définie dans l'étude de 1992.

3.3.2 - Correspondance des débits entre stations successives

La méthode de SILBER, établie pour le cas d'un écoulement filaire en régime permanent, suppose l'égalité du débit sur l'ensemble des stations retenues, et ne fait intervenir aucune notion de temps. Ces conditions conviennent peu à la basse vallée du Sénégal, où l'écoulement se fait dans plusieurs chenaux, et où le régime naturel ne présente une permanence de débit suffisante qu'en basses eaux, quand le débit varie peu à Kaédi pendant un temps supérieur au temps de propagation entre Kaédi et Rosso.

La relation de BERNOULLI qui est à la base de la méthode de SILBER, relie la perte de charge (énergie par unité de poids) de l'écoulement entre deux stations, au travail par unité de poids des forces de viscosité. Elle est obtenue en intégrant le théorème de l'énergie cinétique le long d'un filet liquide, en suivant en quelque sorte la trajectoire d'une particule, et rien n'empêche de l'appliquer sur un écoulement non filaire. Par ailleurs, le résultat de cette intégration effectuée sur une distance infinitésimale dans le cas d'un écoulement non permanent, diffère de celui du régime permanent, par la présence d'un terme $(1/g) \cdot (\partial V / \partial t) \cdot ds$, où g désigne l'accélération de la pesanteur, V la vitesse, t le temps et s l'abscisse dirigée dans le sens de l'écoulement. On suppose donc les variations de vitesse suffisamment lentes dans le temps, pour pouvoir négliger ce terme devant celui du travail des forces de viscosité par unité de poids, et appliquer le théorème de Bernoulli en régime non permanent. On prend également le parti de relier la perte de charge entre deux stations, au débit passant à la station aval.

Ces différentes approximations permettent de mener comme suit, le calcul de la courbe de remous pour une cote donnée à la station entrée de l'amont (Bakel ou Kaédi).

-- Pour la station entrée de l'amont, l'étalonnage en régime naturel permet de calculer le débit correspondant à la cote retenue.

-- Le modèle de LAMAGAT calé en régime naturel, permet de définir à partir du débit de la station entrée de l'amont, les débits résultants aux différentes stations, ainsi que les temps de propagation correspondants. Une procédure spécialement mise au point dans le cadre de cette étude a été ajoutée à cette étape du calcul, pour prendre en compte des prélèvements de débits supposés linéairement répartis entre la station entrée de l'amont et Diama, et dont l'effet s'ajoute à la propagation et à l'amortissement naturels de la crue.

-- En faisant l'hypothèse que l'influence du barrage de Diama ne modifie pas de façon importante la propagation des débits, ceux qui sont calculés ci-dessus sont utilisés pour appliquer la méthode de Silber. Les calculs sont menés à partir de la cote déterminée plus haut pour la station de Rosso, en remontant à la fois le sens de l'écoulement et le temps.

3.3.3 - Précision des cotes modélisées par COREDIAM

Une modélisation a été effectuée à partir des cotes observées à Bakel et Diama de 1988 à 1993. Le tableau suivant donne les erreurs absolues moyennes obtenues entre cotes ainsi reconstituées et cotes observées, pour les stations qui nous intéressent. On constate une précision acceptable du modèle, avec une erreur absolue moyenne (EAM) comprise entre 6% et 14% de l'écart type naturel de l'échantillon de cotes observées. La valeur relativement élevée de EAM obtenue pour Guede tombe à 16,7 cm (et EAM/E à 11,4%), si on supprime les périodes de Juillet-Août 1989 et Février-Avril 1993 dans l'échantillon de cotes observées. Ces périodes présentent en effet des valeurs anormalement fortes qui discordent avec les cotes observées aux stations voisines, et qui sont probablement dues à des ouvrages temporaires sur le Doué, non prévus par la modélisation.

tableau II Erreur absolue moyenne des cotes reconstituées par le modèle de courbe de remous

	cotes observées de 1988 à 1993			résultats de la modélisation	
	Minimum (cm)	Maximum (cm)	E écart type (cm)	EAM erreur absolue moyenne (cm)	EAM/E (cm)
Rosso	19	253	59	4,1	6,9
Dagana	49	312	62	7,4	11,9
Podor	49	482	87	11,2	12,8
Guédé	54	656	144	19,9	13,8

3.4 - Combinaison des différentes modélisations

Pour chaque cas étudié, relatif à la juxtaposition d'un scénario de gestion pour Manantali et d'un scénario pour Diama, la simulation s'effectue de la façon suivante:

-- Calcul de la chronique de débits moyens journaliers obtenus à Bakel à partir du scénario retenu pour Manantali, à l'aide du logiciel SIMULSEN.

-- Traduction des débits moyens journaliers à Bakel en cotes moyennes journalières, à l'aide du programme TRAQH_NU développé dans le cadre de cette étude. L'étalonnage de cette station, fait par la méthode du gradient limnimétrique (LAMAGAT, 1989-b), relie le débit à la cote et à la vitesse de variation de celle-ci, par une fonction ne pouvant être inversée de façon explicite qu'au prix d'hypothèses très simplificatrices. Le parti a donc été pris de calculer les cotes à partir des débits par un processus itératif simple, qui se révèle converger correctement vers la solution à condition de limiter la vitesse de convergence par un coefficient de pondération approprié.

-- Calcul des chroniques de cotes aux stations de Rosso, Dagana, Podor et Guede, à partir de la chronique des cotes obtenue à l'étape précédente pour Bakel, et de la chronique des cotes retenue pour Diama, à l'aide du programme RECREM1 développé dans le cadre de cette étude. Ce programme reprend les algorithmes de calcul du logiciel COREDIAM, auxquels s'ajoute la procédure permettant de prendre en compte des prélèvements de débits répartis le long du fleuve.

4 - Cas de gestion simulés

4.1 - Scénarios de gestion retenus pour la gestion du barrage de Manantali

Les tests ont porté sur deux scénarios types, dont les effets sur la satisfaction des différents objectifs assignés à l'ouvrage ont été précédemment étudiés par ALBERGEL *et al.* (1993). Ces deux scénarios diffèrent essentiellement par la prise en compte ou non du soutien de crue, qui consiste à produire chaque année une crue artificielle dans la vallée ayant des caractéristiques proches d'une crue moyenne observée en régime naturel. Ce soutien de crue a été envisagé d'une part pour sécuriser les cultures traditionnelles de décrue et d'autre part pour favoriser la conservation d'écosystèmes humides sur les terres les plus hautes de la vallée. Les règles retenues sont, par ordre de priorité décroissante: A, B, C, D1, E, F pour le scénario 1, et A, B, C, D2, E pour le scénario 2. Elles sont détaillées ci dessous:

Règle A: Laminage des crues du Sénégal à Bakel, à 4 500 m³.s⁻¹ en débit journalier

A cette règle sont associées une limite Q_{max} et une limite Q_{min}, définies plus haut.

Règle B: Laminage des crues du Bafing à la sortie du barrage, à 1 500 m³.s⁻¹ en débit journalier

Comme la précédente, cette règle introduit une limite Q_{max} puis une limite Q_{min}.

Règle C: Satisfaction des demandes en eau pour l'irrigation de 200 000 ha dans la vallée, et l'alimentation en eau de l'agglomération de Dakar, via le lac de Guiers.

On considère un débit de 20 m³.s⁻¹ à fournir au niveau du lac de Guiers, destiné entre autres à l'alimentation de l'agglomération de Dakar (via la conduite existante, et le canal de Cayor en projet), auquel on ajoute une perte moyenne par évaporation de 30 m³.s⁻¹ depuis Bakel. Avec les débits nécessaires pour irriguer 200 000 ha de terres pour les types de cultures envisagés par GIBB (1987), ces différents besoins se traduisent par une demande de débit exprimée au niveau de Bakel, qui est décrite dans le tableau III.

Tableau III : Demande de débit (m³.s⁻¹) pour l'irrigation de 200 000 ha et l'alimentation en eau de Dakar

janv	févr	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
102	198	237	239	215	191	181	311	374	344	242	132

La règle C consiste à prendre en compte les limites Q_{min} puis Q_{max} associées à cette demande de débit.

Règle D: demande de production de 90 Mw d'électricité, avec un seuil de turbinage de 186 m IGN

Cette règle consiste à prendre en compte la limite Q_{min} associée, puis une limite Q_{max} qui est moins élevée (et donc plus contraignante pour les règles de priorité inférieure) pour la règle D2 que pour la règle D1. On note P_d (= 90 Mw) la puissance électrique demandée, et S (= 186 m IGN) le seuil de turbinage, niveau limite du lac en dessous duquel on estime que lâcher un débit à seule fin de production électrique n'est pas rentable.

A titre indicatif, il faut pour produire 90 Mw, turbiner $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ quand le lac est à la cote 208,05 m IGN (seuil de déversement du barrage), et $344 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ quand il est à la cote 186 m IGN. La puissance journalière P à produire est choisie égale au maximum productible dans le cas où le niveau du lac dépasse le seuil de déversement du barrage, et égale à Pd dans le cas contraire. On note Q_a et Q_b les valeurs minimale et maximale de débit total évacué du barrage permettant de produire la puissance P, avec $Q_a = Q_b = 0$ dans le cas où P est impossible à produire (niveau du lac trop bas). La valeur de Q_{\min} est alors définie par:

$Q_{\min} = 0$ si le niveau du lac est inférieur à S, et $Q_{\min} = Q_a$ dans le cas contraire.

Règle D1: la valeur de Q_{\max} est définie par: $Q_{\max} = Q_b$

Règle D2: la valeur de Q_{\max} est définie de la façon suivante, à partir des limites Q_{\max_a} et Q_{\max_b} :

$Q_{\max_a} = 0$ si le niveau du lac est inférieur à S, et $Q_{\max_a} = Q_b$ dans le cas contraire.

Q_{\max_b} est calculé pour les jours situés entre le 1er décembre et le 15 juin. Cette limite est directement liée à une réserve minimale à conserver dans le lac, garantissant la possibilité de produire Pd jusqu'au 15 juin. Elle est calculée en tenant compte du niveau du lac, du débit entrant dans la retenue et du coefficient de tarissement correspondant, ainsi que des pertes moyennes par évaporation. En définitive:

$Q_{\max} = Q_{\max_a}$ entre le 16 juin et le 31 novembre

$Q_{\max} = \min(Q_{\max_a}, Q_{\max_b})$ entre le 1er décembre et le 15 juin.

Règle E: soutien d'un débit minimal de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au niveau de Bakel, pour la navigation

Seule une limite Q_{\min} est associée à cette règle.

Règle F: soutien des débits de crue permettant la culture traditionnelle sur 100 000 ha dans la vallée ("crue artificielle Gibb A")

Cette règle consiste à prendre en compte la limite Q_{\min} associée à la demande de débit destinée à reproduire au niveau de Bakel, l'hydrogramme de "crue artificielle de type A" (GIBB, 1987), décrit dans le tableau IV. Cette crue artificielle aux caractéristiques moyennes d'une crue en régime naturelle a été préconisée pour une période de transition permettant aux paysans de la vallée de passer de la culture traditionnelle à la culture irriguée au fur et à mesure de la mise en place des aménagements. HOROWITZ *et al* (1990) montrent l'importance de conserver cette inondation artificielle tant sur le plan de la conservation des écosystèmes que sur celui des équilibres des systèmes sociaux riverains du Sénégal.

Tableau IV: hydrogramme de la "crue artificielle Gibb A"

date	1er août	4 sept	15 sept	20 sept	1er oct	26 oct	15 nov
débit ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	300	500	2500	2500	1500	300	300

4.2 - Scénarios de gestion retenus pour le barrage de Diama

Nous avons retenu l'hypothèse d'un niveau maintenu constant dans la retenue de Diama, pour deux cotes différentes: scénario A : cote 175 cm IGN; scénario B : cote 225 cm IGN.

Pour les prélèvements d'eau effectués entre Bakel et Diama, qui modifient la propagation naturelle de la crue (voir plus haut), on a retenu les débits indiqués dans le tableau III, auxquels a été soustrait un débit constant de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sensé être une estimation des pertes moyennes par évaporation entre Bakel et Diama, déjà implicitement prises en compte dans le calage du modèle de propagation de crue de Lamagat sur le régime naturel.

5 - Le régime naturel de référence (1950-1992)

Les figures 1 et 2 qui montrent la variation de cote aux stations de Rosso, Dagana et Podor pour les années 1966 (bonne hydraulité) et 1976 (faible hydraulité) respectivement, mettent en évidence les grandes lignes du régime hydrologique naturel du Sénégal dans cette région. Ce régime est caractérisé par la propagation et l'amortissement d'une onde de crue annuelle s'étalant de juillet-août à novembre-décembre. En dehors de cette période, le niveau des basses eaux est très proche du zéro IGN, avec une influence marine très nette qui se manifeste par une onde de période 15 jours environ.

L'année des premières cotes observées disponibles sur fichier informatique, est pour les différentes stations:

-- 1961 à Bafing-Makana; 1954 à Oualia; 1954 à Gourbassy (stations intervenant dans la modélisation de Manantali);

Figure 1 : Limnigrammes du régime naturel à Rosso, Dagana et Podor, pour l'année 1966 (cm IGN)

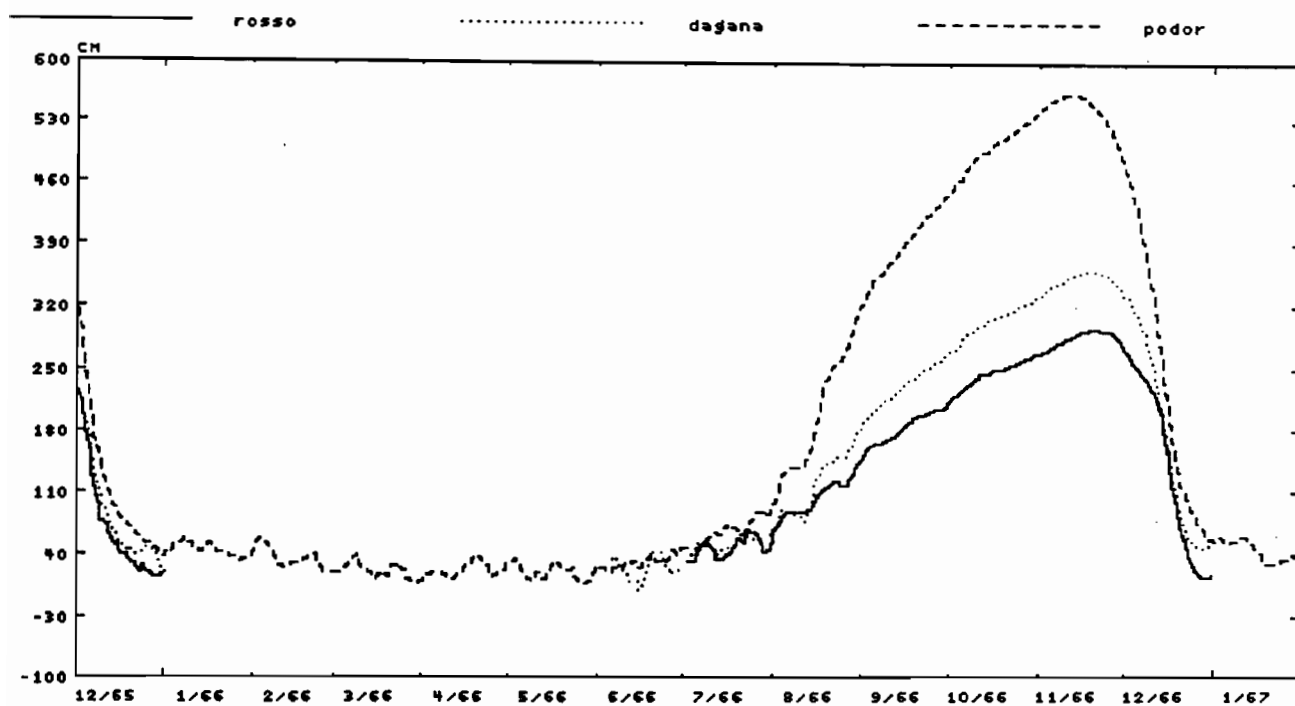


Figure 2 : Limnigrammes du régime naturel à Rosso, Dagana et podor pour l'année 1976 (cm IGN)

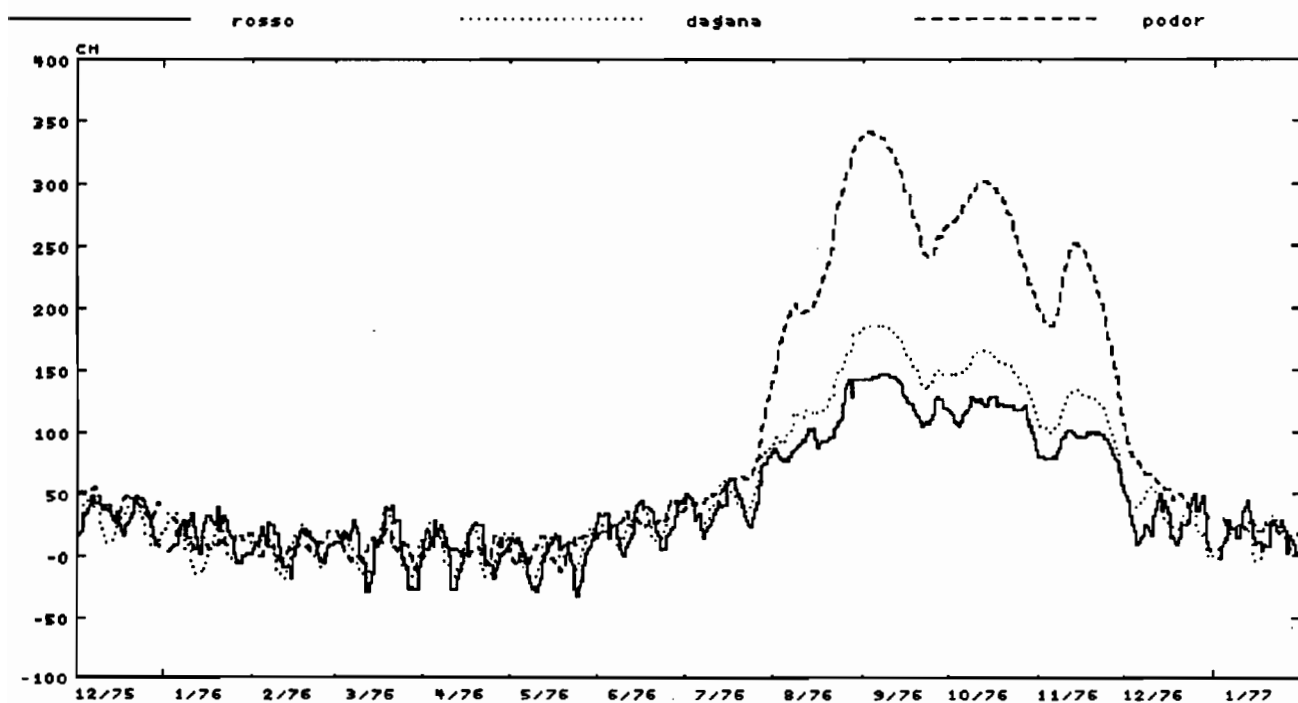


Figure 3 : Limnigrammes (cm IGN) obtenus à Rosso, Dagana et Podor, pour l'année 1966, pour les modes de gestion 1 à Manantali et A à Diama.

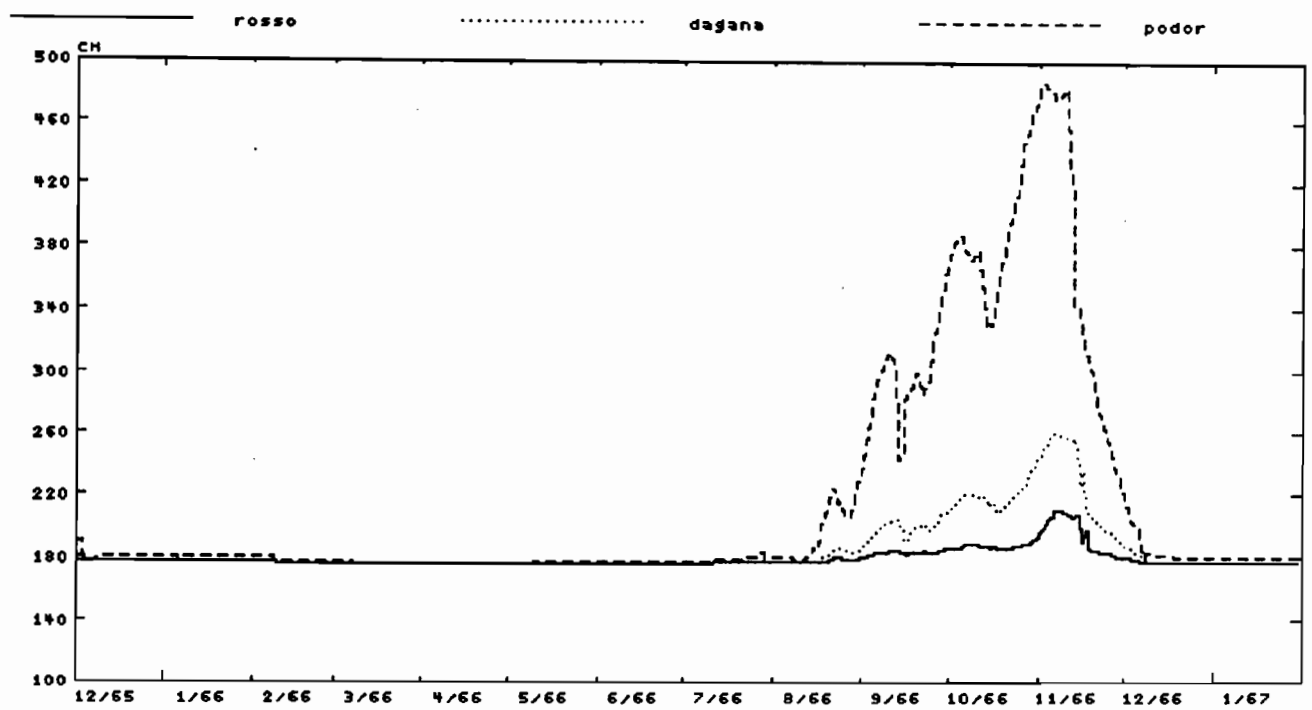
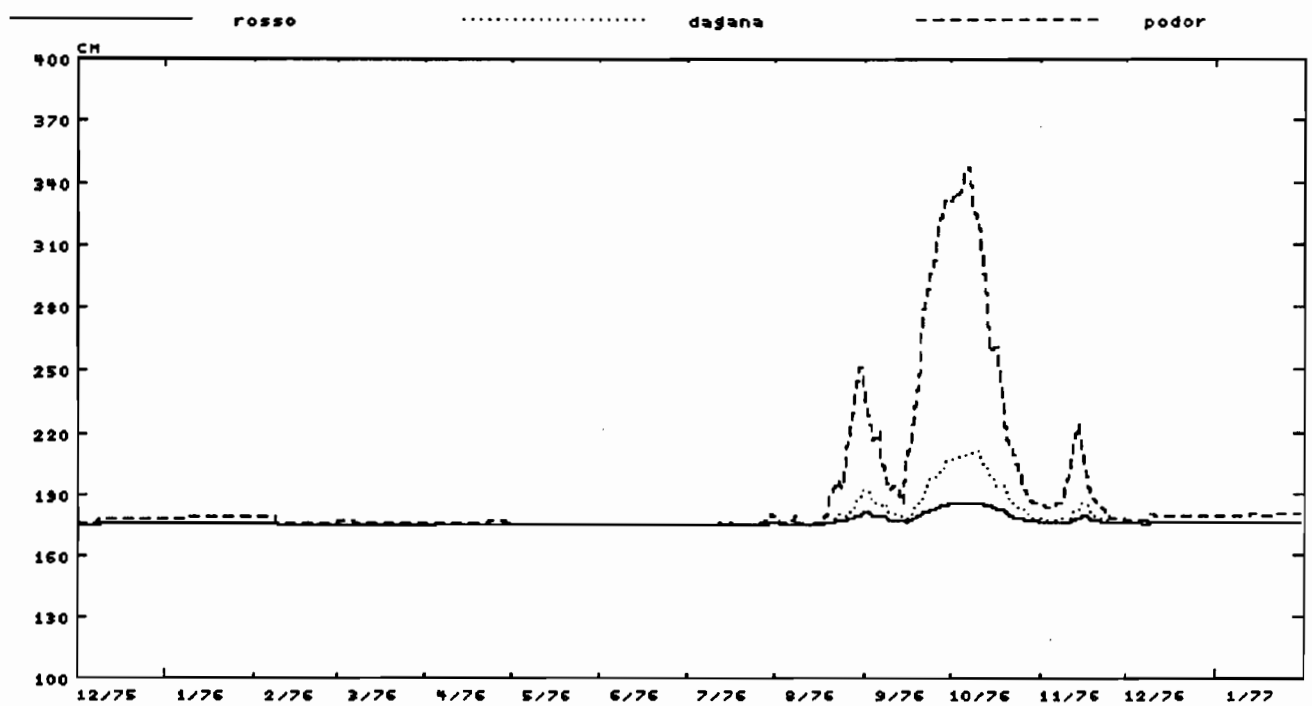


Figure 4 : Limnigrammes (cm IGN) obtenus à Rosso, Dagana et podor pour l'année 1976, pour les modes de gestion 1 à Manantali et A à Diama



– 1903 à Podor; 1940 à Guédé; 1903 à Dagana; 1954 à Rosso (stations pour lesquelles on recherche l'impact des deux ouvrages);

Bien que les travaux d'homogénéisation et de complèment des données mentionnés plus haut aient permis d'obtenir des fichiers complets à partir de 1904 pour ces stations, on a préféré faire débiter la période de référence à 1950, en évitant de retenir trop d'années de données intégralement reconstituées. On privilégie ainsi la fiabilité des données de base utilisées dans les calculs au détriment de la durée de la modélisation qui, de 1950 à 1992 s'étend tout de même sur 43 années, recouvrant une période excédentaire en eau (années 50-60) et une période déficitaire (années 70-80-90).

Dès fin 1983, bien avant la mise en service du barrage de Diama qui a eu lieu en 1986, on constate que les limnigrammes relevés à Rosso, Dagana, Podor et Guédé présentent un caractère très artificiel en période de basses eaux, commençant par un soutien inhabituel au début de celles-ci, suivi d'une baisse entraînant le niveau plus d'un mètre en dessous du zéro IGN. Manifestement, ceci est dû à l'influence probable d'ouvrages temporaires sur le fleuve, et nous ne sommes plus en présence d'un régime naturel. Il a donc été nécessaire dans le cadre de cette étude, de reconstituer le régime naturel de 1983 à 1992 par le modèle de propagation de LAMAGAT inclus dans le programme RECREM1, à partir des cotes du régime naturel à Bakel pour cette période, elles mêmes reconstituées depuis 1987 (mise en service de Manantali) à partir des cotes de Oualia, Gourbassy et Bafing-Makana, avec le logiciel SIMULSEN et le programme TRQH_NU.

6 - Résultats de la modélisation, pour les cas de gestion envisagés à Manantali et Diama

6.1 - Généralités

A titre d'exemple, les figures 3 et 4 montrent les limnigrammes obtenus pour 1966 et 1976 à Rosso, Dagana et Podor dans le cas des modes de gestion 1 pour Manantali et A pour Diama. La comparaison avec les figures 1 et 2 permet d'apprécier de façon qualitative les principales modifications induites sur le régime hydrologique, qui vont se retrouver d'une façon générale pour tous les cas de gestion envisagés. On constate d'abord un réhaussement très important du niveau en période d'étiage, qui passe d'une valeur voisine de 0 cm IGN en régime naturel, à la cote imposée par Diama (ici 175 cm). Les hautes eaux voient leur durée légèrement réduite, avec un abaissement de la cote maximale lors de l'année 1966 (excédentaire), et un accroissement de celle-ci pour l'année 1976 (déficitaire). Tout ceci traduit une diminution sensible de la variabilité temporelle du niveau aux différentes stations, à la fois saisonnière et interannuelle. L'impact du barrage de Manantali se fait surtout sentir sur les hautes eaux, alors que celui de Diama concerne plus particulièrement les basses eaux.

Pour la période 1950-1992, le tableau V indique le réhaussement moyen de niveau obtenu pour chaque cas de gestion simulé, et donne une idée de la diminution de variabilité des cotes. On remarque d'emblée que pour les deux hypothèses de gestion retenues pour Manantali, qui incluent chacune un laminage important des pointes de crue du Sénégal à Bakel, l'hypothèse B de gestion de Diama donne un hydrogramme plat à Rosso, se situant à la cote du lac (225 cm IGN). On remarque également que les scénarios 1 et 2, qui donnent des résultats assez différents au niveau de la production d'énergie à Manantali et de l'hydrogramme obtenu à Bakel, donnent des cotes assez semblables au niveau des stations qui nous intéressent.

Tableau V : Eléments caractéristiques (cm IGN) des chroniques de cotes moyennes journalières relatives au régime naturel et aux 4 cas de gestion envisagés, sur la période 1950-1992

	ROSSO					DAGANA				
	Rég. Nat.	1A	1B	2A	2B	Reg. Nat.	1A	1B	2A	2B
Minimum	-31,7	175	225	175	225	-21,7	175	225	175	225
Maximum	367	220	225	220	225	433	274	276	274	276
Moyenne	66,4	177	225	177	225	79,3	181	228	181	228
Ecart-type	83,0	4,58	0	4,61	0	103	14,6	8,32	14,6	8,27

Tableau V : suite

	PODOR					GUEDE				
	Rég. Nat.	1A	1B	2A	2B	Reg. Nat.	1A	1B	2A	2B
Minimum	-15,1	175	225	175	225	-35,4	175	225	175	225
Maximum	624	506	506	506	506	706	602	603	602	603
Moyenne	125	203	246	202	245	194	234	271	232	269
Ecart-type	169	64,2	49,9	63,1	49,4	222	113	95,4	110	92,9

6.2 - Statistique des cotes moyennes journalières

Afin de quantifier assez précisément l'impact des deux barrages sur les niveaux aux quatre stations, les chroniques de cotes obtenues pour les différents modes de gestion, ainsi que celles du régime naturel, ont été analysées d'un point de vue statistique. Pour chaque cas et chaque station, un classement des cotes obtenues sur les 43 années, effectué pour chaque jour de l'année, permet d'obtenir 365 fonctions de répartition des cotes. Les valeurs relatives aux temps de retour 2, 5 10 et 20 ans, données par ces fonctions de répartition, sont représentées sur les figures 5 à 8 pour Rosso, Dagana, Podor et Guédé respectivement.

6.2.1 - Différences obtenues entre modes de gestion 1 et 2 de Manantali

Sur les figures 5 à 8, on observe une différence assez nette entre les cotes obtenues pour les gestions 1 et 2 de Manantali, qui n'apparaissait pas sur le tableau V. Les niveaux de crue sont en effet nettement réhaussés par le soutien de crue inclus dans la gestion 1 de Manantali, dans la partie basse de leur fonction de répartition, de début septembre à mi-octobre. Pendant l'étiage, les niveaux qui sont directement imposés par la cote du lac de Diama n'en sont par contre nullement affectés, et ce malgré des différences fréquentes de cotes entre gestion 1 et 2 au niveau de Bakel.

6.2.2 - Différences obtenues entre modes de gestion A et B de Diama

Toujours sur les figures 5 à 8, on constate conformément à la logique que le passage de la cote 175 (gestion A) à la cote 225 (gestion B) dans le lac de Diama, se traduit par un réhaussement plus fort en basses eaux qu'en hautes eaux. Ce réhaussement, qui affecte l'ensemble des limnigrammes pour Rosso et Dagana (au moins jusqu'aux valeurs hautes de temps de retour 20 ans), s'annule en période de crue pour les valeurs hautes de temps de retour 5 ans et plus à Podor (cotes supérieures à 350 cm), et pour la quasi-totalité des cotes supérieures à 225 cm à Guede.

6.2.3 - Différences obtenues entre les différents modes de gestion et le régime naturel

La comparaison des cotes obtenues avec celles du régime naturel laisse apparaître qu'à Guédé, les quantiles de cote du régime naturel sont systématiquement supérieurs à ceux des quatre cas de gestion étudiés dès lors qu'ils dépassent la cote du lac (période de hautes eaux), et sont inférieurs dans le cas inverse (période de basses eaux). Un résultat quasi-identique s'observe à Podor, Dagana et Rosso. Pour Podor, on note que le quantile bas de temps de retour 20 ans du régime naturel, inférieur à 225 cm pendant toute l'année, est systématiquement dépassé par le quantile correspondant obtenu avec la gestion B de Diama. Pour Dagana et Rosso, ce sont les quantiles bas de temps de retour 20, 10 et 5 ans qui, inférieurs à 175 cm pendant toute l'année, sont systématiquement dépassés par les quantiles correspondants des quatre cas de gestion étudiés.

D'une façon générale et pour chaque jour de l'année, les cas de gestion simulés entraînent un réhaussement des quantiles bas des cotes (sauf pour Guede de août à octobre, et Podor en septembre pour la gestion A), qui se retrouvent bornés par le niveau imposé dans le lac de Diama. La variabilité interannuelle des cotes, que l'on peut estimer pour chaque jour de l'année par la différence entre quantiles haut et bas de temps de retour 20 ans, toujours importante en période de crue pour le régime naturel, est fortement amoindrie dans tous les cas de gestion étudiés.

Figure 5: Cotes moyennes journalières (cm IGN) à ROSSO (1950 - 1992)

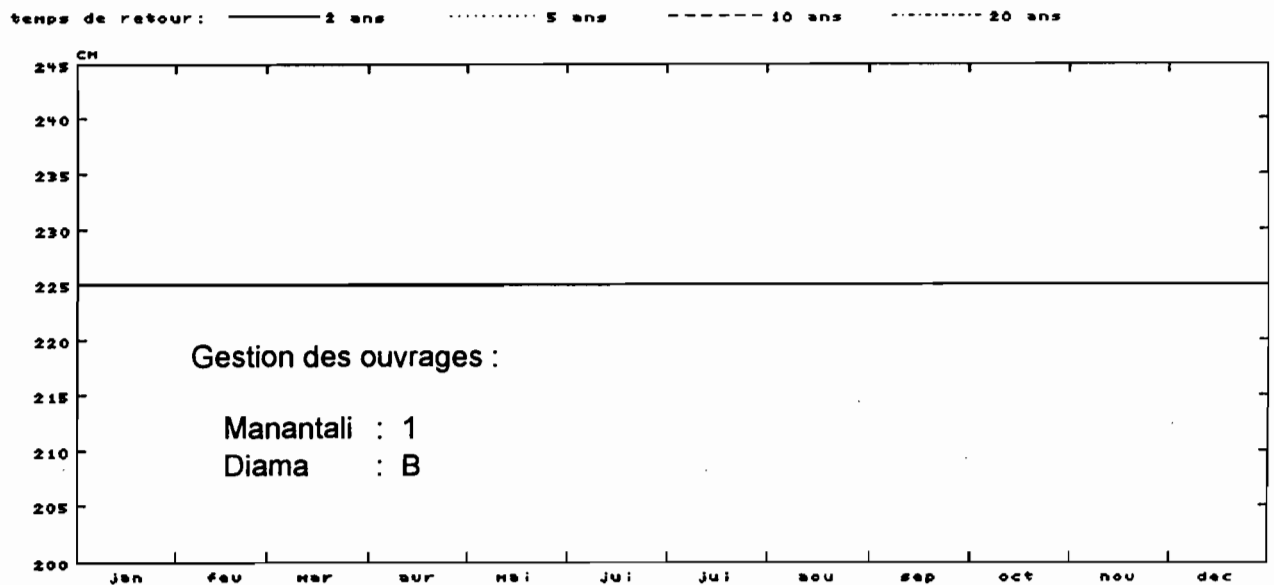
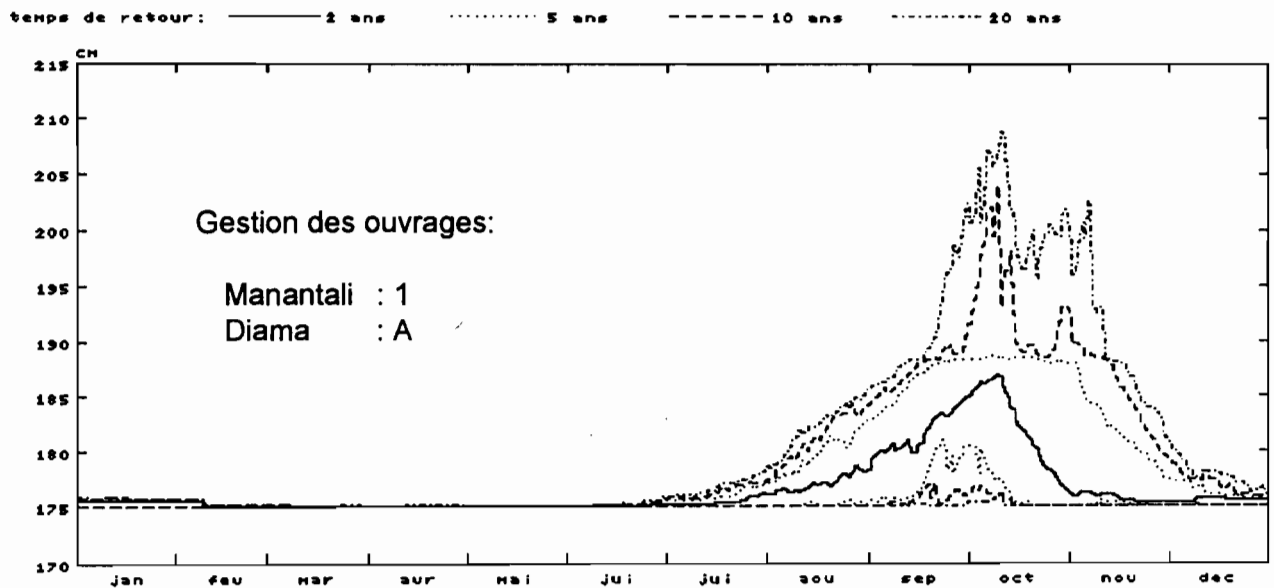
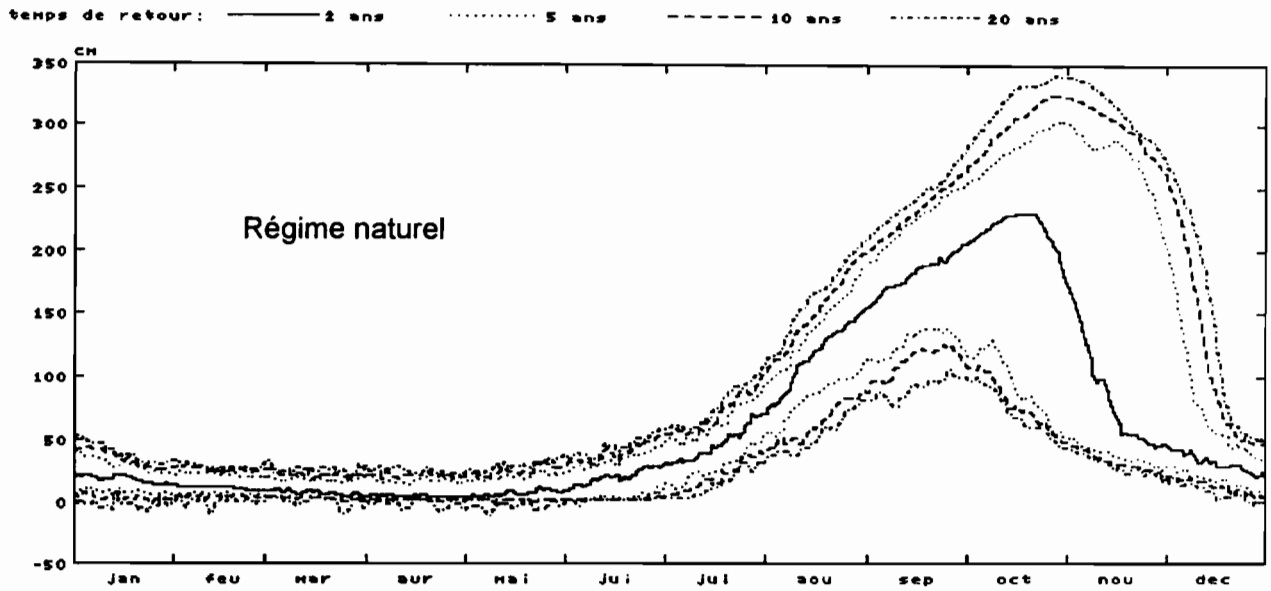


Figure 5 (suite): Cotes moyennes journalières (cm IGN) à ROSSO (1950 - 1992)

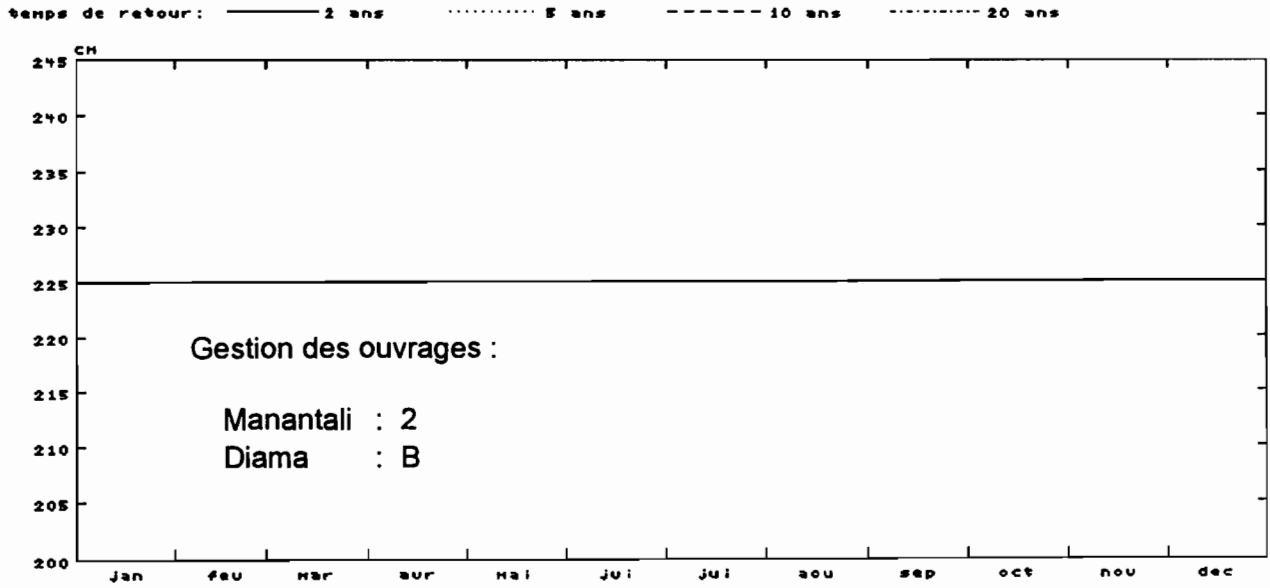
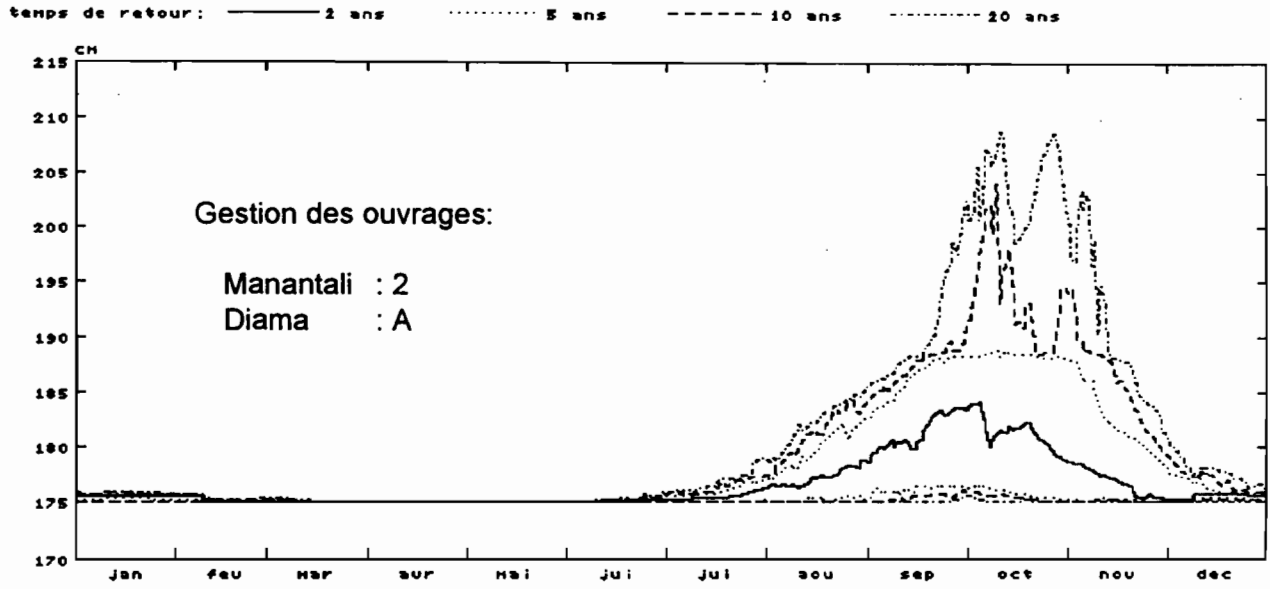


Figure 6: Cotes moyennes journalières (cm IGN) à DAGANA (1950 - 1992)

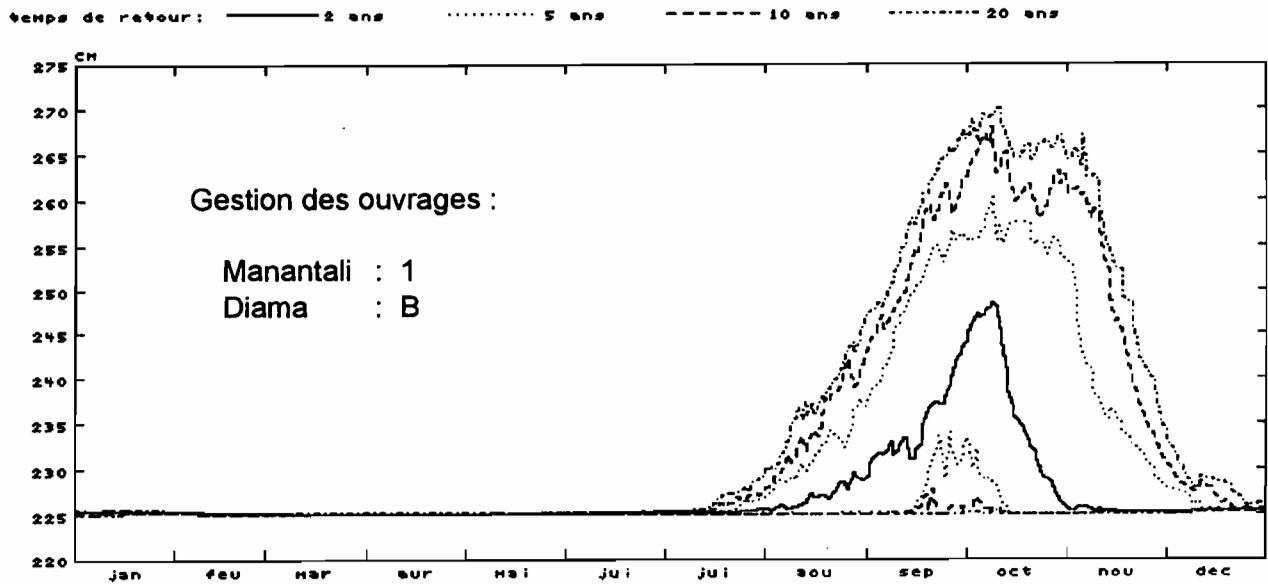
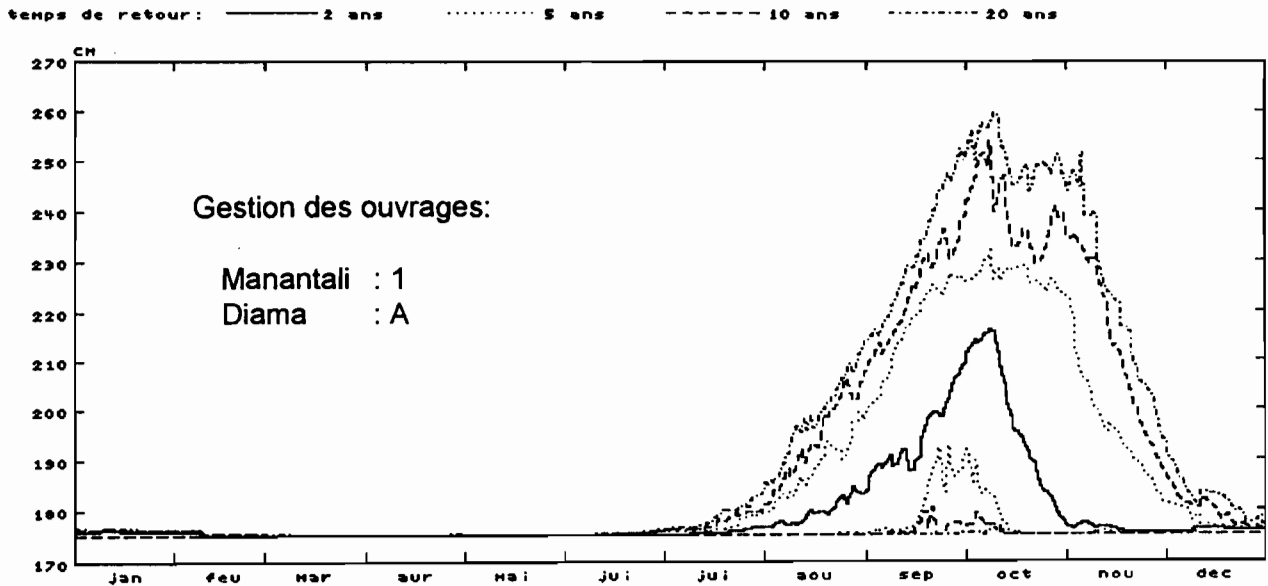
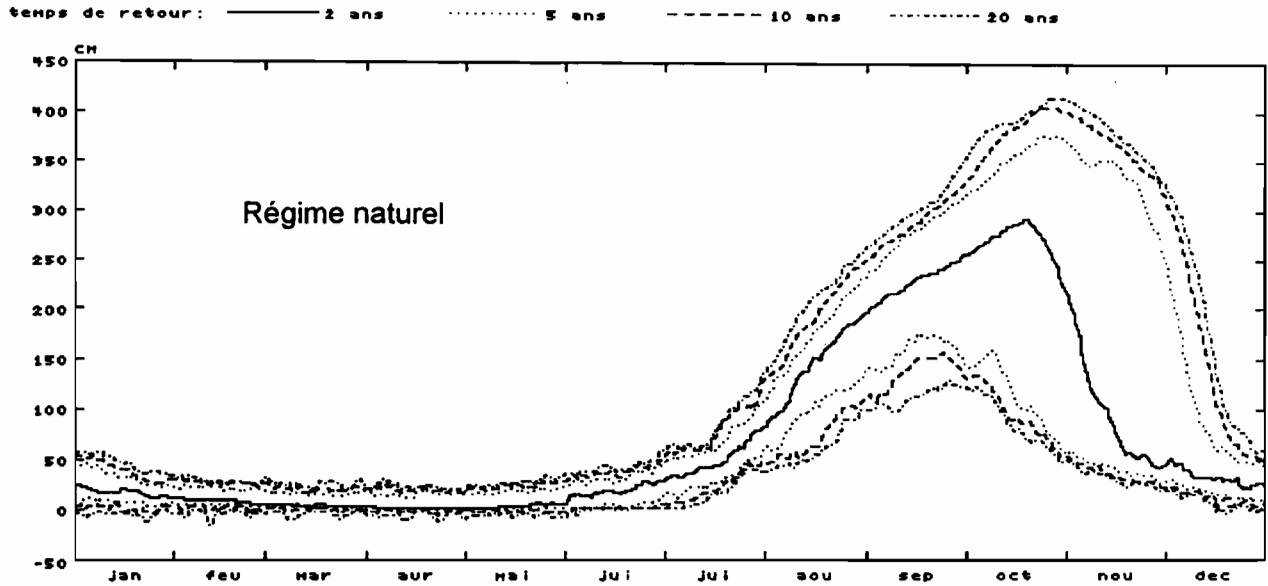


Figure 6 (suite): Cotes moyennes journalières (cm IGN) à DAGANA (1950 - 1992)

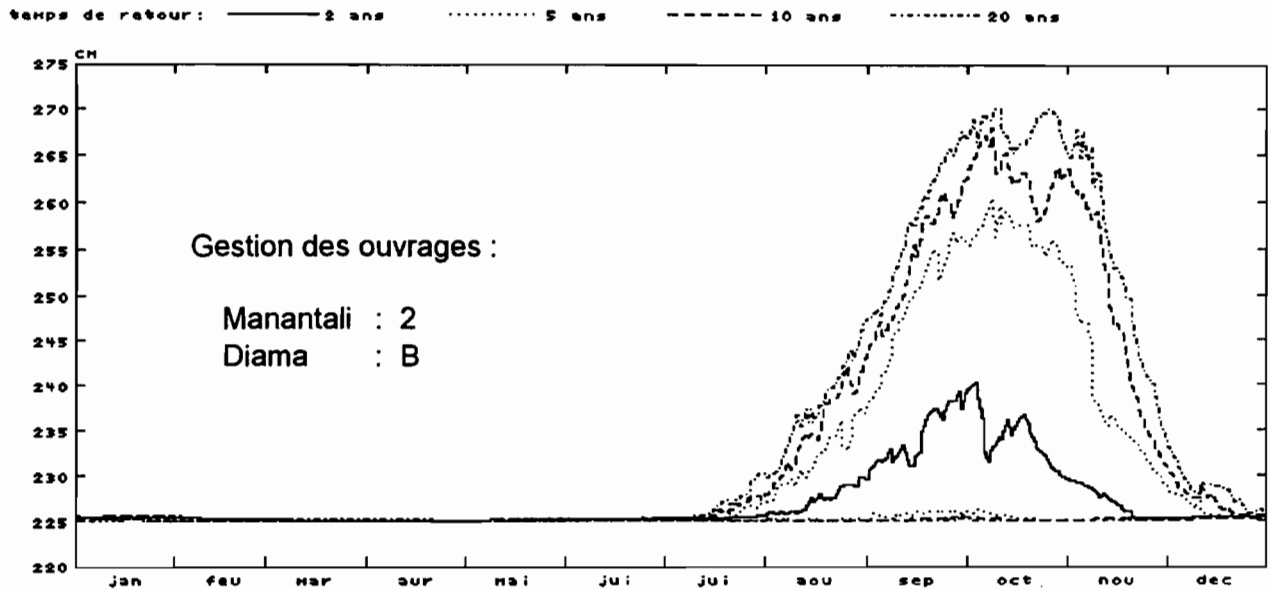
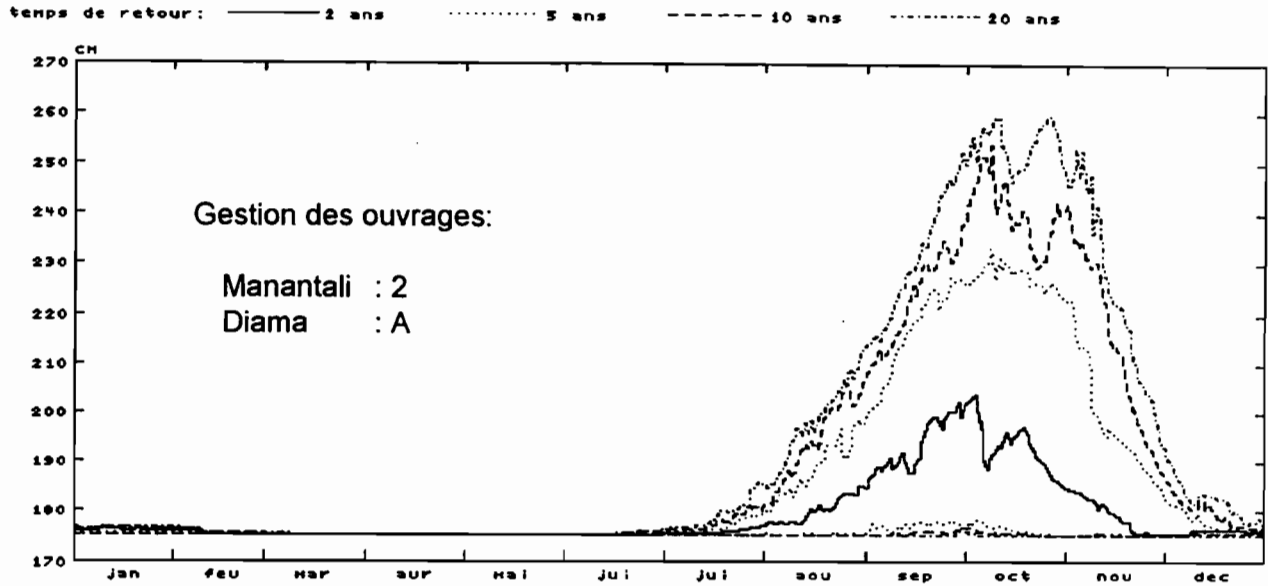


Figure 7: Cotes moyennes journalières (cm IGN) à PODOR (1950 - 1992)

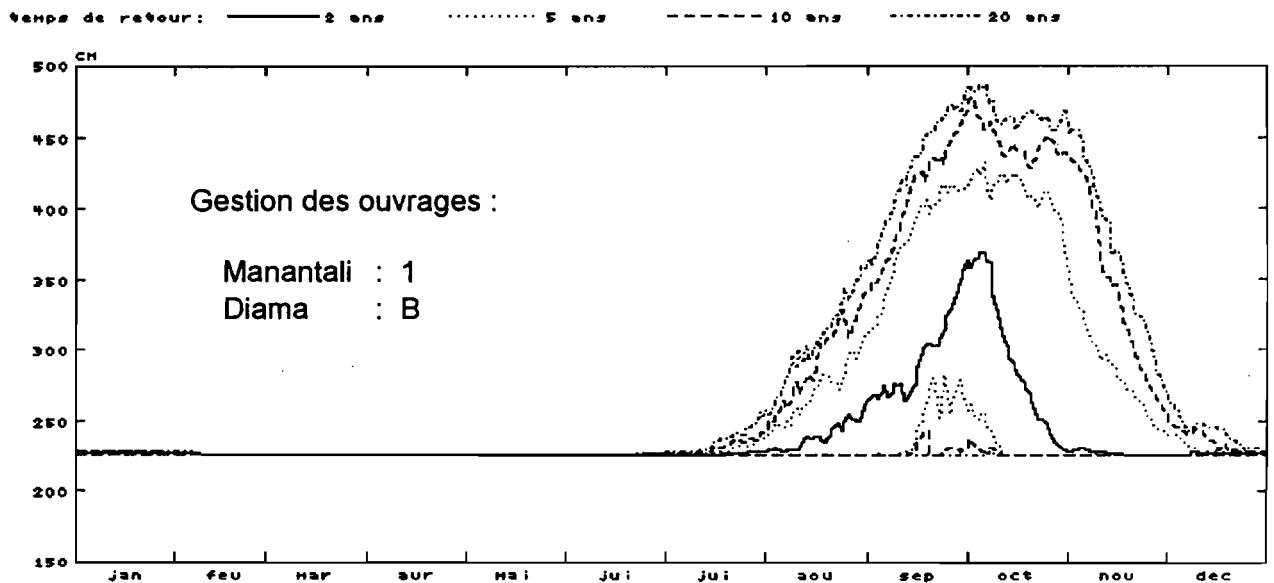
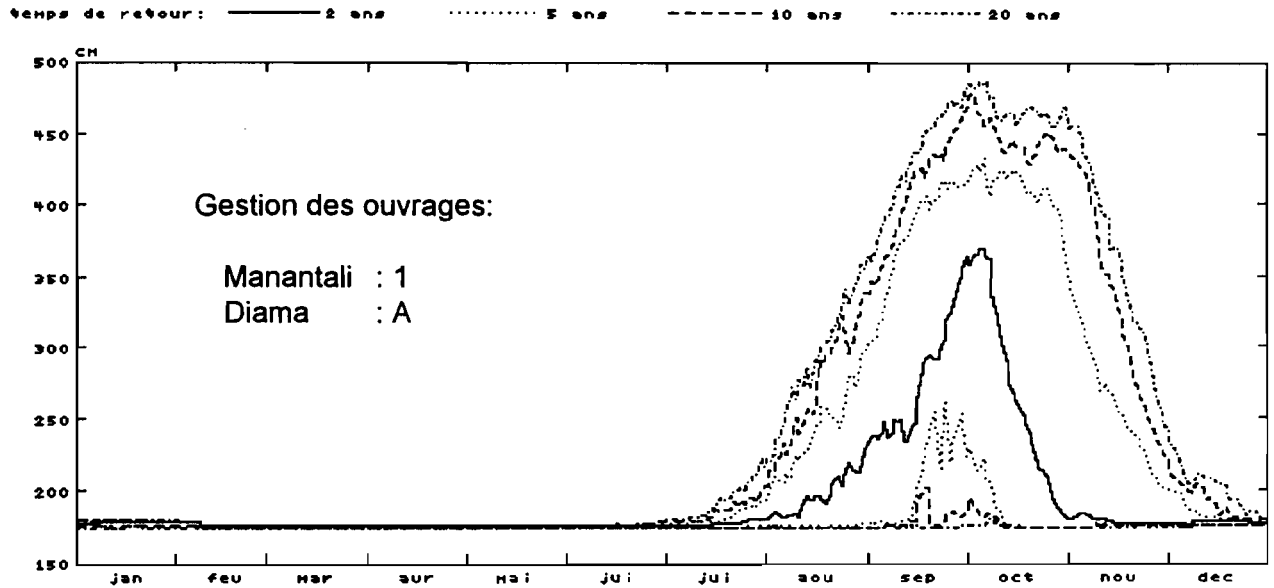
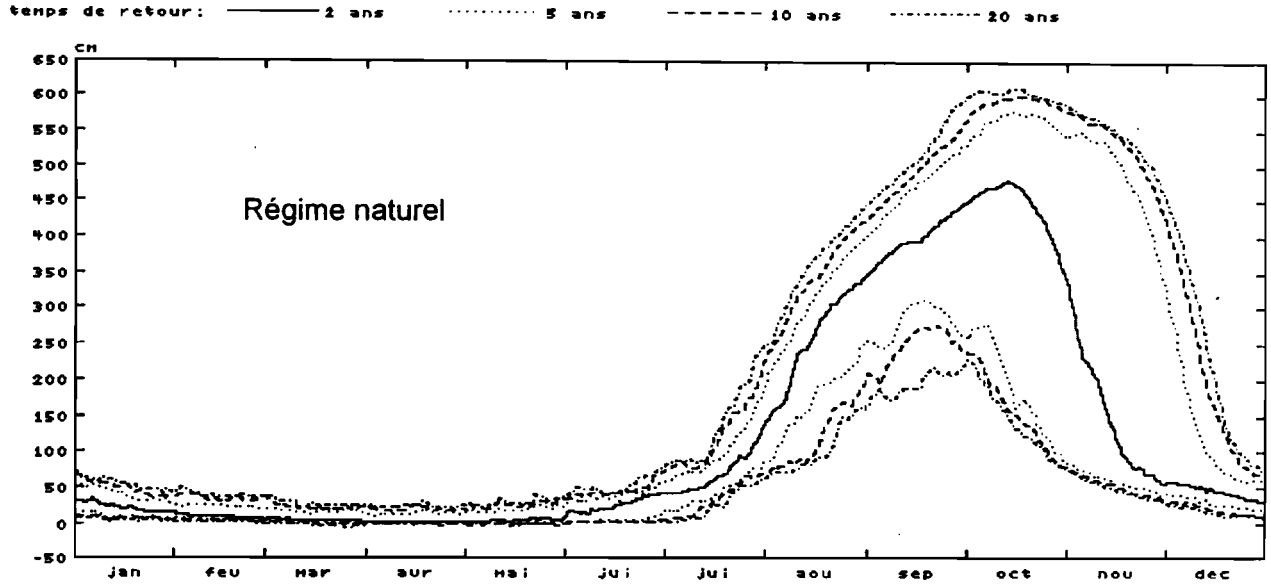


Figure 7 (suite): Cotes moyennes journalières (cm IGN) à PODOR (1950 - 1992)

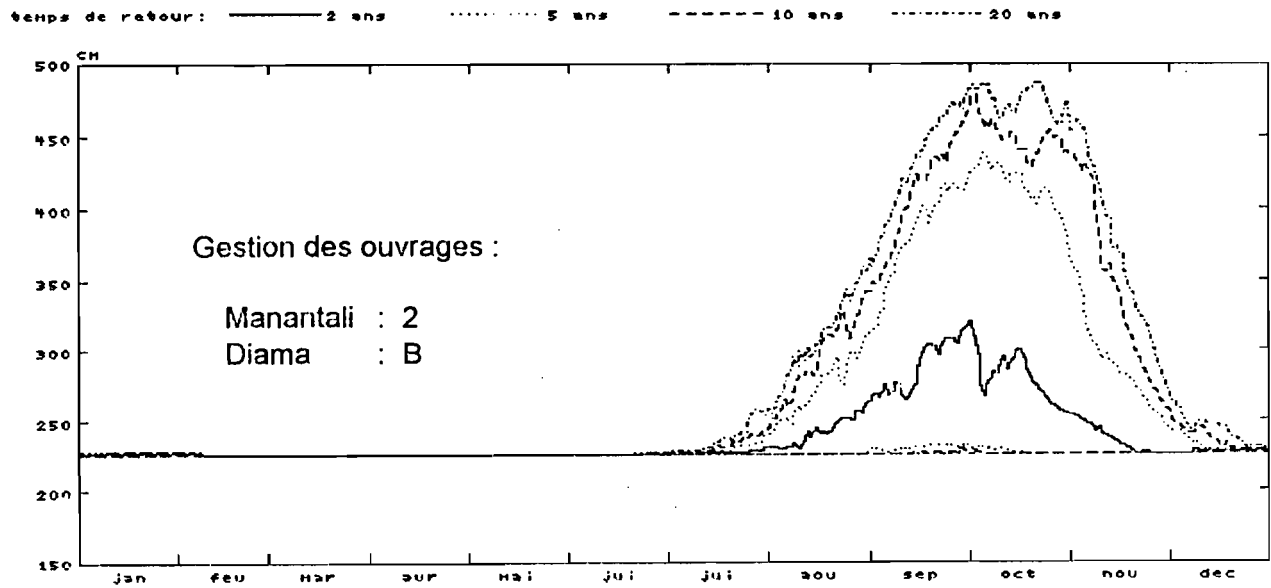
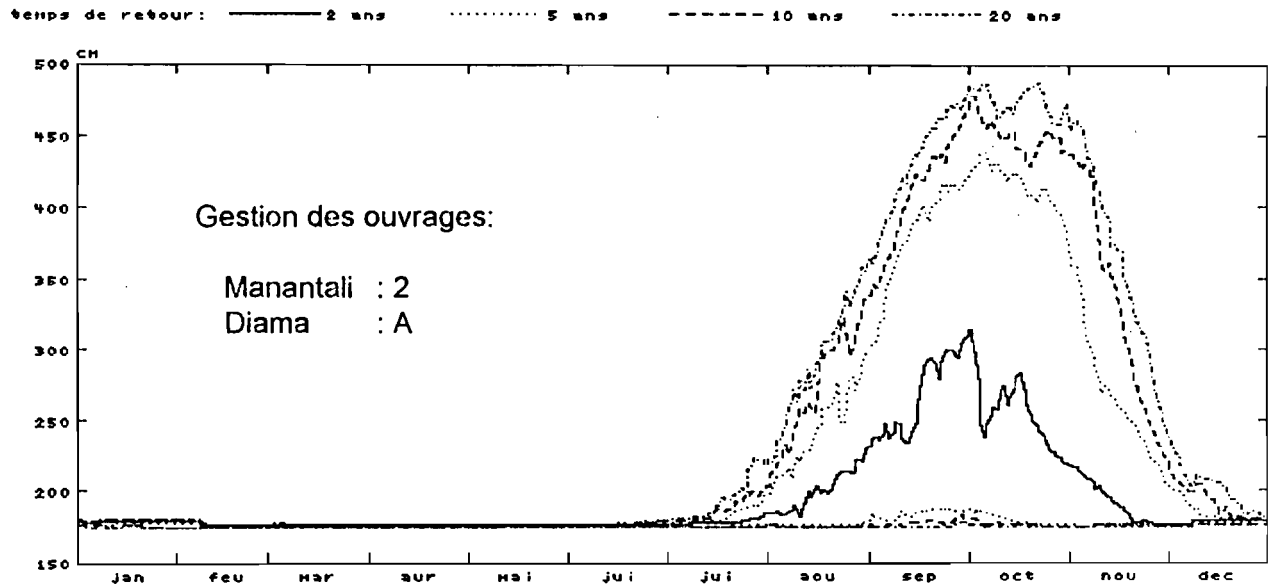


Figure 8: Cotes moyennes journalières (cm IGN) à GUEDE (1950 - 1992)

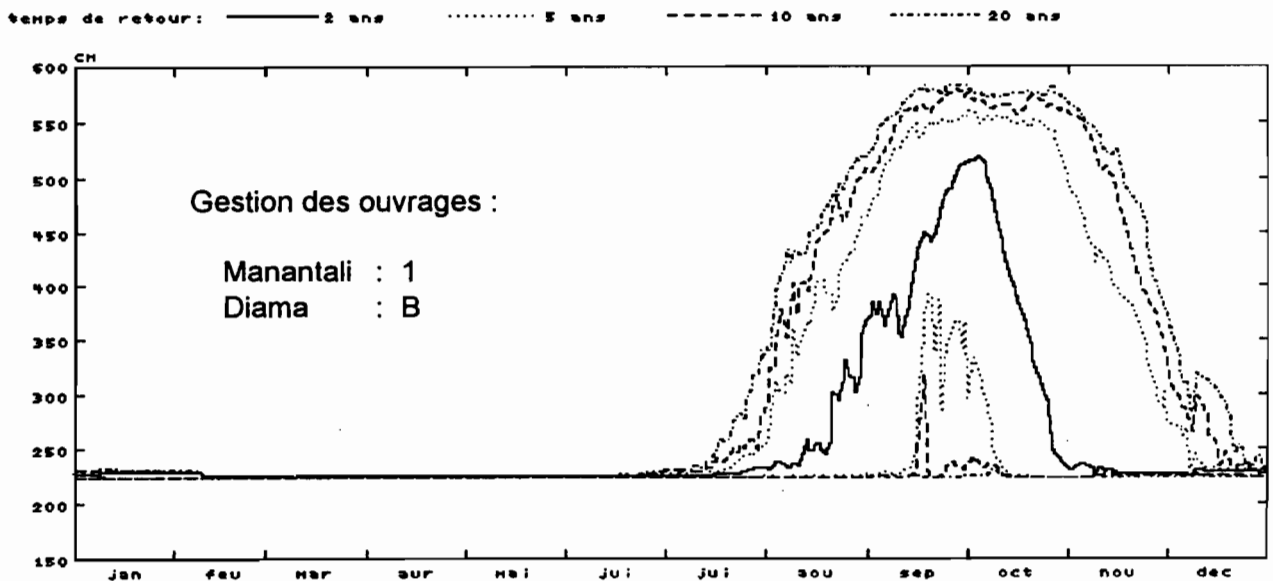
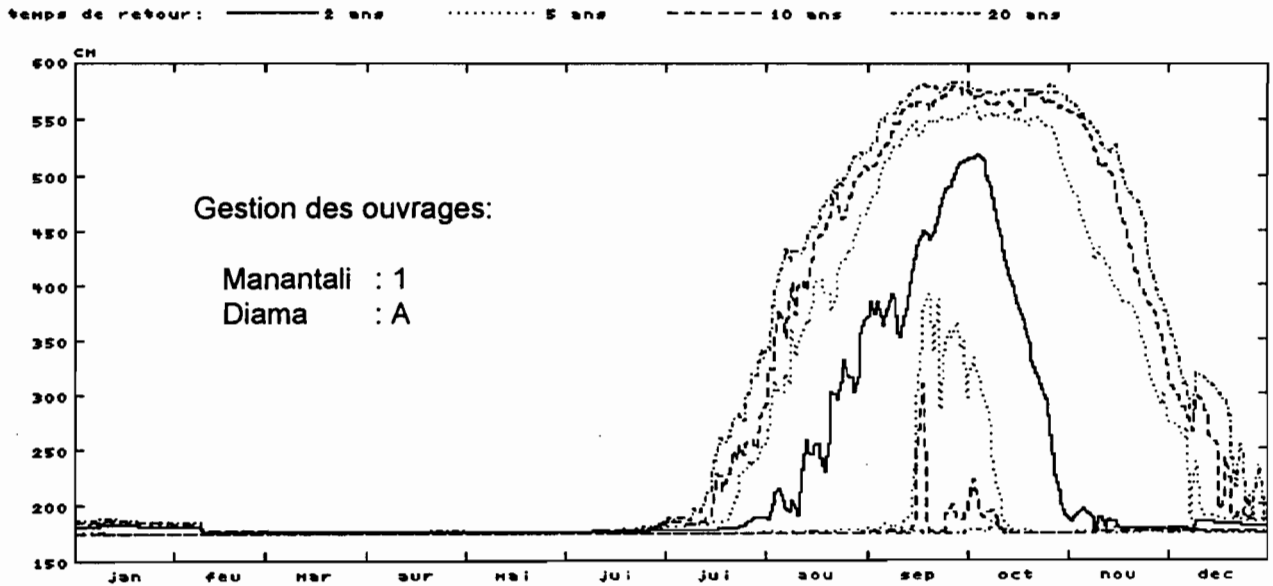
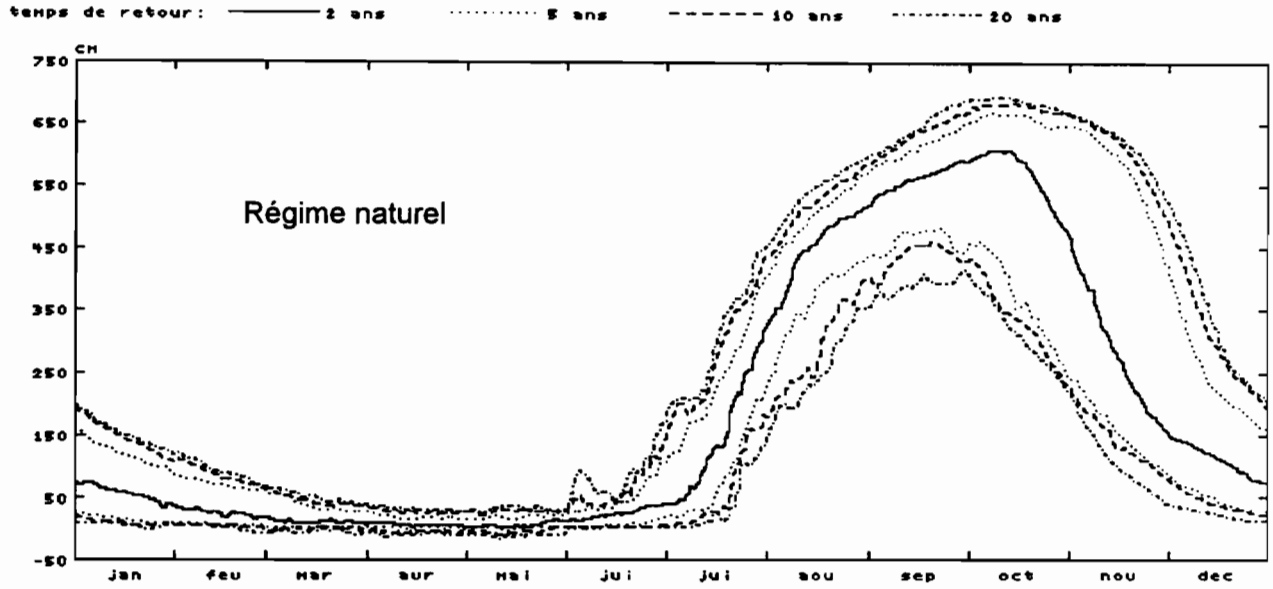
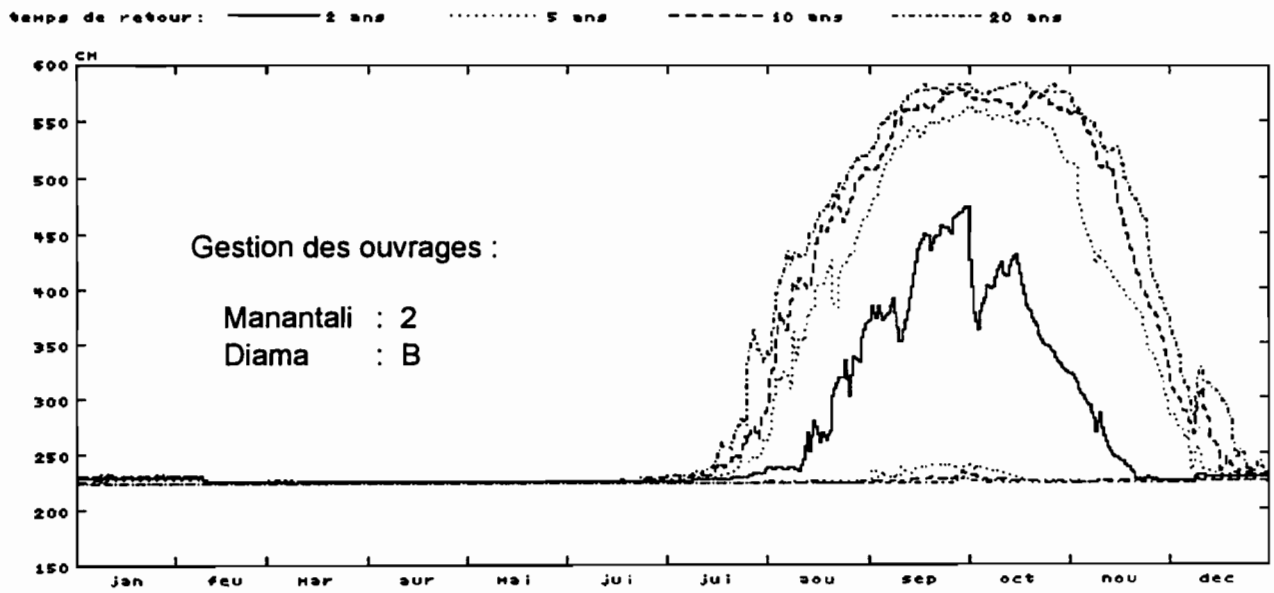
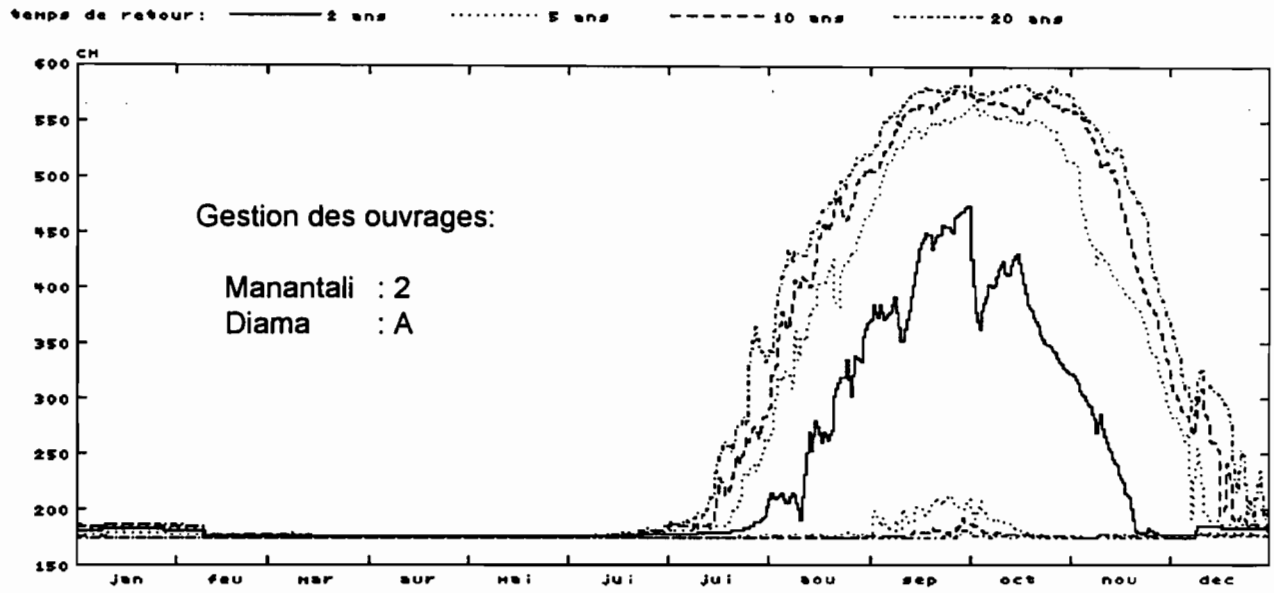


Figure 8 (suite): Cotes moyennes journalières (cm IGN) à GUEDE (1950 - 1992)



6.3 - Statistique des niveaux caractéristiques de crue et d'étiage

Les niveaux caractéristiques de crue (maximum de cote dépassée pendant N jours consécutifs dans l'année, notés CC_N) et d'étiage (minimum de cote non atteinte pendant N jours consécutifs dans l'année) ont également été analysés d'un point de vue statistique pour différentes valeurs de N (10, 30, 60, 90 et 120). Leurs fonctions de répartition, tracées sur diagramme fonctionnel de Gauss avec indication des temps de retour, sont présentées sur les figures 9 à 12.

6.3.1 - Niveaux caractéristiques d'étiage

Comme les figures 5 à 8 pouvaient déjà le laisser prévoir, les figures 9 à 12 montrent que les niveaux caractéristiques d'étiage sont égaux aux quatre stations, à quelques cm près, à la cote imposée dans le lac de Diama pour les différentes hypothèses de gestion envisagées. Le régime naturel donne des valeurs toujours beaucoup plus faibles.

6.3.2 - Niveaux caractéristiques de crue

Les différences notables constatées entre modes de gestion 1 et 2 de Manantali, dont l'importance décroît d'amont en aval, concernent les caractéristiques de crue sur 10 et 30 jours (valeurs plus fortes, dans le cas du soutien de crue avec la gestion 1, des quantiles bas de temps de retour 2 à 10 ans et 3 à 5 ans respectivement), et les caractéristiques de crue sur 60 jours (valeurs plus faibles des médianes, dans le cas du soutien de crue). Ceci traduit le fait que le soutien de crue réalisé à partir de Manantali, favorisant la pointe de crue, peut être suivi d'une relative pénurie d'eau dans le cas des années déficitaires.

Le passage de la cote 175 à la cote 225 dans le lac de Diama entraîne une augmentation systématique des niveaux caractéristiques de crue sur l'ensemble de leur fonction de répartition, pour Rosso et Dagana. Cette constatation vaut également pour Podor, à l'exception des caractéristiques sur 10 jours (quantiles hauts de temps de retour 2 ans et plus), 30 jours (quantiles hauts de temps de retour 3 ans et plus) et 60 jours (quantiles hauts de temps de retour 5 ans et plus), qui ne sont pas modifiés. A Guédé, l'augmentation n'affecte que les quantiles inférieurs au quantile bas de temps de retour 7 ans pour CC10, au quantile bas de temps de retour 3 ans pour CC30, à la médiane pour CC60, au quantile haut de temps de retour 3 ans pour CC90, et au quantile haut de temps de retour 4 ans pour CC120.

A Guédé, la comparaison avec le régime naturel fait apparaître pour les quatre cas de gestion étudiés, une diminution systématique des niveaux caractéristiques de crue sur l'ensemble de leurs fonctions de répartition, hormis CC120 (pour les quantiles inférieurs au quantile bas de temps de retour 3 ans) pour le mode de gestion A de Diama, et CC90 (pour les quantiles inférieurs au quantile bas de temps de retour 20 ans) et CC120 (pour les quantiles inférieurs à la médiane) pour le mode de gestion B de Diama, pour lesquels il y a au contraire augmentation. A l'inverse, cette diminution n'a lieu à Rosso que pour CC10 et CC30 (pour les quantiles supérieurs à la médiane, modes de gestion A et B), CC60 (pour les quantiles supérieurs au quantile haut de temps de retour 2 ans pour le mode de gestion A et 4 ans pour le mode de gestion B) et CC90 (pour les quantiles supérieurs au quantile haut de temps de retour 4 ans pour le mode de gestion A). Les stations de Dagana et Podor présentent des résultats intermédiaires, plus proches de ceux de Rosso pour la première, et de ceux de Guédé pour le deuxième.

La diminution des niveaux caractéristiques de crue, par rapport à ceux du régime naturel, découle directement du laminage des crues pris en compte dans les consignes de gestion envisagées pour Manantali. Elle affecte donc les valeurs relatives aux fortes crues, comme on a pu le constater. L'augmentation des niveaux caractéristiques de crue qui affecte au contraire les faibles crues, est imposée directement par le niveau du lac de Diama, et dans une moindre mesure par le soutien de crue de type "GIBB A" inclus dans le mode de gestion 1 de Manantali. Son importance décroît de l'aval vers l'amont.

Figure 10: Niveaux caractéristiques à la station de DAGANA (1950-1992)

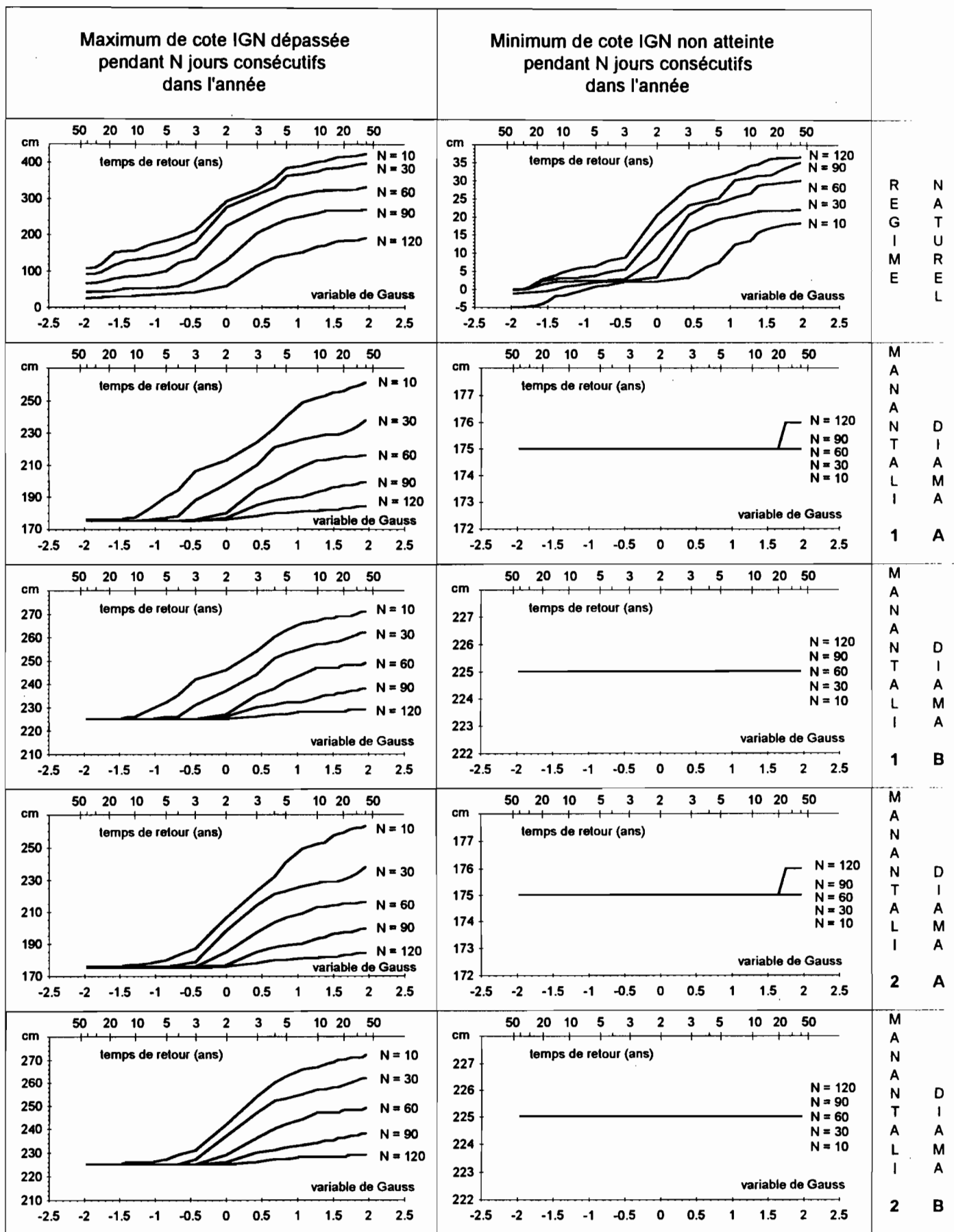


Figure 11: Niveaux caractéristiques à la station de PODOR (1950-1992)

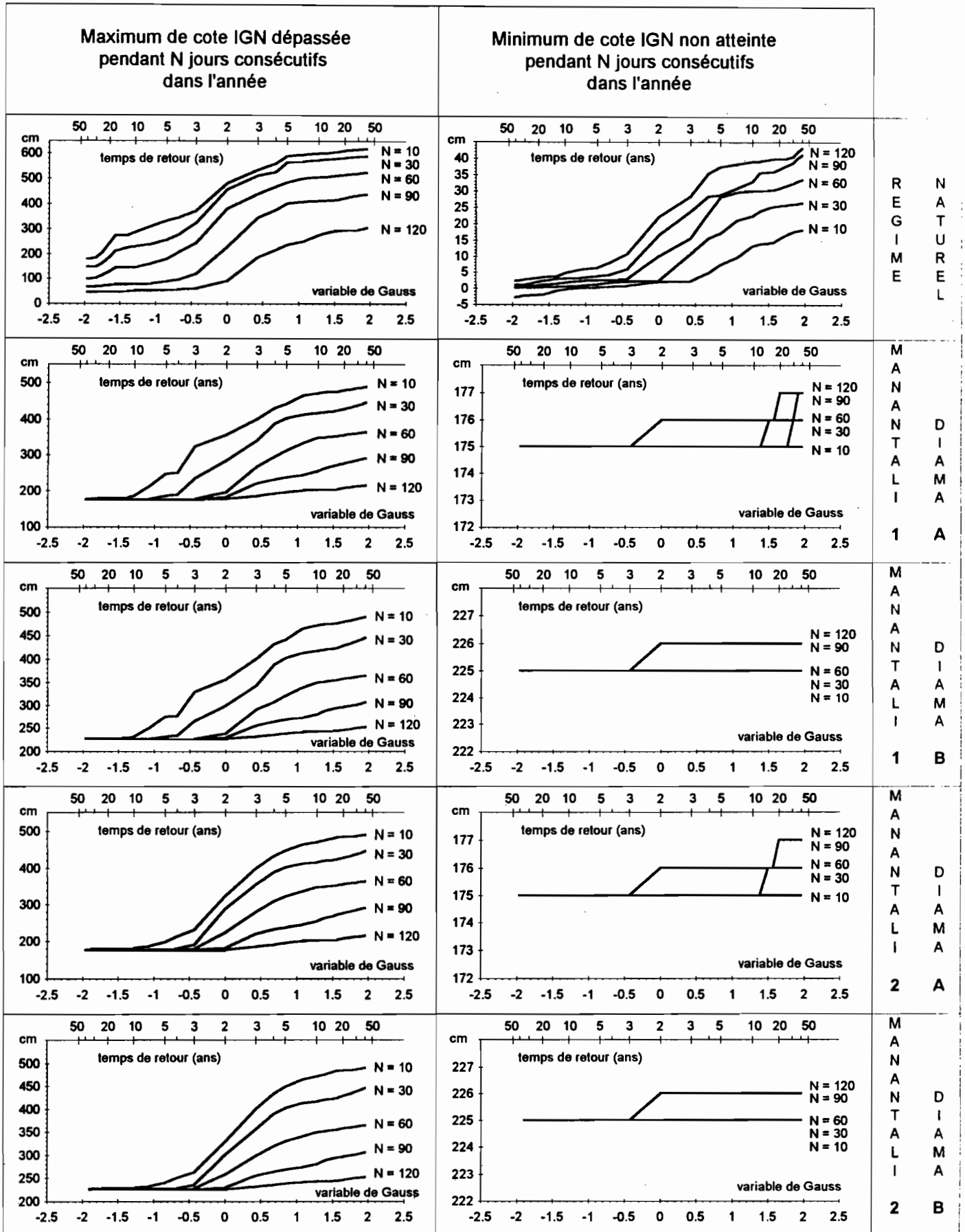
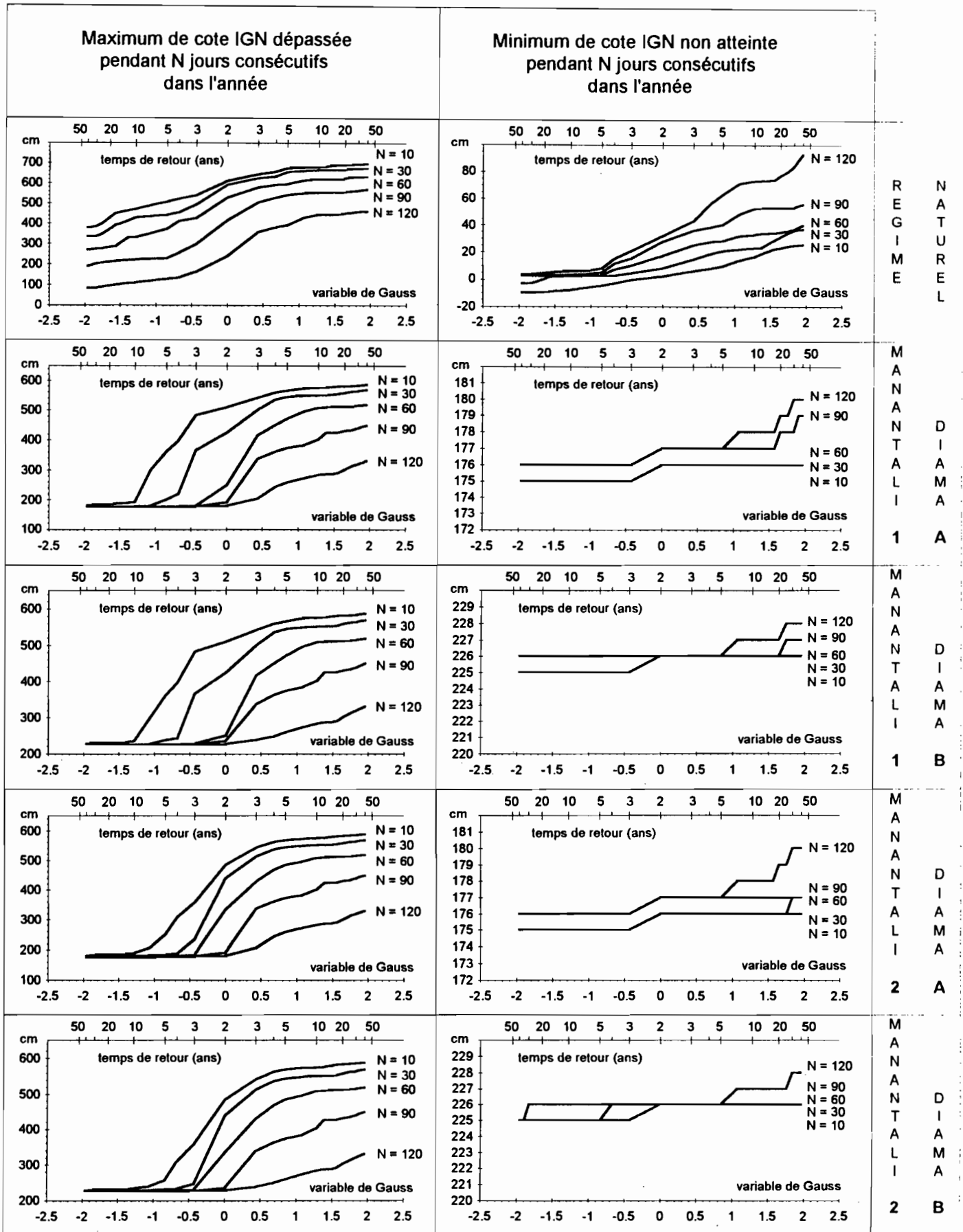


Figure 12: Niveaux caractéristiques à la station de GUEDE (1950-1992)



7 - Données et études nécessaires pour une gestion d'ensemble des eaux du delta

7.1 - Lacunes des études déjà effectuées

Au même titre que la plupart des études de gestion hydraulique effectuées jusqu'à présent, l'étude menée plus haut sur la modification des niveaux à Rosso, Dagana, Podor et Guédé ne concerne que l'axe principal du fleuve Sénégal et son bras secondaire, le Doué. Les résultats qui y sont présentés ne peuvent prétendre à une précision extraordinaire, compte tenu des méthodes de calcul utilisées. Celles-ci s'appuient en effet à la fois sur un calcul d'hydraulique calé sur le régime naturel de propagation de crue, et sur une chronique relativement courte de cotes observées en régime influencé. L'effet perturbateur des différentes singularités locales susceptibles d'intervenir sur les niveaux (comme par exemple les débits dérivés dans le Doué) ne peut donc être pris en compte que d'une façon moyenne, correspondant à ce qui a pu être observé jusqu'à présent. Si ce n'est pas la précision, l'avantage d'une telle méthode de calcul (sur d'autres plus classiques et plus précises) réside par contre dans sa robustesse, lui permettant de s'adapter assez bien à la complexité des écoulements dans la zone qui nous intéresse. Les résultats obtenus pour les quatre stations étudiées peuvent être sans grand risque interpolés de façon linéaire entre Diama et Dagana, le long du chenal principal. L'interpolation entre Dagana et Podor, ainsi qu'entre Dagana et Guédé demanderait peut-être plus de précaution, compte tenu de la confluence Sénégal-Doué.

En réalité, le delta du fleuve Sénégal ne peut être réduit aux seuls chenaux principaux habituellement étudiés, et constitue un système beaucoup plus complexe de cuvettes alimentées par débordement au-dessus des berges du fleuve ou par l'intermédiaire de défluent, et drainées par ces mêmes défluent ou par d'autres marigots. Le fonctionnement hydraulique de ce système est très complexe puisque le sens des écoulements peut s'inverser et que les alimentations se font aussi bien par l'amont que par l'aval.

L'existence de ces défluent est cependant très importante pour les aménagements dans le delta puisqu'ils constituent un réseau naturel d'adduction et desservent des superficies très importantes. Ce réseau naturel n'est malheureusement pas permanent et ne fonctionne réellement que pendant les périodes de crue et sans que l'on puisse contrôler les débits et les niveaux. Il comporte de plus des lacunes, quand le marigot se forme à partir des débordements sans lit apparent ou quand il s'épanouit dans certaines cuvettes et ne se reforme qu'à l'aval avant de rejoindre à nouveau le fleuve.

Il est donc bien certain que ce réseau naturel ne peut être véritablement utilisé que si l'on peut assurer la continuité de l'écoulement aussi bien dans l'espace que dans le temps. De nombreux recalibrages de lits de marigots et la construction d'ouvrages de régulation et de fermeture, et éventuellement de relevage, ont été réalisés ou sont en cours de l'être.

Malheureusement, l'aménagement de ces défluent a été jusqu'à présent réalisé sans une gestion hydraulique d'ensemble. Le suivi des défluent et de leur gestion a été très négligé et l'on ignore très généralement les caractéristiques hydrologiques des chenaux et les mécanismes hydrauliques de leur fonctionnement. Il y a même de nombreuses incertitudes sur le tracé des cours d'eau et des cuvettes dans certaines zones et les cartes sont à ce point de vue contradictoires. Il serait indispensable tant pour la gestion de l'ensemble du système hydraulique du delta que pour l'aménagement des cuvettes alimentées par les défluent, de disposer des caractéristiques topographiques et hydrauliques de tous les défluent.

Il faut toutefois noter que certains défluent ont fait l'objet d'études à l'occasion de travaux d'aménagement. Mais il serait utile de faire un point des données disponibles et de procéder à leur mise à jour, compte tenu des possibilités offertes par la gestion des barrages de Diama et Manantali.

7.2 - Gestion hydraulique des défluent du delta

La gestion hydraulique des défluent du delta a fait l'objet de plusieurs études :

- soit des études de plans directeurs (plans directeurs hydrauliques rive gauche et rive droite du delta),
- soit des études de factibilité (Aftout-es-Sahel - Canal du Cayor),
- soit des études localisées d'alimentation (périmètres du Lampsar - alimentation de St-Louis - Alimentation du R'Kiz).

Mais en pratique cette gestion reste très empirique du fait que tous les travaux de recalibrage ou de construction des ouvrages de régularisation n'ont pas été réalisés et qu'il est nécessaire d'adapter le système en fonction des contraintes observées. Cette situation est encore aggravée par l'absence d'une structure bien organisée de gestion, l'absence d'une réglementation de l'utilisation de l'eau et l'implantation de nouveaux périmètres.

Les gestions pratiquées prennent en compte la demande en eau avec une priorité à l'alimentation des villes (lac de Guiers pour Dakar) et des périmètres irrigués, mais rarement les impacts sur l'environnement. Les contraintes écologiques de zones classées pourtant comme parcs nationaux (Djoudj au Sénégal, Diawling en Mauritanie) n'ont jamais été traduites en demandes hydrauliques à satisfaire.

Toutefois avant de faire des propositions d'amélioration de la gestion hydraulique des défluent du delta il est nécessaire de faire un point précis de la situation et de mettre en place dans un premier temps un système de suivi de la gestion.

On distinguera 2 groupes de défluent :

- les marigots du delta
- les alimentations du lac R'Kiz et du lac de Guiers

7.2.1 - Les marigots du delta

Les principaux marigots du delta sont :

- en rive gauche : l'ensemble Gorom Lampsar incluant le Kassack, le Djoudj et le N'Galam;
- rive droite : le Gouère; l'ensemble Dioup, Diallo, NDiader, Aftout Sahel; l'ensemble Diaouling, Bell, N'Gallax

Ces défluent ont fait l'objet de propositions d'aménagement: plan directeur hydraulique du delta rive gauche (GERSAR CACG et al.) et rive droite (GERSAR - SCP) et projets d'aménagement ou de réhabilitation des périmètres de Boundoum - Kassack Nord et Sud - N'Thiagar (BDPA SCET AGREER GERSAR) - Aftout es Sahel (Sogréah) - Grande digue - Tellel - Lampsar. Des données récentes ont pu être obtenues (mesures de débit sur le Gorom amont - relevés d'échelles aux ouvrages de réalimentation en rive droite) mais elles restent incomplètes et surtout elles sont recueillies de façon assez anarchique. La mise en place d'un système cohérent d'observation et de contrôle du fonctionnement des défluent devrait être une priorité : pour cela une étude préalable devrait comprendre :

-- un examen critique des études et propositions d'aménagement et de gestion hydraulique, prenant en compte notamment les contraintes environnementales et leur traduction en demande hydraulique;

-- une vérification sur le terrain des conditions réelles de fonctionnement des aménagements et des dérives constatées par rapport au fonctionnement prévu;

-- des propositions éventuelles de mesures à prendre pour corriger les dysfonctionnements les plus graves;

-- la mise en place d'un réseau d'observation hydrologique et de contrôle de l'exploitation, l'organisation et le financement du recueil, de la critique, du stockage et de l'exploitation des données.

7.2.2 - L'alimentation du Lac R'Kiz et du Lac de Guiers

Le lac R'Kiz est alimenté par un ensemble de marigots dont les deux principaux sont le SOKAM et le LAOUVAJA. Ces marigots ont fait l'objet d'aménagements dans le cadre du projet du R'Kiz. Ils doivent être équipés d'échelles limnimétriques.

Le lac de Guiers est alimenté par un chenal artificiel (nouvelle Taouey) qui a remplacé l'ancien marigot. Des mesures récentes effectuées dans le cadre du projet de Cayor ont permis de mettre en évidence la forte débitance de ce chenal qui devrait permettre d'alimenter non seulement le canal mais le Bas Ferlo, ainsi que la cuvette du N'Diaël. Un modèle hydrologique a été établi et a permis de tester certaines hypothèses de gestion (étude BCEOM).

La gestion des ouvrages existants sur ces marigots est assurée respectivement par le projet R'Kiz et par la CSS. Une évaluation de la gestion effectuée par ces deux organismes devrait être réalisée en examinant plus particulièrement les problèmes concernant l'insuffisance de certaines données (prélèvements pour le Ferlo - le N'Diaël - la culture de décrue), l'amélioration de la qualité des données existantes (courbes de tarage - fréquence des mesures) et leur diffusion à tous les intéressés.

Il est bien évident que cette gestion des marigots et des alimentations des lacs influe sur la gestion de Diama et il conviendrait dans un deuxième temps d'étudier la compatibilité des règles de gestion du barrage avec les contraintes de gestion des marigots et alimentations. Il serait en particulier nécessaire d'examiner si il est justifié, pour permettre la vidange de certaines cuvettes et l'évacuation des eaux de drainage des rizières, de prévoir des abaissements de la cote de Diama à certaines périodes.

Il conviendrait aussi d'établir la possibilité de développer le modèle COREDIAM, en premier lieu en y incluant le fonctionnement des principaux défluent et la gestion du lac de Diama. En particulier il sera possible de prévoir une interface entre ce modèle et le modèle de gestion du Lac de Guiers.

Références bibliographiques

ALBERGEL (J.), BADER (J.C.), LAMAGAT (J.P.), SEGUIS (L.), 1993 - Crues et sécheresses sur un grand fleuve tropical de l'Ouest Africain: application à la gestion de la crue du fleuve Sénégal. *Science et Changements Planétaires - Sécheresse*; n° 3, vol. 4: 143-152

BADER (J.C.), 1990 - *Homogénéisation et complétement de la banque de données hydrométriques du bassin du Sénégal en amont de Bakel*. Dakar, OMVS / ORSTOM, 17 p + an.

BADER (J.C.), 1991 - SIMULSEN. Logiciel de simulation de gestion de la retenue de Manantali au pas de temps journalier. Notice d'utilisation. Dakar, OMVS / ORSTOM, 19 p, + an.

BADER (J.C.), 1992 (a) - Consignes de gestion du barrage de Manantali. Détermination des cotes à respecter dans la retenue. *Hydrologie Continentale*; Vol 7 : pp 3-15

BADER (J.C.), 1992 (b) - Courbe de remous du barrage de Diama sur le Sénégal. Modèle de prévision des cotes aux stations influencées par la retenue. *Hydrologie Continentale*; Vol 7 : pp 83-98

GIBB (A.) *et al*, 1987 - *Etude de la gestion des ouvrages communs de l'OMVS*. Rapport définitif, Electricité de France, Euroconsult; 4 tomes

HOROWITZ (M.M.), SALEM-MURDOCK (M.) *et al*, 1990 - *Suivi des activités du bassin du fleuve Sénégal*. Rapport final intégré. New-York: IDA

LAMAGAT (J.P.), 1989 (a) - *Modèle de propagation des crues du fleuve Sénégal*. Dakar, OMVS / ORSTOM, 46p

LAMAGAT (J.P.), 1989 (b) - *Prévision des débits de gestion des ouvrages communs de l'OMVS. Modèle de transformation de hauteurs en débits*. Dakar, OMVS / ORSTOM, 91 p + an.

ORSTOM & OMVS, 1990 - Banque de données hydrologiques du fleuve Sénégal, Dakar, 50 p

ROCHETTE (C.), 1974 - *Le bassin du fleuve Sénégal*. Paris, Monographies hydrologiques Orstom n°1, 325p.

SILBER (R.), 1968 - *Etude et tracé des écoulements permanents en canaux et rivières*. Dunod, Paris.