

Étude du Schéma Hydraulique du fleuve Gambie

Chapitre concernant les scénarios de gestion du barrage de Sambangalou

**Jean-Claude Bader
Philippe Vauchel
Jean-Pierre Lamagat**

ORSTOM, Montpellier, 1998

22 Scénario de gestion des eaux

221 Hypothèses et principe des simulations

2211 Période de référence

Le problème posé consiste à évaluer les bénéfices et divers impacts qui peuvent être attendus du futur barrage de Sambangalou. Ces bénéfices et impacts dépendront à la fois du type de gestion qui sera réalisée au niveau de l'ouvrage, ainsi que du régime des apports naturels en eau qui prévaudra à l'avenir sur le bassin du fleuve Gambie.

A l'heure actuelle, aucune méthode ne permet de prévoir de façon déterministe, même à un pas de temps très large, quelle sera l'évolution de l'hydraulicité du fleuve dans les années à venir. De ce fait, on est contraint de faire l'hypothèse que le régime hydrologique du fleuve observé dans le passé est représentatif du régime futur. Cette hypothèse est pour le moment la plus raisonnable qu'on puisse envisager.

Hormis la station de Gouloumbo sur la Gambie, observée depuis 1953, les autres stations de mesures existant sur le haut bassin du fleuve ne sont observées, au mieux, que depuis le début des années 70. Il en résulte que la période de référence utilisée pour les simulations s'étend de 1971 à 1996. Comparée aux années antérieures, cette période montre une hydraulicité nettement déficitaire sur les fleuves de la région. On gardera donc à l'esprit que les simulations réalisées ici sont pessimistes par rapport à celles qui auraient pu être réalisées, si l'on avait disposé des données suffisantes, sur la période 1950-1996 par exemple.

2212 Outils de simulation utilisés

Deux logiciels ont été utilisés pour simuler et évaluer différents scénarios de gestion du futur barrage de Sambangalou. Le premier permet de calculer les débits obtenus à Gouloumbo, qui sont ensuite utilisés par le second pour calculer les déplacements du coin salé sur le cours aval de la Gambie.

22121 Logiciel SIMULGAM

221211 But du logiciel et paramètres gérés

Ce logiciel est dérivé du logiciel SIMULSEN utilisé pour simuler la gestion du barrage de Manantali, implanté sur le haut bassin du Sénégal. Fonctionnant au pas de temps journalier, il permet de calculer en fonction de la gestion adoptée, les débits résultants aux stations situées à l'aval de la retenue (jusqu'à Gouloumbo), la production d'électricité et l'évolution du niveau dans le lac de barrage.

Les paramètres gérés par le logiciel concernent les domaines suivants :

- Caractéristiques du barrage et de la retenue
- Configuration du réseau de stations hydrométriques supposées suivies en temps réel
- Modèle hydrologique de propagation de débits, par biefs successifs
- Scénarios de demande de débit objectif à satisfaire à une station située à l'aval du barrage (ici : Gouloumbo)
- Scénarios de demande de production électrique

221212 Consignes de gestion

Chaque scénario simulé est défini par une liste de consignes de gestion assorties de rangs de priorité, concernant la production électrique, l'obtention d'un débit supérieur ou égal à un hydrogramme objectif défini à l'aval du système (Gouloumbo), et le laminage des crues.

A chaque pas de temps, chacune des consignes de gestion 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 (vidangé + déversé + turbiné). Pour la plupart, ces limites correspondent à l'un des deux types de valeurs suivantes :

- débit lâché (notées Q_{min_a} ou Q_{max_a}) permettant de satisfaire directement la demande associée. Par exemple, c'est le débit lâché dont la propagation, associée à celle des apports intermédiaires arrivant à l'aval du barrage, produit quelques jours plus tard à Gouloumbo une valeur de débit à atteindre (hydrogramme objectif) ou au contraire à ne pas dépasser (laminage).
- débit lâché (noté Q_{min_b} ou Q_{max_b}) permettant d'amener la cote du lac au niveau de revanche ou de stock nécessaire pour garantir la possibilité de satisfaire la demande associée avec un certain niveau de risque d'échec dans le futur. Par exemple, c'est le débit lâché maximal à ne pas dépasser, pour ne pas faire descendre le stock dans le lac en dessous d'une valeur qui entraînerait un risque trop élevé de pénurie pour la satisfaction future des besoins en eau. Autre exemple, c'est le débit lâché minimal à dépasser pour permettre de conserver une revanche suffisante dans le lac, en dessous de laquelle on court un risque trop élevé de ne pas pouvoir laminier une crue à venir au débit souhaité.

221213 Principe du calcul du débit lâché du barrage et de la puissance électrique produite

A chaque pas de temps, compte-tenu de la cote dans le lac, une première fourchette de valeurs limites possibles pour le débit total lâché est d'abord déterminée à partir des contraintes de gestion, qui résultent des dimensions des différents organes d'évacuation et de la cote limite maximale de sécurité à ne pas dépasser dans la retenue. Cette fourchette est ensuite resserrée par la prise en compte successive des différentes consignes de gestion, par ordre de priorité décroissante. Le processus s'arrête lorsque toutes les consignes ont été prises en compte, ou lorsque l'une d'entre elles est incompatible avec la fourchette résultant des contraintes et des consignes précédentes. Dans ce dernier cas la fourchette est réduite à celle de ses deux bornes qui se rapproche le plus du débit lâché exigé par la consigne non satisfaite.

Dans tous les cas, le débit total lâché est pris égal à la borne inférieure de la fourchette déterminée suivant le principe décrit ci-dessus. La puissance électrique produite est alors calculée suivant l'hypothèse que la part maximale turbinable du débit total lâché est toujours turbinée. Ceci suppose qu'il est possible de produire à certains moments, une puissance supérieure à la valeur demandée. On se place donc dans le cas où toute puissance électrique produite au barrage pourra être consommée, du fait que la demande est toujours considérée supérieure à la capacité de production de l'ouvrage.

221214 Données en entrée et valeurs produites en sortie du calcul

Chaque simulation utilise les données suivantes en entrée du calcul :

- Cote initiale dans le lac
- Chronique journalière de débit évaluée au droit du barrage, en l'absence d'ouvrage (apports dans la retenue)
- Chroniques journalières éventuelles de débits non influencés par l'ouvrage, mais tributaires du débit passant à la station située à l'aval du système, pour laquelle on définit un hydrogramme objectif (Gouloumbo)
- Chroniques journalières éventuelles de débit à des stations situées à l'amont de l'ouvrage

Le calcul produit les chroniques journalières de valeurs suivantes :

- Débit à la sortie du barrage
- Débit à la station située à l'aval du système (Gouloumbo)
- Débit éventuel à des stations situées à la fois à l'aval de l'ouvrage et à l'amont de Gouloumbo
- Puissance électrique produite
- Cote du lac de retenue
- Déficit de puissance produite par rapport à la demande
- Déficit de débit obtenu à Gouloumbo par rapport à l'hydrogramme objectif

221215 Calcul des cotes limites à respecter dans le lac

Une procédure particulière du logiciel permet d'élaborer les limnigrammes annuels de cotes à respecter dans le lac, correspondant à certains niveaux de risque d'échec pour la satisfaction des différents objectifs. Ces limnigrammes peuvent être utilisés ensuite comme consigne de gestion, pour le calcul des limites Q_{min_b} ou Q_{max_b} définies plus haut.

221216 Evaluation des résultats

Le logiciel SIMULGAM comporte un certain nombre de procédures permettant d'évaluer les résultats de chaque simulation. Une passerelle de changement de format de fichier permet en outre d'examiner ces résultats avec d'autres logiciels (Excel par exemple). Les procédures actuellement intégrées à SIMULGAM permettent de faire les opérations suivantes :

- Traitement statistique des résultats: élaboration de fichiers annuels de valeurs journalières iso-fréquence ; fonctions de répartition de valeurs caractéristiques sur n jours (dépassées ou non atteintes n jours dans l'année) ; fonctions de répartition de moyennes annuelles
- Visualisation graphique ou sous forme de tableaux de chiffres, pour les chroniques de valeurs utilisées en entrée de calcul ou élaborées par la simulation, et pour les séries d'extremums annuels ou de valeurs journalières iso-fréquence de valeurs élaborées par simulation.
- Evaluation du taux de déficit pour la satisfaction des objectifs (besoins en eau exprimés à Gouloumbo et puissance électrique demandée)

22122 Logiciel SALNSTAT

Ce logiciel dont l'auteur est Monsieur Savenige est utilisé pour modéliser les déplacements du front salé dans la partie estuarienne du fleuve.

222 Réalisation des simulations

2221 Homogénéisation et complètement des chroniques de débit des stations situées au Sénégal

Compte-tenu de la situation géographique du futur ouvrage de Sambangalou, seules les données hydrométriques des stations sénégalaises du bassin de la Gambie ont été utilisées pour les simulations effectuées avec SIMULGAM. La liste des stations prises en compte est donnée dans l'annexe 22A, avec les noms abrégés utilisés dans la suite de ce chapitre.

22211 Elimination des données douteuses ou manifestement fausses

Une vérification systématique a été effectuée sur les fichiers de valeurs brutes de débit journalier de l'ensemble des stations, essentiellement par visualisation graphique d'hydrogrammes superposés. Ce travail a entraîné la suppression d'un certain nombre de données manifestement fausses ou très douteuses, dont la liste est donnée en annexe 22B.

Aucun décalage flagrant de zéro d'échelle n'a été détecté sur les données, qui n'ont donc fait l'objet d'aucune correction.

22212 Etablissement de corrélations simples ou doubles entre stations

Un grand nombre de corrélations linéaires d'assez bonne qualité ont pu être mises en évidence entre stations, à partir des fichiers de débits journaliers vérifiés. Ces corrélations ont dans tous les cas été établies à partir de la totalité des valeurs disponibles, soit sur l'ensemble des débits, soit par tronçons de débit lorsque les relations le nécessitaient. Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe 22C. Dans ce tableau, les noms de stations sont indiqués en abrégé, conformément à la liste donnée

en annexe 22A. On remarquera qu'un certain nombre de régressions linéaires ont été établies à partir de stations fictives, dont les débits sont la somme des débits de stations réelles.

Les décalages de temps (temps de propagation) retenus pour les régressions entre les différentes stations sont ceux qui ont donné les meilleurs coefficients de corrélation. Il n'est pas apparu de variation flagrante de ces temps en fonction du débit. Aussi ont-ils été pris constants dans tous les cas.

22213 Reconstitution de données manquantes.

Le logiciel SIMULSEN nécessite en entrée des fichiers de débit sans aucune lacune sur la période à simuler. Les données manquantes ont donc été reconstituées de façon systématique sur l'ensemble des stations sénégalaises du bassin de la Gambie. Ce travail a permis de disposer de chroniques complètes de 1971 à 1996, à la fois pour les apports dans la retenue et pour les apports de l'aval qui contribuent au débit passant à Gouloumbo. Ceci constitue la banque de données opérationnelle utilisée ensuite pour les simulations.

La grande majorité des reconstitutions a été faite par régression linéaire à partir des débits de stations voisines, en utilisant les relations mentionnées plus haut. Dans certains cas, elles résultent d'un calcul de tarissement par décroissance exponentielle. Enfin, faute de pouvoir appliquer ces deux méthodes, il a fallu procéder dans quelques rares cas par interpolation linéaire. Les opérations effectuées pour compléter les données des stations existantes sont inventoriées, dans l'ordre chronologique, en annexe 22D.

Pour Sambangalou, où l'on ne dispose d'aucune donnée hydrométrique observée, les débits moyens journaliers ont été estimés à partir de ceux de Kédougou, en utilisant la relation établie précédemment au pas de temps mensuel entre ces deux stations. Vu la proximité de Kédougou et Sambangalou, aucun décalage de temps n'a été introduit :

$$Q_{\text{sambangalou}}(j) = 0,953 Q_{\text{kédougou}}(j)$$

Parmi les stations traitées, celle de Gouloumbo présente un cas particulier puisque la cote de la Gambie y est influencée par l'onde de marée lors des basses eaux. Il en résulte que les valeurs de débit n'y sont vraiment fiables qu'au dessus de 200 m³/s.

2222 Modélisation de la propagation des débits entre Sambangalou et Gouloumbo

22221 Schéma général, déduit des corrélations inter-stations

Les relations établies entre les différentes stations (annexe 22C) nous montrent que la propagation des débits entre Sambangalou et Gouloumbo peut être schématisée de la façon suivante au pas de temps journalier, en adoptant comme notation de débit le nom abrégé des stations :

$$\begin{aligned} \text{Mako}(j+1) &= f(\text{Samban}(j); \text{Diagu}(j+1)) \\ &= \text{Samban}(j) + \text{Diagu}(j+1) + \text{InterA}(j) \\ &= \text{Sambdia}(j) + \text{InterA}(j) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wasav}(j+4) &= f(\text{Mako}(j+1); \text{Tioko}(j+2); \text{Diarh}(j+2); \text{Nioko}(j+2)) \\ &= \text{Mako}(j+1) + \text{Tioko}(j+2) + \text{Diarh}(j+2) + \text{Nioko}(j+2) + \text{InterB}(j+1) \\ &= \text{Matidin}(j+1) + \text{InterB}(j+1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Goulo}(j+6) &= f(\text{Wasav}(j+4); \text{Parcg}(j+4)) \\ &= \text{Wasav}(j+4) + \text{Parcg}(j+4) + \text{InterC}(j+4) \\ &= \text{Wasparc}(j+4) + \text{InterC}(j+4) \end{aligned}$$

On constate que suivant ce schéma, un temps de propagation de 6 jours sépare les stations de Sambangalou et Gouloumbo.

22222 Evaluation des apports intermédiaires non contrôlés entre Sambangalou et Gouloumbo

Les débits InterA, InterB et InterC représentent les apports intermédiaires entre Sambangalou et Gouloumbo, autres que ceux qui sont contrôlés aux stations Diagu, Tioko, Diarh, Nioko et Parcg. Leur évaluation a posteriori peut être faite très simplement en inversant les relations ci-dessus (valables tant en régime naturel qu'artificiel), comme indiqué en annexe 22A. Cependant, la gestion opérationnelle du barrage de Sambangalou nécessite par définition de connaître les débits InterA, InterB et InterC avant ceux de Mako, Wasav et Goulo. En effet, ces derniers vont dépendre du débit lâché du barrage, lui-même calculé en tenant compte d'une évaluation des apports intermédiaires InterA, InterB et InterC.

Il est donc nécessaire de procéder de la façon suivante pour évaluer les débits intermédiaires non contrôlés InterA, InterB et InterC :

- On fait tout d'abord l'hypothèse que les relations qui pourraient exister entre ces débits et les débits naturels des stations voisines, resteront valables en régime artificiel, à condition de toujours considérer les écoulements naturels. De telles relations, quand elles existent, montrent en effet que les écoulements naturels aux différentes stations résultent de causes atmosphériques assez voisines (déplacement de fronts pluvieux). Cet état de fait n'a pas lieu d'être modifié par l'artificialisation du régime.
- On établit ensuite les relations suivantes à partir de la banque de données opérationnelle, sous forme de régressions linéaires (rangs Aa, B et C dans l'annexe 22C) :

$$\begin{aligned} \text{Mako (j)} &= \text{Aa (Samban (j-1) + Diagu (j))} \\ &= \text{Aa (Sambdia (j-1))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wasav (j)} &= \text{B (Mako (j-3) + Tioko (j-2) + Diarh (j-2) + Nioko (j-2))} \\ &= \text{B (Matidin (j-3))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Goulo (j)} &= \text{C (Wasav (j-2) + Parcg (j-2))} \\ &= \text{C (Wasparc (j-2))} \end{aligned}$$

- On déduit enfin des relations précédentes, celles qui permettent de relier InterA, InterB et InterC aux débits naturels des stations voisines :

$$\text{InterA (j)} = \text{Aa (Sambdia (j)) - Sambdia (j)}$$

$$\text{InterB (j)} = \text{B (Matidin (j)) - Matidin (j)}$$

$$\text{InterC (j)} = \text{C (Wasparc (j)) - Wasparc (j)}$$

On constate en pratique que la somme des débits de Wasav et Parcg est très proche du débit de Gouloumbo 2 jours plus tard, sauf en en étiage où la première tend à s'annuler, alors que le second reste positif, fluctuant aux alentours de 10 ou 20 m³/s . Cette différence observée en étiage est principalement due à l'influence de la marée sur les cotes de Gouloumbo, qui fait que les débits calculés à partir de l'étalonnage de cette station ne sont pas fiables en dessous de 200 m³/s . Ces constatations nous amènent à annuler systématiquement, en première approximation, les débits intermédiaires non contrôlés InterC.

$$\text{InterC (j)} = 0$$

Ceci revient à considérer que les débits de Gouloumbo peuvent être estimés, en première approximation, par :

$$\text{Goulo (j+6)} = \text{Wasav (j+4)} + \text{Parcg (j+4)}$$

22223 Configuration adoptée pour les simulations

Le principe du calcul adopté pour estimer, en gestion opérationnelle, le débit à lâcher le jour j à Sambangalou, en fonction du débit souhaité 6 jours plus tard à Gouloumbo, est décrit ci-dessous.

- On suppose que des moyens de prévision (qu'il est trop tôt pour définir ici), nous permettent d'estimer au jour j, les débits suivants :

Diagu (j+1)
Tioko (j+2)
Diarh (j+2)
Nioko (j+2)
Parcg (j+4)

- Le débit naturel passant à Sambangalou au jour j est estimé à partir des débits observés les jours précédents à la station de Kouncoy :

$$\text{Samban}_{\text{nat}}(j) = f(\text{Kouncoy}(j-n))$$

- Les débits naturels résultants à Mako et Wassadou aval peuvent ensuite être évalués à partir des relations Aa et B indiquées en annexe 22C :

$$\text{Relation Aa} : \text{Mako}_{\text{nat}}(j+1) = \text{Aa}(\text{Samban}_{\text{nat}}(j) + \text{Diagu}(j+1))$$

$$\text{Relation B} : \text{Wasav}_{\text{nat}}(j+4) = \text{B}(\text{Mako}_{\text{nat}}(j+1) + \text{Tioko}(j+2) + \text{Diarh}(j+2) + \text{Nioko}(j+2))$$

- Les débits globaux fictifs Sambdia et Matidin sont calculés à partir des débits précédents pour le régime naturel :

$$\text{Sambdia}_{\text{nat}}(j) = \text{Samban}_{\text{nat}}(j) + \text{Diagu}(j+1)$$

$$\text{Matidin}_{\text{nat}}(j+1) = \text{Mako}_{\text{nat}}(j+1) + \text{Tioko}(j+2) + \text{Diarh}(j+2) + \text{Nioko}(j+2)$$

- Les débits intermédiaires non contrôlés sont estimés de la façon suivante :

$$\text{InterA}(j) = \text{Mako}_{\text{nat}}(j+1) - \text{Sambdia}_{\text{nat}}(j)$$

$$\text{InterB}(j+1) = \text{Wasav}_{\text{nat}}(j+4) - \text{Matidin}_{\text{nat}}(j+1)$$

- Le débit résultant au jour j+6 à Gouloumbo, après un lâcher effectué le jour j à Sambangalou, peut alors être estimé par :

$$\text{INTER}(j) = \text{Diagu}(j+1) + \text{Tioko}(j+2) + \text{Diarh}(j+2) + \text{Nioko}(j+2) + \text{Parcg}(j+4) + \text{InterA}(j) + \text{InterB}(j+1)$$

$$\text{Goulo}_{\text{artif}}(j+6) = \text{Samban}_{\text{artif}}(j) + \text{INTER}(j)$$

Le logiciel SIMULGAM a été paramétré de façon à reproduire exactement ce processus de calcul, pour les simulations présentées plus loin. La seule différence avec la gestion opérationnelle tient au fait que les débits naturels Samban(j), Diagu(j+1), Tioko(j+2), Diarh(j+2), Nioko(j+2) et Parcg(j+4) ne font l'objet d'aucune évaluation par propagation depuis l'amont ou autre méthode, puisqu'ils sont tirés directement de la banque de données opérationnelle. La méthode retenue a donc consisté à élaborer comme indiqué ci-dessus, la chronique de débits INTER regroupant l'ensemble des débits intermédiaires entre Sambangalou et Gouloumbo. La configuration des stations prises en compte par la modélisation devient alors très simple, comme il est indiqué en annexe 22E. Pour estimer la précision de la modélisation retenue, on peut examiner les figures données en annexe 22F, qui représentent les débits observés et modélisés à Gouloumbo en régime naturel. On se rappellera que

les débits observés en basses eaux sont peu fiables sur ces figures, du fait de l'étalonnage influencé par la marée.

Remarque : le modèle de propagation de débit ainsi adopté entre Sambangalou et Gouloumbo, est calé sur la période 1971-1996. Comme on le verra plus loin, les débits prélevés pour l'irrigation sur cette période sont relativement faibles, si on se base sur les superficies aménagées réellement exploitées. En première approximation, on considèrera donc que la modélisation représente la propagation des débits en l'absence de prélèvements.

2223 Valeurs des paramètres retenues pour les simulations

Les valeurs de paramètres utilisées pour faire les simulations sont données en annexe 22G. La plupart d'entre elles sont directement tirées du document suivant :

- Document A : Etude pour l'intégration des investissements de production et de transport d'énergie électrique dans les états membres : Sénégal, Gambie, Guinée Bissau, Guinée. Volume 6 : Estimation des coûts et planification de l'exécution. Rapport final définitif de la phase 1. OMVG. Hydro-Québec International, Orgatec-Eurosoft, Dessau International. Mai 1996

Cependant, certaines valeurs non disponibles dans le document précédent, concernant les turbines et l'évacuateur de crue, ont été fixées arbitrairement par similitude avec les caractéristiques connues du barrage de Manantali, implanté sur la rivière Bafing (haut bassin du Sénégal). Les documents d'où sont tirées ces valeurs sont les suivants :

- Document B : Centrale hydroélectrique de Manantali. Offre n° 82975. Lot4 – Item 2 – Turbines – Tableau 1 – Caractéristiques de fonctionnement. Sulzer Hydro, 13/1/95.
- Document C : Etude d'exécution du barrage de Manantali. Rapport final. Projet définitif du génie civil. Volume 1 : mémoire descriptif. Groupement Manantali. Dortmund, Bruxelles, Dakar. 1979

22231 Courbes de remplissage de la retenue

Ces courbes sont tirées du document A pour les cotes supérieures à 188 m. Pour les cotes inférieures, une extrapolation grossière a été effectuée en supposant que la retenue présente à la cote H0 un fond horizontal rectangulaire (longueur L dans le sens du fleuve, largeur I) auquel succèdent des pentes de tangente 1/B vers l'amont et 1/C sur les côtés. Le calage d'un tel modèle sur les valeurs données dans le document A pour les cotes de 188 à 200 m nous donne les résultats suivants : H0 = 144m ; L = 1992 m ; I = 999 m ; B = 362 ; C = 60. Ces valeurs permettent d'extrapoler les courbes d'emmagasinement entre les cotes 188 et 144 m.

22232 Evacuation maximale par déversoir et vidange de fond

L'évacuation maximale par vidange de fond a été calculée par formule de Poncelet, à partir des caractéristiques suivantes tirées du document A : hauteur de vanne = 3,1m ; nombre de vannes = 3 ; largeur de vanne = 2,2m ; cote de seuil de déversement = 118 m.

L'évacuation maximale par le déversoir a été calculée par formule de déversoir à seuil épais, avec les données suivantes tirées du document A ; nombre de coursiers = 3 ; largeur de vanne = 6,1 m. Le seuil de déversement a été fixé à la cote 202 m.

22233 Evacuation minimale par déversoir

L'évacuation minimale par le déversoir de crue a été calculée en supposant que celui-ci serait équipé de vannes secteur identiques à celles de Manantali, calées de surcroît à la même cote. Ce dernier point peut être envisagé du fait des valeurs très proches de cote en crête de barrage pour les deux ouvrages. Le calcul effectué avec la formule de Poncelet suppose que l'ouverture minimale des vannes correspond à une garde de 27 cm entre la cote du plan d'eau et la crête des vannes secteur. Les caractéristiques suivantes ont été utilisées :

Tiré du document C : rayon = 10 m ; cote de l'axe de rotation : 206,5 m ; crête de vanne fermée = 208,32 m ; cote du seuil de déversement = 202 m.

Tiré du document A : nombre de vannes = 3 ; largeur de vanne = 6,1 m ;

22234 Loi hauteur – débit dans le canal de fuite de l'usine

Cette loi a été établie avec la formule de Manning-Strikler, sur la base des indications suivantes, tirées du document A : largeur du canal de fuite = 30 m ; niveau du radier = 122 m ; cote = 124 m pour un débit de $111 \text{ m}^3/\text{s}$.

22235 caractéristiques des turbines

Le document A indique que l'usine envisagée pour Sambangalou aura une puissance installée de 88 Mw développée par deux turbines. Il y est en outre précisé que le débit d'équipement serait de $111 \text{ m}^3/\text{s}$, pour une chute maximale de 85,3 m. A partir de ces informations, on a utilisé les caractéristiques de turbines définies dans le document B pour le barrage de Manantali, pour évaluer des valeurs de rendement de turbine et des débits maximaux turbinés pour Sambangalou.

La démarche a consisté à utiliser les valeurs de rendements définies pour les turbines de Manantali en fonction de la chute et de la fraction de puissance garantie produite (charge de puissance). Ces valeurs ont été adoptées pour les turbines de Sambangalou, pour les mêmes valeurs de charge de puissance et les mêmes valeurs de chute nette rapportée à la chute nette maximale. On a également fait l'hypothèse que pour un même rapport entre chute nette et chute maximale, on avait un même rapport entre puissance garantie et puissance maximale, pour les turbines de Manantali et celles de Sambangalou.

22236 cote maximale admise dans la retenue

Le document A indique une cote maximale admise de 209,3 m dans la retenue.

22237 Puissance minimale développée par groupe

Le rapport entre la puissance minimale et la puissance maximale productibles dans des conditions normales d'exploitation, a été pris égal à celui qui est indiqué dans le document B pour les turbines de Manantali, soit : $9/41 = 0,219$.

22238 Evaporation nette moyenne mensuelle

Les valeurs retenues sont celles qui figurent dans le volume 5 (Etudes hydrologiques) tiré de la même série que le document A.

2224 Consignes de gestion envisagées

22241 Principe

Pour toutes les simulations effectuées, il a été retenu les deux consignes de gestion suivantes :

- Débit total lâché suffisant pour obtenir 6 jours plus tard à Gouloumbo, un débit supérieur ou égal à un hydrogramme objectif prédéfini.

- Production d'électricité : si la cote dans le lac dépasse le niveau S2, alors les turbines sont utilisées au maximum de leur possibilité (puissance maximale). Si cette cote est comprise entre les niveaux S1 et S2, il est alors produit une puissance constante P, inférieure à la puissance maximale ; Si la cote est inférieure à S1, la consigne relative à la production électrique n'est pas prise en compte. Le débit turbiné est déterminé dans ce dernier cas en fonction des contraintes de gestion et du débit total lâché défini par la première consigne. L'intérêt de telles règles pour la production d'électricité consiste à valoriser au mieux les quantités d'eau disponibles. En effet, la production d'une puissance donnée consomme d'autant plus d'eau que le niveau du lac est bas. Quand ce niveau devient trop bas (< S1), il est préférable de laisser le stock d'eau se reconstituer, quitte à suppléer le manque de puissance produite par d'autres moyens de production (thermique). Inversement quand la cote devient trop haute (> S2) et qu'on se situe donc dans des conditions idéales de production, on a intérêt à turbiner le maximum d'eau en faisant diminuer ainsi le risque de débordement, qui correspond à une perte sèche pour le volume turbiné.

22242 Scénarios envisagés

222421 Hydrogramme objectif défini au niveau de Gouloumbo

L'hydrogramme objectif à réaliser au niveau de Gouloumbo a été envisagé dans l'optique d'une satisfaction des besoins en eau des cultures irriguées dans le bassin de la Gambie. Le recensement des zones aptes à l'irrigation sur le territoire gambien, comptabilise les superficies à irriguer au delà d'une distance de 170 km à partir de l'embouchure du fleuve (PK 170), tant pour le riz que pour d'autres cultures. Partant de là, il est envisagé trois hypothèses (tableau 22-1) pour les besoins en eau des différentes cultures à satisfaire sur les zones aptes à l'irrigation situées au delà du PK 170, situées soit en Gambie soit au Sénégal :

- Hypothèse 1 : irrigation des périmètres existant actuellement, non abandonnés
- Hypothèse 2 : irrigation des périmètres aménagés, y compris ceux qui sont actuellement abandonnés
- Hypothèse 3 : irrigation de l'ensemble des zones identifiées à aptitude élevée

		mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	octo.	nove.	déce.
Hypothèse sur les superficies à irriguer	1		4,7	2,6	3,3	3,7	1,4	0,1	2,8	0,0	0,0	1,6	2,0	1,1
	2		9,4	5,2	6,6	7,2	2,7	0,1	5,8	0,0	0,0	3,1	3,8	1,9
	3		49,1	30,5	39,4	40,4	17,0	1,2	27,9	0,1	0,1	15,2	19,3	10,7

tableau 22-1 : besoins en eau des cultures irriguées.

Quatre hydrogrammes objectifs ont été envisagés dans les simulations réalisées. Le premier (rang 0) consiste en un débit constant (testé à 10, 30 et 50 m³/s) . Les trois suivants (rangs 1, 2 et 3 dans le tableau 22-2) consistent à assurer un débit supérieur de 50 m³/s aux besoins en eau des cultures irriguées correspondant aux trois hypothèses définies ci-dessus.

		mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	octo.	nove.	déce.
rang d'hydrogramme objectif	1		54,7	52,6	53,3	53,7	51,4	50,1	52,8	50,0	50,0	51,6	52,0	51,1
	2		59,4	55,2	56,6	57,2	52,7	50,1	55,8	50,0	50,0	53,1	53,8	51,9
	3		99,1	80,5	89,4	90,4	67,0	51,2	77,9	50,1	50,1	65,2	69,3	60,7

Tableau 22-2 : hydrogrammes objectifs à réaliser à Gouloumbo

222422 Paramètres définissant la demande de production électrique

Les simulations ont été effectuées en testant différentes valeurs pour les trois paramètres définissant, comme décrit plus haut, la consigne de production électrique :

- Pour P : 40, 50 et 60 Mw
- Pour S1 : 186, 192 et 198 m
- Pour S2 : 204, 207 et 208,05 m

2225 Conditions initiales retenues pour les simulations

Toutes les simulations ont été effectuées en adoptant la cote limite de débordement du barrage comme cote initiale du lac au 1^{er} janvier 1971. Compte tenu des valeurs de paramètres présentées plus haut, cette cote se situe à 208,05 m.

223 Résultats des simulations

2231 Scénarios envisageant un hydrogramme objectif constant à 10, 30 ou 50 m³/s, sans prélèvement d'eau pour l'irrigation

Un certain nombre de simulations préliminaires a été effectué en considérant un hydrogramme objectif constant. Le but de ces calculs était de faire une première évaluation des déplacements saisonniers du front salé en régime régularisé, et d'orienter ainsi la définition des règles de gestion de l'ouvrage.

On considère qu'un des objectifs à retenir pour la gestion du futur ouvrage de Sambangalou est de permettre d'irriguer au moins les superficies actuellement aménagées. Or on a vu plus haut que les zones concernées se répartissent le long du fleuve pour les distances à l'embouchure supérieures à 170 km. La gestion du barrage de Sambangalou doit donc viser à maintenir en permanence le front salé à un PK inférieur à 170 km. Par front salé, on entend ici et pour la suite du texte, le lieu où s'observe une concentration en sel de 1g/l, couramment admise comme limite supérieure pour une eau d'irrigation.

Les résultats obtenus avec les simulations préliminaires ne seront examinés que sous le seul angle de la position du front salé à 1g/l. Les scénarios testés correspondent aux valeurs suivantes pour les paramètres concernant la production d'électricité : P=60 Mw ; S1=192m ; S2=208,05m. Le débit constant pour l'hydrogramme objectif a été testé à 10, 30 et 50 m³/s (simulations 952, 948 et 923 respectivement). On a enfin considéré lors de ces premiers calculs que les prélèvements d'eau pour l'irrigation étaient nuls en permanence.

La valeur maximale annuelle du PK de front salé à 1g/l a été calculée pour chacune des 26 années simulées. La répartition de ces PK maximaux annuels est résumée dans le tableau 22-3, où l'on constate qu'un débit maintenu au dessus de 50 m³/s permet de maintenir en permanence le front salé en deçà du PK 170. Un débit maintenu seulement à 30 ou 10 m³/s à Gouloumbo occasionne la plupart des années un dépassement du PK 170 par le front salé.

débit objectif constant (m ³ /s)		10	30	50
Puissance P demandée (Mw)		60	60	60
Seuil de turbinage S2 (m)		208,05	208,05	208,05
Seuil de turbinage S1 (m)		192,00	192,00	192,00
rang du scénario simulé	régime naturel	952	948	923
	minimum	242	147	146
	valeur dépassée 9 fois sur 10	270	150	152
	valeur dépassée 7 fois sur 10	281	192	165

valeur dépassée 5 fois sur 10	291	222	185	165
valeur dépassée 3 fois sur 10	299	240	192	166
valeur dépassée 1 fois sur 10	301	251	193	166
maximum	312	263	195	167
moyenne	289	212	181	163

Tableau 22-3 : répartition du PK maximal annuel de front salé à 1g/l sur la période 1971-1996, dans le cas d'un débit objectif constant et de l'absence de prélèvements pour l'irrigation.

Pour chacun des douze mois de l'année, on a calculé les valeurs moyennes sur la période 1971-1996, de la position du PK de front salé, ainsi que du débit obtenu à Gouloumbo. Pour les trois scénarios testés, ces valeurs moyennes sont portées l'une en fonction de l'autre sur la figure 22-1, qui permet de comprendre comment se déplace le front salé en cours d'année. Le mois de juin marque dans tous les cas la position la plus en amont du front salé, dont le PK diminue ensuite à mesure que les débits augmentent de juillet à septembre. Alors que le débit commence à diminuer, le front salé continue à être repoussé vers l'océan en octobre, qui marque sa position la plus en aval. De novembre à juin, la diminution progressive du débit s'accompagne de l'avancée du front salé vers l'amont. En concordance avec le résultat signalé plus haut, on remarque sur la figure 22-1 que le passage du débit mensuel à 50 m³/s à Gouloumbo correspond à une position du front salé aux alentours du PK 170.

L'effet de la régularisation des débits sur les déplacements du front salé peut être évalué en comparant la figure 22-1 à la figure 22-2, qui représente de la même façon, mois par mois mais pour le régime naturel, la position moyenne du front salé en fonction du débit moyen à Gouloumbo. On constate que contrairement au régime régularisé, le régime naturel montre à partir du mois de décembre une progression très rapide du front salé vers l'amont, à mesure que le débit se tarit. En moyenne, le front salé remonte par ailleurs chaque année jusqu'au PK 289 en régime naturel et peut même atteindre, au maximum, le PK 312.

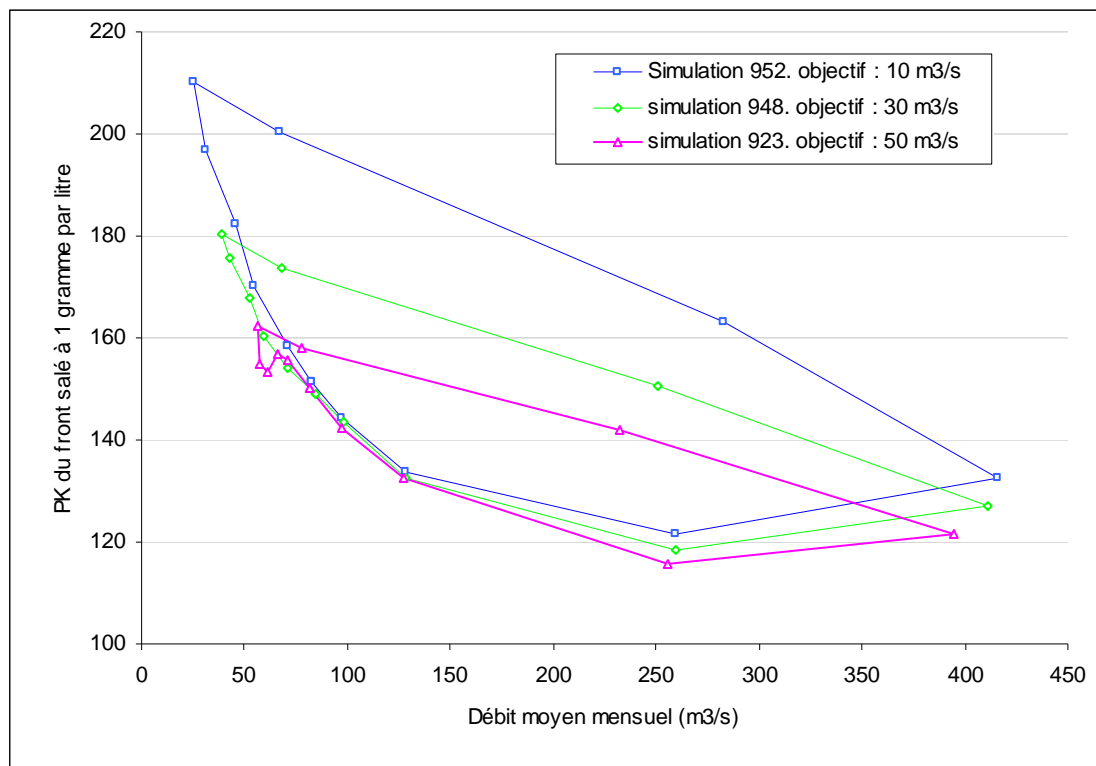


Figure 22-1 : Evolution annuelle moyenne de la position du front salé en absence de prélèvement, pour une gestion définie par un hydrogramme objectif constant et par P=60 Mw, S1 = 192 m, et S2 = 208,05 m

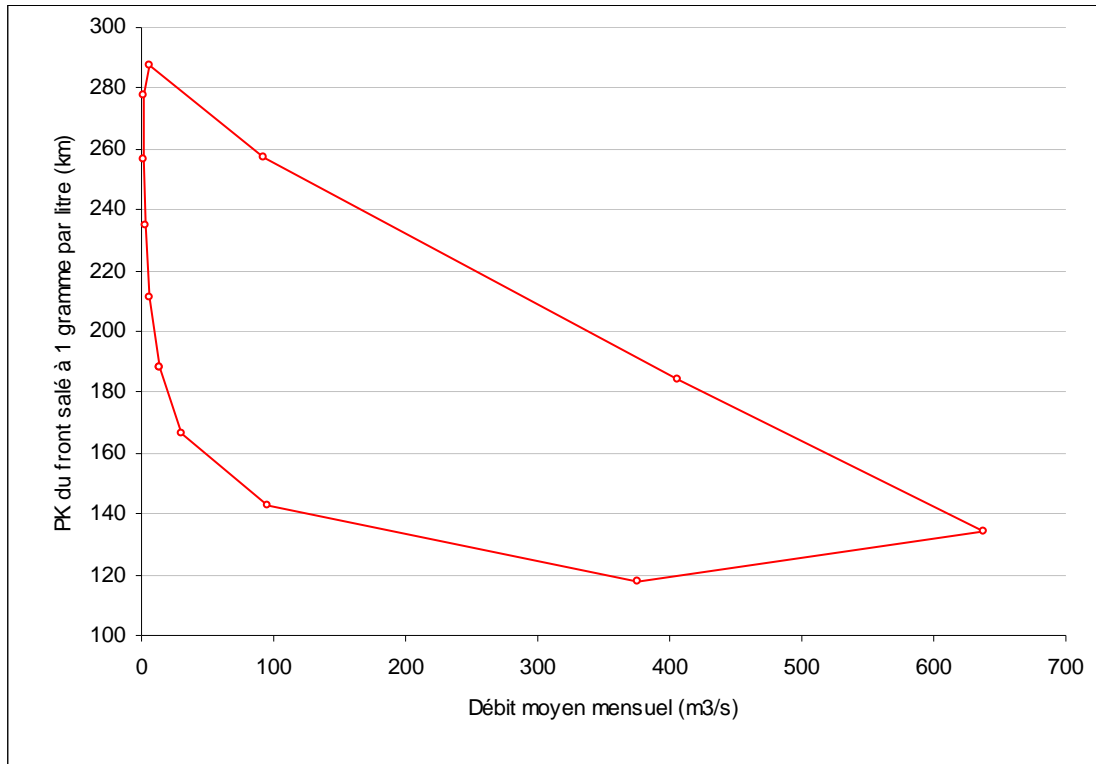


Figure 22-2: Evolution annuelle moyenne de la position du front salé, en régime naturel

2232 Scénarios envisageant des prélèvements d'eau pour l'irrigation

Le modèle permettant de calculer la position du front salé utilise en entrée les débits de la Gambie à Gouloumbo. Dans les calculs présentés plus haut, on suppose l'absence de prélèvement d'eau pour l'irrigation, et la totalité des débits passés à Gouloumbo contribue donc dans ce cas à repousser l'eau salée vers l'océan. Dès lors qu'on envisage des prélèvements d'eau importants, il est évident qu'une partie des débits évalués à Gouloumbo à partir des lâchers effectués à Sambangalou, est sans effet sur les déplacements du front salé.

En première approximation, on fait donc l'hypothèse que les débits de Gouloumbo influençant les déplacements du front salé doivent correspondre à peu près au débit calculé à partir des lâchers de Sambangalou, diminué des prélèvements destinés à l'irrigation. Puisqu'il apparaît que l'objectif de maintien du front salé en deçà du PK 170 nécessite un débit de 50 m³/s à Gouloumbo, on voit donc que l'hydrogramme objectif doit alors correspondre aux débits à prélever, augmentés de 50 m³/s. Les résultats présentés plus loin avec les hydrogrammes objectifs 1, 2 et 3 (tableau 22-2) ainsi définis montrent que l'hypothèse est justifiée.

La combinaison des valeurs testées pour les paramètres définissant les règles de gestion (3 pour P ; 3 pour S1 ; 3 pour l'hydrogramme objectif ; 2 pour S2) porte à 54 le nombre des scénarios simulés avec prise en compte des prélèvements destinés à l'irrigation. Pour chaque combinaison d'hydrogramme objectif, de S1 et de P, on ne présentera que les résultats du scénario correspondant à celle des deux valeurs de S2 (204 m ou 207 m) qui donne les meilleurs résultats en matière d'énergie moyenne produite. On trouvera donc ci-dessous les résultats de 27 scénarios de gestion, examinés principalement sous l'angle de la position du front salé, de la pénurie d'eau pour les besoins des cultures irriguées, de la production d'énergie électrique et de l'amortissement des pointes de crue.

22321 Satisfaction des besoins en eau des cultures irriguées

223211 Position du front salé à 1g/l

La position du front salé est ici évaluée au pas de temps mensuel en tenant compte des prélèvements prévus pour chaque scénario. La position la plus en amont obtenue chaque année simulée est indiquée dans le tableau 22-4. Ce tableau donne également quelques éléments statistiques de la répartition de ces PK maximaux annuels. On constate que la remontée maximale du front salé vers l'amont, sur la période 1971-1996, atteint un PK situé entre 166 et 171 selon les scénarios de gestion, sauf pour les scénarios 16 et 17. Cette valeur est bien inférieure à la plus faible jamais atteinte (242) en régime naturel sur la même période, Ce résultat est par ailleurs tout à fait satisfaisant puisqu'il montre que les hydrogrammes objectifs suffisent tout juste pour garantir en permanence de l'eau douce dans la partie du fleuve bordée de zones irrigables.

Pour les scénarios 16 et 17 qui sont les moins économes en eau (voir plus bas), le front salé reste cantonné, 25 année sur 26, en deçà du PK 170, mais remonte exceptionnellement (en 1985, soit 1 année sur 26) jusqu'au PK 242 et 239 respectivement. Ce résultat, bien que mauvais, reste néanmoins équivalent au meilleur résultat obtenu en régime naturel.

La position la plus en aval atteinte chaque année par le front salé en régime régularisé reste très proche de celle qui est obtenue en régime naturel (tableau 22-5). Elle se situe entre les PK 78 et 148 selon les années et les scénarios de gestion, au lieu de 88 et 164 en régime naturel.

La figure 22-3 montre l'évolution moyenne sur l'année du débit moyen mensuel et du PK de front salé, évalués en moyenne à partir des résultats des 27 scénarios simulés, regroupés par classes d'hydrogramme objectif. La position extrême du front salé s'observe en octobre vers l'aval, et en février ou mars vers l'amont.

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	204		
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198		
rang du scénario simulé	naturel	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11	
1972	262	165	166	166	165	166	166	166	166	166	153	157	166	153	157	166	165	157	165	151	157	165	151	157	165	165	157	164	
1973	271	163	166	166	166	166	166	166	166	166	147	157	166	165	157	166	165	166	166	147	156	165	165	156	165	165	166	166	
1974	281	166	166	166	165	166	166	166	166	166	164	157	166	164	157	166	165	166	166	164	156	165	164	156	165	165	166	166	
1975	279	160	165	165	162	165	165	165	165	165	164	147	156	163	147	156	163	154	157	160	146	156	163	147	156	163	151	156	162
1976	281	165	165	165	166	165	165	165	165	165	163	157	164	164	157	164	163	157	162	163	156	164	164	156	164	163	156	163	
1977	271	166	165	166	166	165	166	166	166	166	165	157	164	166	157	164	166	157	165	165	156	163	166	156	163	166	156	165	
1978	289	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	156	166	166	165	166	166	165	166	166	156	166	166	164	166	166	165	166	
1979	270	164	165	165	165	165	165	165	165	165	164	156	163	164	156	163	162	157	161	164	155	163	163	156	163	165	156	160	
1980	290	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	165	165	165	165	165	165	166	165	164	165	165	165	165	165	165	166	
1981	291	166	166	166	166	166	167	166	166	166	165	165	166	165	166	166	165	166	166	165	165	166	165	166	166	165	166	166	
1982	300	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	165	166	165	166	166	165	166	166	165	165	166	165	165	165	165	166	166	
1983	290	170	170	166	170	166	170	166	170	170	170	166	166	166	170	166	166	166	166	170	166	166	166	170	166	166	165	166	
1984	310	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	167	167	166	167	167	166	
1985	312	242	239	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	167	167	166	167	167	167	167	167	164	167	167	166	167	167	167	
1986	299	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	165	164	165	165	165	165	165	166	165	165	162	165	165	163	165	165	166	
1987	301	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	166	166	166	166	166	166	
1988	301	167	167	166	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	
1989	299	166	166	166	167	167	166	167	167	167	165	165	166	166	165	166	166	166	166	165	165	166	165	165	165	166	165	166	
1990	291	165	166	166	165	166	166	166	166	166	165	165	162	165	165	165	165	166	166	165	165	160	165	165	164	165	165	165	
1991	301	166	166	166	166	166	166	166	166	167	166	165	166	166	165	166	166	165	166	165	165	165	165	165	165	165	165	166	
1992	300	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	165	166	165	165	165	165	165	166	165	165	165	165	165	163	165	165	166	
1993	299	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	
1994	291	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	
1995	242	165	162	164	166	165	164	165	165	165	155	154	160	147	156	162	151	156	157	147	153	157	147	155	160	147	156	157	
valeur dépassée 9 fois sur 10	270	164	165	165	165	165	165	165	165	165	154	156	163	156	156	163	162	157	161	148	156	162	155	156	163	164	156	162	
valeur dépassée 7 fois sur 10	281	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	157	165	165	157	165	165	165	166	165	156	164	165	157	164	165	165	166	
valeur dépassée 5 fois sur 10	291	166	166	166	166	166	166	166	166	166	165	165	166	165	165	166	165	166	166	165	165	165	165	165	165	165	165	166	
valeur dépassée 3 fois sur 10	299	166	166	166	167	167	166	167	167	167	166	165	166	166	166	166	166	166	166	166	165	166	166	166	166	166	166	166	
valeur dépassée 1 fois sur 10	301	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	166	166	166	166	166	166	166	166	167	166	166	166	166	166	166	166	166	
min	242	160	162	164	162	165	164	165	165	164	147	154	160	147	156	162	151	156	157	146	153	157	147	155	160	147	156	157	
moy	288	169	169	166	166	166	166	166	166	166	163	162	165	164	163	165	164	164	165	163	162	164	163	162	165	164	163	165	
max	312	242	239	167	170	170	167	170	170	170	170	167	167	170	167	167	170	167	167	170	167	166	170	167	166	171	167	167	

Tableau 22-4 : distance maximale annuelle à l'embouchure (km), du front salé à 1g/l

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	204	
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	
rang du scénario simulé	naturel	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11
1972	121	113	118	120	113	118	120	126	118	120	108	117	118	108	117	118	125	117	118	108	116	118	108	116	118	125	116	118
1973	110	104	108	112	115	108	112	116	116	116	98	107	108	108	107	108	115	115	114	98	106	108	108	106	108	115	115	114
1974	78	88	88	88	88	88	88	88	89	88	88	88	78	88	88	78	88	88	88	88	88	78	88	88	78	88	88	88
1975	88	96	95	97	97	96	97	98	96	97	89	94	94	89	94	88	88	88	94	89	93	94	89	93	94	88	88	95
1976	113	108	106	108	108	107	108	108	108	108	106	106	107	107	106	107	107	106	106	106	105	107	107	105	107	107	106	106
1977	137	127	118	128	130	128	128	131	130	128	128	118	127	128	118	127	128	121	128	128	118	127	128	118	127	128	118	128
1978	88	98	98	97	98	98	97	98	98	98	98	88	96	98	98	96	98	98	98	98	88	96	98	98	96	98	98	98
1979	121	118	117	117	118	118	117	118	118	118	117	108	115	117	108	115	117	108	114	116	108	115	116	108	115	117	108	114
1980	117	118	118	113	118	118	118	118	118	118	117	117	113	118	118	113	118	118	117	117	117	113	117	118	113	118	118	117
1981	116	118	124	118	124	124	118	126	125	124	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118	117	118	118	118	118	118	118
1982	125	127	120	118	128	123	127	131	125	127	118	118	118	118	118	118	118	118	123	118	118	118	118	118	118	118	118	122
1983	164	148	148	147	148	148	147	148	148	148	147	138	137	147	138	137	147	142	145	147	138	136	147	138	136	147	138	145
1984	138	132	132	132	132	132	132	132	132	132	128	128	117	128	128	117	128	128	128	128	128	116	128	128	116	128	128	128
1985	105	127	127	117	118	118	117	118	118	118	108	113	111	108	114	116	108	116	117	108	113	108	108	114	116	108	116	117
1986	128	131	132	131	132	132	131	132	132	131	125	125	117	126	126	118	127	127	126	125	124	117	126	125	118	126	126	125
1987	136	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	127	127	127	127	127	126	128	128	127	127	124	127	127	127	126	127	127
1988	113	118	118	125	125	125	125	125	125	125	117	118	118	117	118	118	118	117	118	117	118	118	117	118	118	118	117	118
1989	107	116	117	118	117	118	118	118	118	118	112	114	117	114	116	117	115	116	108	111	114	117	113	115	117	115	116	108
1990	136	125	127	128	127	127	128	135	134	128	118	122	122	118	125	126	122	126	127	118	121	121	118	124	126	118	125	127
1991	117	118	118	118	118	118	118	123	125	125	117	118	118	117	118	117	118	118	117	117	118	118	117	118	118	118	118	117
1992	132	135	135	135	135	135	135	135	135	135	122	126	127	125	127	122	126	127	128	121	126	127	125	127	118	126	128	128
1993	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	123	125	126	125	126	127	126	126	128	122	125	126	124	125	127	125	126	127
1994	88	98	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97	97	97	97	97	97	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96
1995	98	108	107	107	107	108	108	107	108	106	104	98	107	98	101	98	98	102	104	97	98	107	98	100	98	98	101	103
valeur dépassée 9 fois sur 10	88	98	98	97	98	98	97	98	98	98	97	95	96	97	97	96	97	98	97	97	94	96	97	97	96	97	97	97
valeur dépassée 7 fois sur 10	110	113	116	113	115	117	117	118	118	118	108	108	111	108	108	113	114	114	113	108	108	108	108	108	113	114	114	113
valeur dépassée 5 fois sur 10	117	118	118	118	118	118	119	125	122	122	117	118	117	117	118	117	118	118	118	117	118	117	117	118	118	118	118	118
valeur dépassée 3 fois sur 10	128	127	127	128	128	127	128	131	128	128	118	118	118	119	119	118	125	122	126	118	118	118	119	119	118	125	119	125
valeur dépassée 1 fois sur 10	137	134	134	134	134	134	134	135	135	134	128	127	127	128	127	127	128	128	128	128	127	127	128	127	127	128	128	128
min	78	88	88	88	88	88	88	88	89	88	88	88	78	88	88	78	88	88	88	88	78	88	88	78	88	88	88	88
moy	117	118	118	118	119	119	119	121	120	120	114	114	114	114	114	115	114	116	115	116	113	113	114	114	114	114	115	116
max	164	148	148	147	148	148	147	148	148	148	147	138	137	147	138	137	147	142	145	147	138	136	147	138	136	147	138	145

Tableau 22-5 : distance minimale annuelle à l'embouchure (km), du front salé à 1g/l

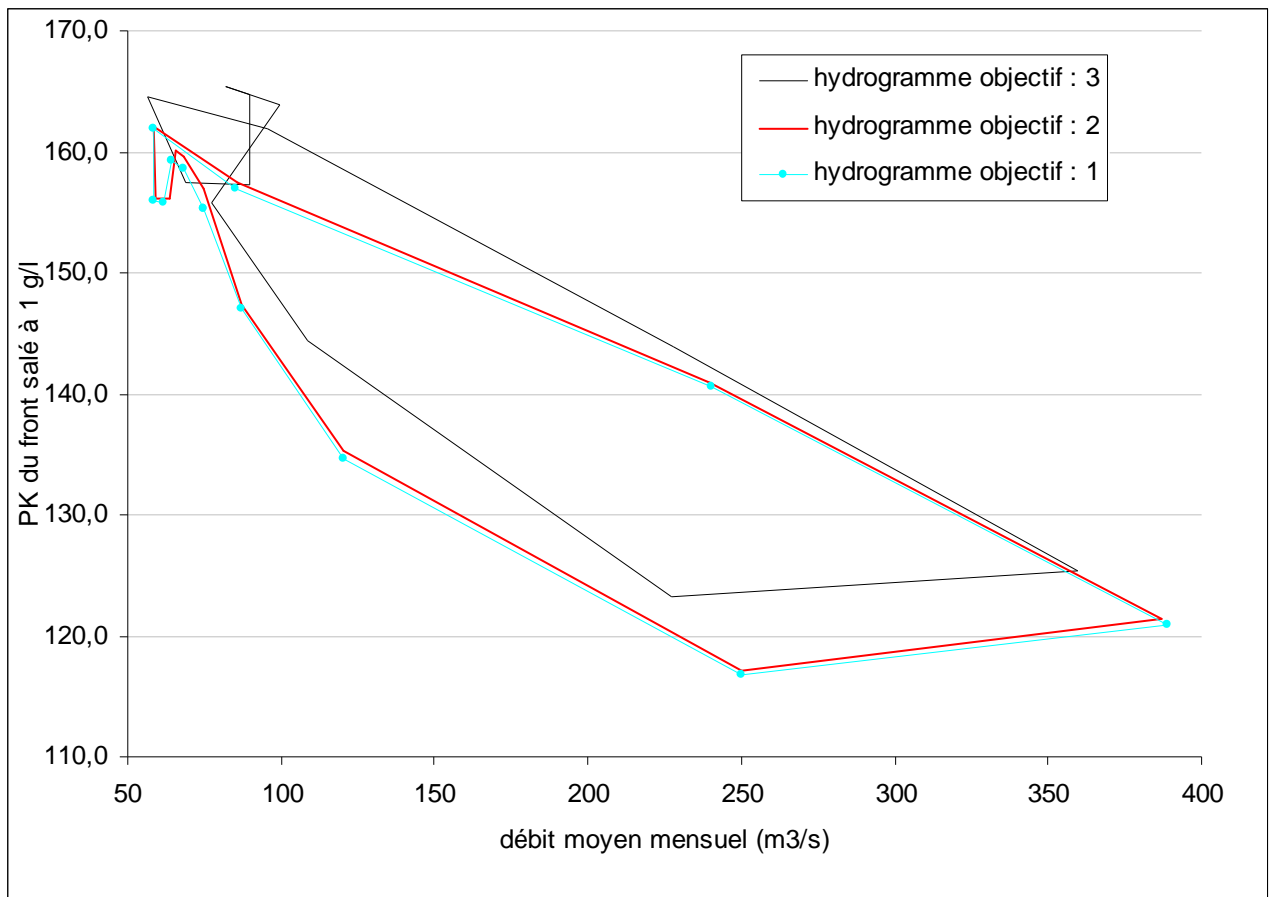


figure 22-3 : Evolution annuelle moyenne de la position du front salé à 1g/l, évaluée par groupes de 9 scénarios de gestion

223212 Pénurie d'eau pour les cultures irriguées.

On constate que pour les scénarios retenus, le débit obtenu à Gouloumbo est toujours supérieur ou égal à l'hydrogramme objectif envisagé, sauf dans un cas extrêmement rare qui ne se présente que pour les scénarios 16 et 17. Ces deux scénarios correspondent à la gestion la moins économique en eau de toutes celles qui ont été envisagées, avec un fort hydrogramme objectif soutenu à Gouloumbo (rang 3), et avec une demande de production électrique importante (60 et 50 Mw respectivement), prise en compte à partir d'un faible stock dans le lac ($S1 = 186$ m). Il est donc logique que ces deux scénarios soient les plus propices à l'apparition de pénurie d'eau vis-à-vis de l'hydrogramme objectif.

La pénurie constatée pour les scénarios 16 et 17 porte sur les mois d'avril à juin de l'année 1985. Ceci représente une fréquence d'apparition de 1,3% des mois avec pénurie sur la totalité de la période simulée. Le débit obtenu pendant les quatre mois en question est, à $5 \text{ m}^3/\text{s}$ près, supérieur ou égal aux besoins en eau des cultures irriguées de l'hypothèse 3. La conséquence de la pénurie d'eau ne porte donc pas sur la quantité mais sur la qualité de l'eau disponible. En effet, le front salé dépasse alors largement le PK 170 pour remonter jusqu'à 242 et 239 km au mois de juin.

223213 Conclusion

Les scénarios 16 et 17 sont les moins économes en eau parmi tous ceux qui ont été envisagés : demande de production d'une forte puissance électrique à partir d'une chute pas très importante, et soutien de débit pour de forts besoins en eau des cultures irriguées. Ce sont donc les plus propices à l'apparition d'une pénurie d'eau pour l'irrigation, qui est d'ailleurs observée 1 année sur 26 pendant 4 mois consécutifs. Cette pénurie se traduit par une concentration en sel trop importante pour les prélèvements effectués à l'aval du PK 240 environ.

Chacun des 24 autres scénarios envisagés permet de satisfaire sans défaillance les besoins envisagés pour les cultures irriguées.

22322 Production d'énergie électrique

223221 Energie produite par année

Le tableau 22-6 donne les énergies produites pour chaque année simulée. Pour tous les scénarios de gestion envisagés, l'examen des valeurs extrêmes et du coefficient de variation (écart-type divisé par moyenne, compris entre 0,15 et 0,37) de l'énergie produite chaque année, montre une variabilité interannuelle assez importante de la production. Ceci est dû aux variations de l'hydraulicité de la Gambie qui influencent le niveau moyen de la retenue.

Les valeurs moyennes interannuelles de production annuelle d'énergie sont évaluées de deux façons différentes dans le tableau 2232211. La première, W1, correspond à la moyenne des 26 valeurs annuelles obtenues de 1971 à 1996. La seconde, W2, tient compte de la perte d'énergie potentielle Pe correspondant à la différence de niveau dans le lac obtenue entre le début (Hi = 208,05 m le 1^{er} janvier 1971) et la fin des simulations (cote Hf le 31 décembre 1996). Cette perte Pe est évaluée en première approximation de la façon suivante :

$$Pe = \rho g R ((Hi + Hf) / 2 - Hav) (Vi - Vf)$$

Avec : ρ masse volumique de l'eau
 g accélération de la pesanteur
 R rendement, pris égal à 0,9
 Hav cote dans le canal de fuite, pris égal à 124 m
 Vi volume initial dans la retenue au 1/1/71
 Vf volume final dans la retenue au 31/12/96

W2 est alors estimé de la façon suivante :

$$W2 = (26 W1 - Pe) / 26$$

Le tableau 22-7 donne la fonction de répartition de l'énergie produite par année pour tous les scénarios.

On remarque tout d'abord que sur l'ensemble des scénarios testés, l'énergie produite diminue avec la puissance P demandée. Ainsi l'énergie moyenne interannuelle W2 passe, en moyenne pour les divers cas d'hydrogramme objectif et de valeur de S1, de 353 Gw h pour P = 40 Mw, à 342 Gw h pour P = 50 Mw, et à 338 Gw h pour P = 60 Mw. Ceci traduit le fait qu'une production instantanée d'énergie trop forte se fait au détriment de la production moyenne, en augmentant le destockage net dans la retenue. Ce raisonnement atteint bien-sûr ses limites pour une puissance demandée qui, devenant trop faible, occasionnerait une trop grande perte d'eau par déversement.

Si l'on considère le gain d'énergie produit par une diminution de 10 Mw de la puissance demandée (passant de 60 à 50 ou de 50 à 40 Mw), on voit que celui-ci s'élève en moyenne à 12 GW h pour S1 = 186 m, à 7 GW h pour S1 = 192 m et à 3Gw h pour S1 = 198 m. Rapporté aux valeurs moyennes de P2 obtenues pour ces différentes familles de scénarios (329 Gw h pour S1 = 186 m, 346 Gw h pour S1 = 192 m et 358 Gw h pour S1 = 198 m) ce gain de production moyenne d'énergie s'élève à 4% pour S1 = 186 m, à 2% pour S1 = 192 m et à 1% pour S1 = 198m. Cela signifie que le fait d'augmenter la valeur de la puissance demandée engendre une perte de production moyenne d'autant plus forte que la demande de production est prise en compte à partir d'une faible chute. Autrement dit, le fait de produire une forte puissance avec une faible chute conduit à dilapider le potentiel de production, en faisant baisser exagérément le niveau du lac. Ceci est tout simplement dû au fait que le débit à turbiner pour produire une puissance donnée est inversement proportionnel à la chute.

Comme on l'a mentionné juste au dessus, l'énergie moyenne interannuelle produite W2 augmente avec S1. Elle vaut ainsi 329 Gw h pour S1 = 186 m, 346 Gw h pour S1 = 192 m et 358 Gw h pour S1

= 198 m. De façon plus détaillée, on constate que de façon moyenne sur les différents scénarios, une augmentation de 6 m sur S1 pour passer de 186 à 192 ou de 192 à 198 m, provoque l'augmentation suivante sur W2:

- 19 Gw h, soit 6% de la valeur moyenne de W2 (338 Gw h) pour P = 60 Mw
- 14 Gw h, soit 4% de la valeur moyenne de W2 (342 Gw h) pour P = 50 Mw
- 10 Gw h, soit 3% de la valeur moyenne de W2 (353 Gw h) pour P = 40 Mw

Les différents résultats présentés ci-dessus vont tous dans le même sens. Ils permettent de dire que pour les scénarios testés, et pour un hydrogramme objectif donné, la meilleure production moyenne interannuelle d'énergie est obtenue pour la puissance demandée la plus faible (P = 40 Mw) combinée au plus fort seuil de cote pour la prise en compte de cette demande (S1 = 198). Ceci correspond aux scénarios 37, 7 et 11 qui permettent de produire 355, 366 et 366 Gw h avec les hydrogrammes objectifs 3, 2 et 1 respectivement. Le scénario 37 envisage un soutien de débit destiné à l'irrigation beaucoup plus important que les deux autres. Il est par conséquent moins économe en eau et occasionne une perte de production énergétique moyenne annuelle de 11 Gw h (soit 3%) par rapport à eux.

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	198	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11		
année																													
1971	541	481	454	541	481	454	541	481	454	528	448	425	528	448	425	528	448	537	528	448	424	528	448	424	528	448	537		
1972	534	475	422	534	475	422	454	459	422	527	439	352	527	439	352	452	439	363	527	439	351	527	439	351	451	439	363		
1973	525	465	415	436	465	415	422	402	391	526	438	401	433	438	401	392	381	394	526	438	402	432	438	402	388	379	394		
1974	411	460	453	406	410	453	403	391	465	413	438	464	399	438	464	386	444	464	411	438	463	398	438	463	389	446	464		
1975	476	463	464	476	467	464	452	473	476	494	438	439	506	438	439	506	475	519	496	438	438	508	438	438	508	475	519		
1976	434	463	423	458	467	423	465	463	423	435	439	417	458	439	417	474	439	453	435	439	418	456	439	418	473	439	454		
1977	352	456	425	390	426	425	414	409	425	347	438	352	379	438	352	398	424	333	346	438	350	377	438	350	397	424	332		
1978	308	343	411	340	348	411	365	364	356	291	438	420	315	375	420	335	332	410	289	438	421	312	376	421	333	332	410		
1979	301	390	412	339	381	412	363	394	413	360	438	351	395	438	351	411	428	355	364	438	350	401	438	350	414	430	356		
1980	338	328	403	369	356	374	391	376	366	312	366	368	330	343	368	351	341	376	310	364	369	326	339	369	347	336	377		
1981	301	337	406	340	361	396	367	379	378	345	378	353	368	372	353	384	369	348	347	380	350	368	373	350	383	370	348		
1982	244	287	397	277	323	350	298	343	350	288	321	352	318	328	352	336	333	313	293	319	350	320	328	350	337	333	313		
1983	225	230	321	270	274	323	302	306	320	177	257	351	205	280	351	230	294	310	179	257	350	212	281	350	233	295	309		
1984	126	134	196	196	201	226	230	233	247	137	137	351	157	157	351	173	175	206	131	132	351	150	150	351	165	166	204		
1985	147	148	219	163	176	260	222	226	252	287	260	319	301	274	273	312	286	265	289	261	323	300	274	270	309	282	260		
1986	205	207	216	232	236	246	258	261	271	267	289	350	284	301	326	286	304	294	278	300	350	296	309	337	302	312	295		
1987	191	193	220	219	223	233	245	248	258	240	239	278	261	256	265	271	268	270	242	236	279	261	254	263	272	267	268		
1988	258	263	261	228	235	280	252	255	264	289	272	292	310	292	292	324	303	299	289	273	292	306	292	291	318	304	299		
1989	316	291	271	344	323	301	326	326	321	295	291	290	312	309	295	326	318	375	295	294	288	314	311	294	325	319	382		
1990	293	311	305	321	337	328	318	324	344	353	343	350	371	356	350	383	364	335	355	345	350	374	359	350	387	366	338		
1991	271	284	295	306	317	321	323	325	339	306	310	317	334	331	340	350	343	353	306	311	318	333	330	346	351	342	353		
1992	213	216	259	250	252	286	279	280	300	236	291	323	274	321	348	298	333	326	243	298	326	279	323	347	302	335	326		
1993	213	221	230	246	248	260	276	277	281	248	252	264	269	275	283	283	293	288	248	253	261	269	275	282	283	292	285		
1994	318	290	266	343	320	297	362	338	320	293	270	273	310	289	291	322	329	417	291	269	272	305	290	289	317	340	415		
1995	445	419	384	448	422	395	443	417	453	495	438	350	511	438	443	520	506	568	504	438	350	521	438	444	528	507	569		
1996	440	437	401	457	456	414	466	458	423	451	439	351	467	439	434	486	439	505	449	439	351	467	439	433	490	439	506		
W1 : moyenne 71-96	325	331	344	344	346	353	356	355	359	344	351	353	359	357	360	367	363	373	346	352	353	360	357	360	367	363	373		
W2 : moyenne corrigée	304	312	330	329	333	345	348	349	355	324	335	349	345	348	357	360	359	366	325	336	349	346	349	357	360	359	366		
minimum	126	134	196	163	176	226	222	226	247	137	137	264	157	157	265	173	175	206	131	132	261	150	150	263	165	166	204		
maximum	541	481	464	541	481	464	541	481	476	528	448	464	528	448	464	528	506	568	528	448	463	528	448	463	528	507	569		
coefficient de variation	0,37	0,33	0,26	0,30	0,27	0,21	0,24	0,22	0,20	0,32	0,25	0,15	0,28	0,22	0,16	0,25	0,21	0,24	0,32	0,25	0,15	0,28	0,22	0,16	0,25	0,21	0,25		

Tableau 22-6 : énergie produite par année (Gw h) avec les différents scénarios de gestion, simulés sur la période 1971-1996

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198		
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11		
fréquence de dépassement																													
0,95	158	160	217	202	206	236	234	237	254	192	242	274	219	260	275	240	273	266	195	240	274	224	259	273	243	271	262		
0,90	198	200	219	224	229	253	249	251	261	238	255	284	265	275	287	277	290	279	243	255	284	265	275	285	278	287	277		
0,85	211	214	227	231	235	260	257	259	270	246	259	291	272	279	292	285	294	292	247	260	291	277	280	291	297	295	292		
0,80	213	221	259	246	248	280	276	277	281	267	270	317	284	289	295	298	303	299	278	269	318	296	290	294	302	304	299		
0,75	230	239	262	255	257	289	284	286	305	287	276	320	303	294	330	314	307	310	289	278	324	301	296	339	311	313	310		
0,70	251	274	269	274	296	299	300	315	320	288	290	337	310	305	344	323	323	319	289	296	338	306	310	347	318	326	319		
0,65	268	286	289	299	319	316	314	325	321	291	291	350	311	318	350	325	332	331	291	299	350	310	320	350	323	332	331		
0,60	293	290	305	321	323	323	323	326	339	293	310	350	315	328	351	335	333	335	293	311	350	314	328	350	333	335	338		
0,55	301	296	337	339	326	334	335	339	345	297	326	351	321	334	351	340	335	349	298	325	350	321	332	350	340	337	349		
0,50	304	320	391	340	343	362	362	353	353	309	354	351	332	349	352	350	342	354	308	354	350	330	349	350	349	341	355		
0,45	314	334	400	342	354	390	364	373	363	337	375	351	360	368	352	375	359	361	337	376	350	359	370	350	375	360	362		
0,40	318	343	403	344	361	396	367	379	378	347	438	352	371	375	352	384	369	375	347	438	350	374	376	351	387	370	377		
0,35	341	397	407	374	388	411	394	392	396	354	438	352	383	438	357	388	391	381	357	438	351	382	438	356	389	390	385		
0,30	381	428	411	398	416	413	409	398	417	386	438	353	397	438	385	395	426	402	388	438	351	399	438	386	393	427	402		
0,25	428	451	414	429	425	415	420	407	423	429	438	364	424	438	413	408	437	415	429	438	364	424	438	414	410	437	414		
0,20	440	460	422	448	456	422	443	417	423	451	438	401	458	438	420	452	439	453	449	438	402	456	438	421	451	439	454		
0,15	453	463	424	457	465	424	453	458	432	495	438	418	477	438	427	477	441	474	498	438	419	477	438	426	477	441	474		
0,10	501	464	439	467	467	439	460	461	454	511	439	423	508	439	436	496	446	512	515	439	422	515	439	436	499	447	512		
0,05	531	472	453	519	473	453	466	471	462	527	439	436	523	439	442	517	469	533	527	439	435	526	439	442	523	469	532		

tableau 22-7 : fonction de répartition de l'énergie produite par année (Gw H) pour les différents scénarios de gestion, simulés sur la période 1971-1996

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	198	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11		
janvier	53,1	53,5	57,3	57,1	57,5	60,1	60,9	61,2	62,8	45,5	45,5	40,3	48,7	46,6	40,3	51,5	47,4	46,4	44,9	45,3	40,0	48,6	46,7	40,0	51,3	47,5	46,3		
février	47,4	46,0	49,2	51,2	49,6	51,8	53,9	52,9	54,2	42,4	44,0	40,2	45,1	45,5	40,0	47,0	46,1	43,9	42,4	44,0	40,2	44,8	45,3	40,0	46,5	45,8	43,7		
mars	46,9	47,6	52,8	52,7	53,3	56,2	56,5	57,4	59,0	40,5	41,6	39,6	43,2	43,1	39,8	44,3	44,2	41,6	39,5	41,2	39,3	42,2	42,8	39,5	43,4	43,8	41,4		
avril	42,5	43,8	48,7	49,1	49,9	52,3	53,4	53,9	55,2	37,3	39,3	39,0	40,5	41,0	39,0	42,7	42,1	39,1	36,5	38,8	38,6	39,5	40,3	38,4	41,5	41,3	38,6		
mai	31,1	33,6	35,0	36,2	37,9	37,8	38,6	39,9	39,8	33,0	36,6	37,5	35,6	38,1	37,8	37,7	38,6	37,2	32,7	36,5	37,5	35,3	37,9	37,7	37,3	38,2	37,0		
juin	24,4	29,3	31,0	27,4	31,7	32,9	29,7	32,3	32,9	28,0	34,0	35,5	30,4	35,1	36,9	31,6	34,7	32,3	28,2	33,9	35,5	30,3	35,0	37,0	31,6	34,5	32,1		
juillet	16,9	22,4	27,3	18,7	23,2	26,6	18,6	22,4	25,0	14,8	25,5	30,7	15,5	24,4	31,0	15,9	21,6	19,6	14,5	25,0	30,7	15,4	23,9	31,5	15,5	21,1	19,0		
août	16,2	19,2	21,6	15,4	17,0	20,4	12,9	14,0	16,8	20,4	26,8	34,8	20,1	26,0	33,9	19,0	23,7	28,1	21,8	27,7	35,1	21,3	27,0	34,1	20,2	24,7	28,8		
septembre	27,7	29,7	27,9	26,4	28,5	25,8	24,9	25,5	24,8	47,2	43,2	44,0	46,9	43,1	45,1	46,1	43,1	50,1	48,5	44,2	44,1	48,4	44,2	45,5	47,5	44,3	50,5		
octobre	46,8	40,3	39,8	42,4	36,3	38,8	41,3	36,3	37,4	55,9	48,5	50,9	55,9	48,5	54,6	55,8	52,8	63,3	56,4	48,5	51,0	56,5	48,5	54,7	56,6	53,1	63,7		
novembre	46,5	43,6	38,7	47,3	42,8	38,5	47,9	43,1	40,0	55,3	48,0	48,4	56,3	48,3	52,0	56,6	53,3	57,0	56,0	48,0	48,5	56,5	48,4	52,1	56,9	53,5	57,5		
decembre	44,8	44,0	41,3	47,3	45,9	42,1	48,7	46,8	43,4	50,9	47,4	41,5	53,1	48,4	41,6	53,7	48,6	51,4	51,6	47,8	41,6	53,8	48,3	41,7	54,2	48,8	51,4		

tableau 22-8 : puissance moyenne mensuelle (Mw) obtenue pour les différents scénarios de gestion, simulés sur la période 1971-1996

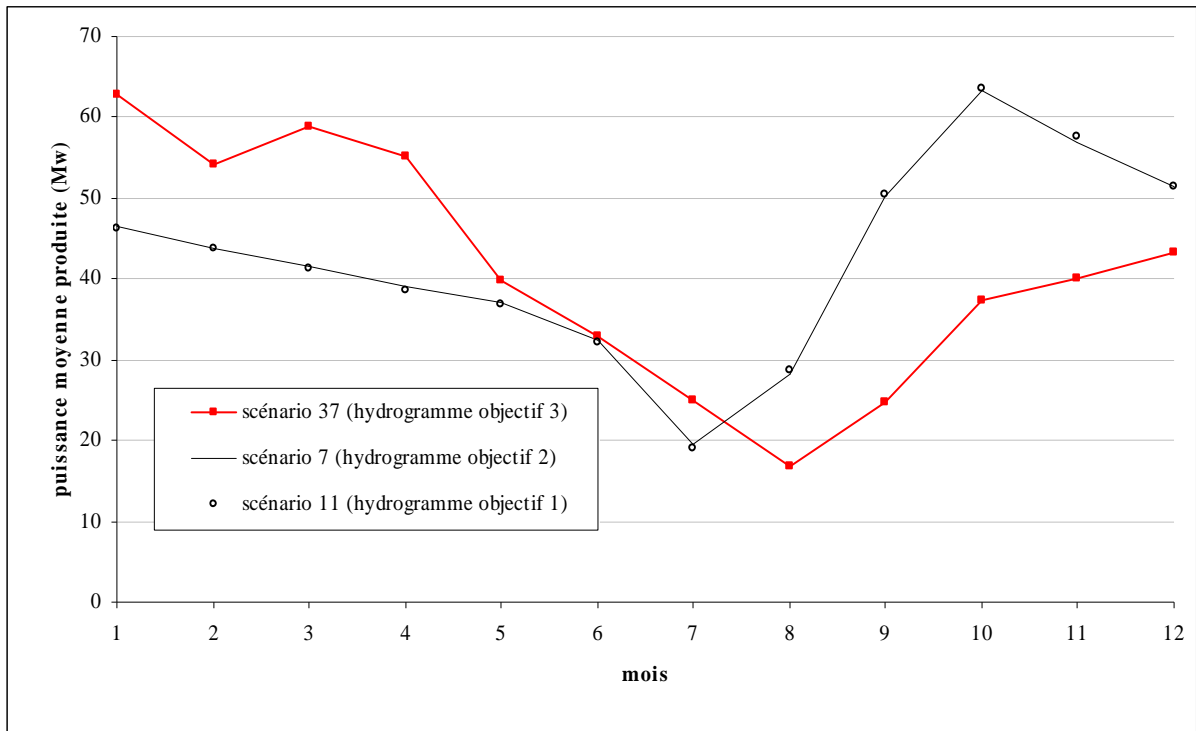


figure 22-4 : moyenne interannuelle des puissances moyennes mensuelles produites avec les trois scénarios correspondant aux valeurs suivantes de paramètres: S1 = 198 m; P = 40 Mw.

223222 Puissance moyenne mensuelle

Le tableau 22-8 donne les valeurs moyennes interannuelles des puissances moyennes produites mois par mois dans l'année. Ces valeurs sont reproduites sur la figure 22-4 pour les scénarios 37, 7 et 11.

On constate que comme pour l'énergie totale interannuelle produite, les scénarios 7 et 11 présentent quasiment les mêmes valeurs de puissance moyenne mensuelle, avec une puissance maximale produite en octobre, au moment où le lac atteint en général sa cote la plus haute, située la plupart du temps (8 années sur 10) entre 201 et 208 m. La relative faiblesse des besoins en eau d'irrigation envisagée pour ces deux scénarios induit des hydrogrammes objectifs assez réguliers, peu supérieurs à 50 m³/s. La demande de débit à lâcher de Sambangalou pour le soutien de débit à Gouloumbou augmente donc de façon lente et progressive, à mesure que les apports intermédiaires se tarissent. Cette augmentation est insuffisante pour empêcher la diminution régulière de production électrique occasionnée par l'abaissement du lac. Entre mars et juillet, le lac peut descendre en dessous de la cote 198 m et la demande de production de 40 Mw n'est donc plus prise en compte à partir de ce moment là. La production diminue jusqu'en juillet, moment où le lac atteint généralement sa cote la plus basse, située la plupart du temps (8 années sur 10) entre 194 et 199 m. Généralement avant la fin du mois d'août, le lac remonte au dessus de la cote 198 m, la production de 40 Mw étant alors de nouveau prise en compte. A mesure que le niveau du lac remonte, c'est 40 Mw qui sont produits, puis 88 Mw à partir du moment où la cote dépasse 204 m. Ce schéma de fonctionnement ne reflète qu'une situation moyenne dont la réalité s'écarte plus ou moins chaque année.

Avec le scénario 11, le lac atteint toujours son niveau maximal en octobre (entre 196 et 207 m, 8 années sur 10), mais la puissance maximale produite se situe en janvier, du fait de la combinaison d'un niveau encore haut et d'une forte demande de débit à satisfaire pour l'irrigation. Jusqu'au mois de juillet, la baisse irrégulière de production s'explique par l'abaissement du lac, combiné aux variations importantes de débit à fournir pour l'irrigation. Alors que le niveau le plus bas est généralement atteint dans le lac au mois de juillet (entre 185 et 200 m, 8 années sur 10), la plus faible production d'énergie a lieu en août, du fait de la combinaison d'une cote encore basse et d'une demande en eau très faible pour l'irrigation. Le débit nécessaire à cette époque de l'année à Gouloumbo, le plus faible de l'année, est en effet généralement dépassé grâce aux seuls apports

intermédiaires non contrôlés par le barrage. La production de puissance augmente ensuite en septembre et octobre à mesure que la cote du lac est rehaussée, puis de novembre à janvier avec l'augmentation des débits à lâcher pour atteindre l'hydrogramme objectif.

223223 Puissance moyenne journalière

Le tableau 22-9 donne la fonction de répartition des puissances moyennes journalières produites. On constate que les 88 Mw (puissance installée) sont rarement produits (fréquence inférieure à 2,5%) dans le cas des scénarios de gestion envisageant un soutien de débit important pour l'irrigation (hydrogramme objectif 3). Ceci est dû à la fois au fait qu'un tel soutien de débit est coûteux en eau et entraîne un abaissement global du niveau du lac, et au fait que ces scénarios n'envisagent une demande de production maximale de puissance qu'au dessus d'un niveau très élevé (S2 = 207 m). Même pour les autres scénarios (hydrogrammes objectifs 2 et 1), la puissance maximale est rarement produite quand le seuil S2 est fixé à 207 m. Seuls les scénarios 7 et 11 pour lesquels le seuil S2 est fixé à 204 m, voient la puissance maximale produite relativement fréquemment. (12,5% des cas). On rappelle ici que parmi les 54 scénarios testés au total, ces deux scénarios sont les deux seuls pour lesquels, tous les autres paramètres étant fixés par ailleurs, un seuil S2 de 204 m donne une meilleure production moyenne interannuelle qu'un seuil de 207 m.

Une puissance non nulle est toujours produite plus de 80 pourcent du temps, quelque soit le scénario envisagé (87,5%, 92,5% et 92,5% pour les scénarios 37, 7 et 11 respectivement)

Pour les scénarios 37, 7 et 11, la fonction de répartition des puissances moyennes journalières a été établie pour chaque jour de l'année. Les figures 22-5 à 22-7 représentent les courbes diachroniques isofréquence obtenues, pour les valeurs dépassées 1 fois sur 10, 5 fois sur 10 et 9 fois sur 10. On constate encore une fois que les scénarios 7 et 11 donnent des résultats très proches l'un de l'autre, avec une production de puissance plus forte pendant la deuxième partie de l'année que pendant la première. Le soutien de débit plus important associé au scénario 37 pour l'irrigation, conduit au résultat inverse.

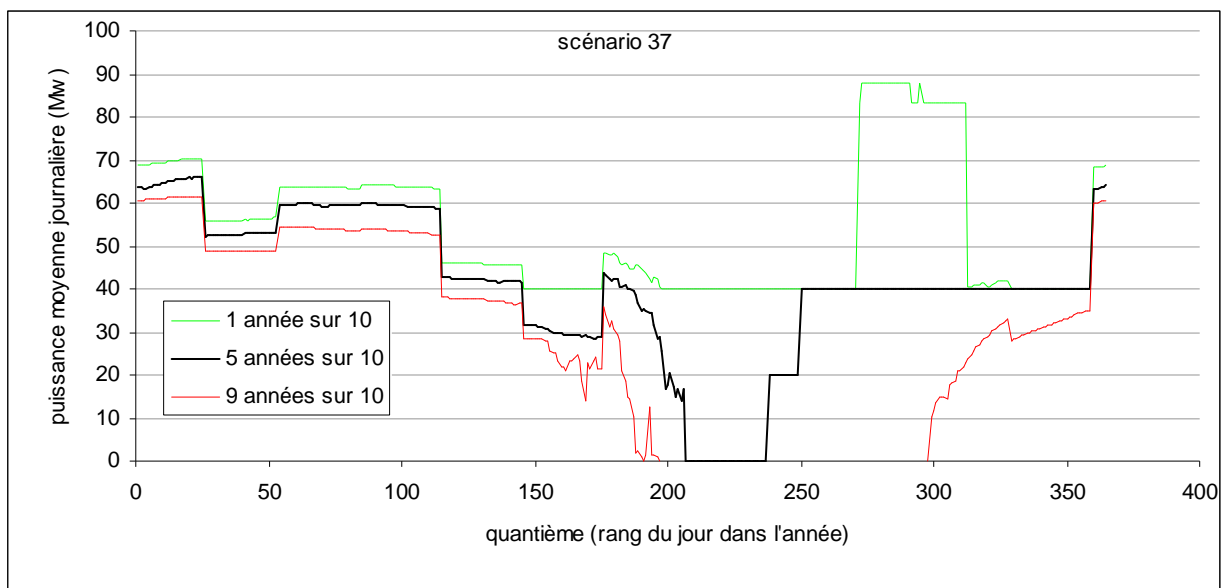


figure 22-5 : courbes isofréquence de puissance moyenne journalière produite. Scénario 37

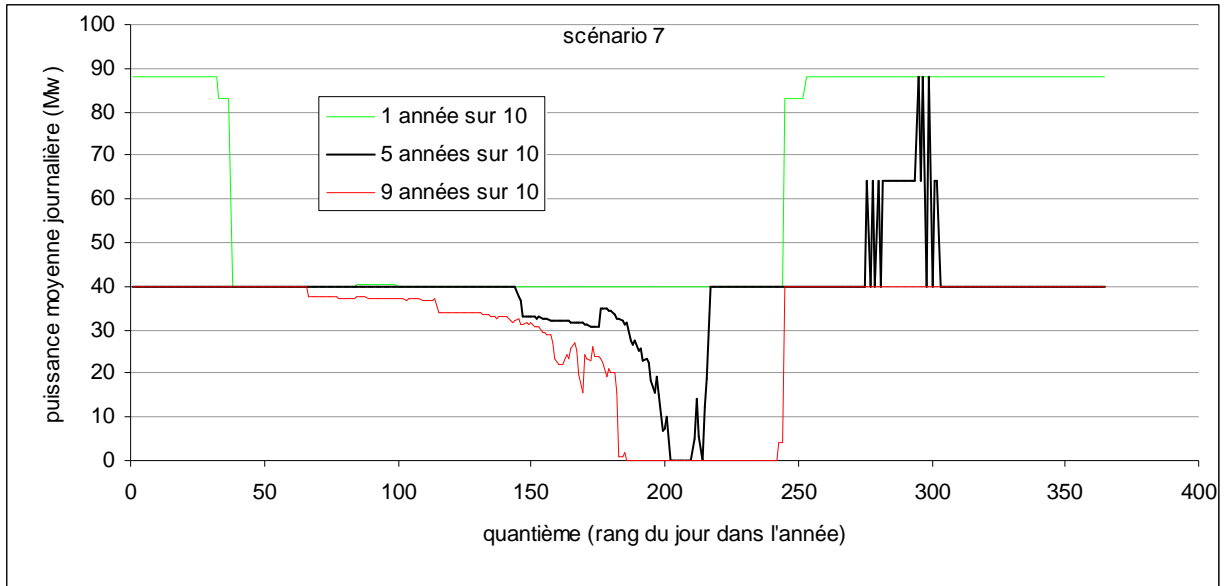


figure 22-6 : courbes isofréquence de puissance moyenne journalière produite. Scénario 7

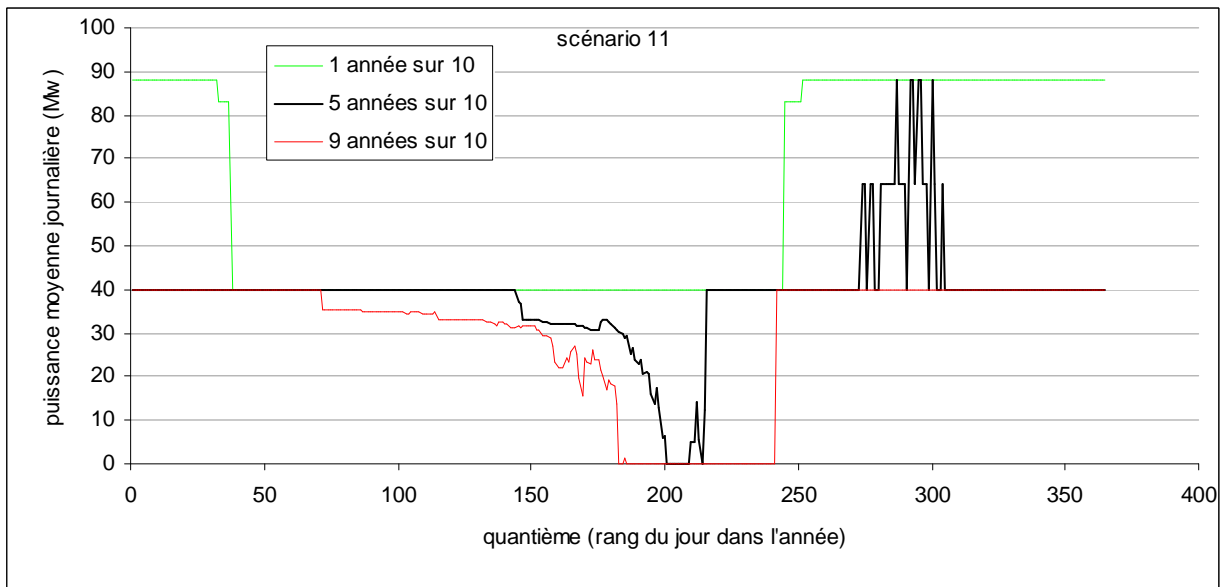


figure 22-7 : courbes isofréquence de puissance moyenne journalière produite. Scénario 11

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198		
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11		
fréquence de dépassement																													
0,975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		
0,950	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	29	0	0	0	0	0	26	0	0	29	0	0	0		
0,925	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	31	0	0	18	0	0	28	0	0	31	0	0	18		
0,900	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	19	40	0	18	34	0	14	28	0	19	40	0	19	40	0	15	28		
0,875	0	0	20	0	0	22	0	0	11	11	23	40	12	27	40	6	26	31	12	23	40	13	27	40	12	26	31		
0,850	0	11	24	0	13	26	0	0	24	19	25	40	21	28	40	22	30	33	19	25	40	22	28	40	22	30	32		
0,825	0	19	27	13	22	29	12	21	28	22	26	40	25	29	40	27	31	34	22	26	40	25	29	40	27	31	33		
0,800	17	21	29	20	24	32	21	26	30	23	27	40	27	30	40	29	32	36	23	26	40	27	30	40	29	32	34		
0,775	19	23	33	24	26	34	26	28	32	24	28	40	28	31	40	30	34	38	24	27	40	28	30	40	30	33	36		
0,750	21	26	40	25	28	38	28	30	36	25	29	40	29	32	40	31	34	40	25	28	40	28	31	40	31	33	40		
0,725	23	28	40	27	31	40	29	32	38	26	29	40	29	33	40	32	35	40	25	28	40	29	31	40	32	34	40		
0,700	25	29	40	28	33	40	30	35	40	26	31	40	30	34	40	33	36	40	26	29	40	29	32	40	32	34	40		
0,675	27	31	40	30	35	40	33	37	40	28	31	40	31	35	40	34	37	40	27	30	40	30	33	40	33	35	40		
0,650	27	37	40	32	37	40	35	39	40	28	37	40	32	37	40	35	38	40	27	37	40	30	35	40	33	36	40		
0,625	28	40	40	34	43	40	37	41	40	29	40	40	32	40	40	35	40	40	27	40	40	31	40	40	34	40	40		
0,600	30	41	40	35	46	40	39	44	40	29	50	40	33	50	40	36	50	40	28	50	40	31	50	40	34	50	40		
0,575	34	43	40	38	47	40	40	48	40	29	50	40	33	50	40	36	50	40	28	50	40	31	50	40	34	50	40		
0,550	38	45	40	41	49	40	43	50	40	30	50	40	33	50	40	37	50	40	28	50	40	31	50	40	35	50	40		
0,525	40	49	40	45	50	40	47	50	40	30	50	40	34	50	40	37	50	40	29	50	40	32	50	40	35	50	40		
0,500	40	50	40	46	50	40	50	50	40	31	50	40	35	50	40	38	50	40	29	50	40	32	50	40	35	50	40		
0,475	42	50	40	48	50	40	51	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,450	43	50	40	50	50	40	53	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,425	45	50	40	51	50	40	55	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,400	50	50	40	54	50	40	56	50	43	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,375	52	50	40	56	50	42	58	50	45	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,350	60	50	41	59	50	45	60	50	46	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,325	60	50	42	60	50	46	60	50	50	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,300	60	50	44	60	50	48	60	50	53	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,275	60	50	45	60	50	49	60	51	54	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,250	60	50	46	60	50	51	60	53	55	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,225	60	50	50	60	50	53	60	54	56	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,200	60	50	52	60	51	55	60	55	58	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,175	60	50	54	60	53	56	60	57	60	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,150	60	51	55	60	54	58	60	58	61	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40		
0,125	60	52	57	60	56	59	60	60	62	60	50	40	60	50	40	60	50	88	60	50	40	60	50	40	60	50	88		
0,100	60	53	61	60	57	61	60	61	63	60	50	41	60	50	41	60	50	88	60	50	40	60	50	40	60	50	88		
0,075	60	57	63	60	59	63	61	62	64	60	50	41	60	50	41	60	50	88	60	50	40	60	50	40	60	50	88		
0,050	60	59	64	60	61	65	62	63	67	60	50	42	60	50	88	60	50	88	60	50	40	60	50	88	60	50	88		
0,025	60	62	68	61	64	68	65	66	70	60	50	88	60	50	88	60	88	88	60	50	88	60	50	88	60	88	88		

tableau 22-9 : fonction de répartition de la puissance moyenne journalière produite (Mw) sur la période 1971-1996, pour les différents scénarios de gestion simulés

22323 Impact de la gestion sur le régime hydrologique de la Gambie à Gouloumbo

223231 Débits moyens mensuels

La moyenne interannuelle des débits mensuels a été établie pour chaque scénario simulé, ainsi que pour le régime naturel. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 22-10 ainsi que, pour les scénarios 37, 7 et 11 et le régime naturel, sur la figure 22-8. Pour le régime naturel sont présentées à la fois les valeurs observées et les valeurs modélisées. Ces dernières sont obtenues simplement en simulant une gestion qui consisterait à lâcher en permanence du barrage, un débit exactement égal au débit entrant dans la retenue.

Pour le régime naturel, la comparaison des débits mensuels moyens interannuels observés et modélisés montre que le modèle de propagation utilisé au pas de temps journalier donne de bons résultats, au moins au pas de temps mensuel.

La modification moyenne du régime résultant de la régularisation opérée par le barrage se résume très logiquement par une diminution des débits de crue de août à octobre, et une augmentation des débits d'étiage de décembre à juin. Les débits de juillet et novembre sont très peu modifiés. L'importance des modifications observées augmente avec les besoins en eau pris en compte pour l'irrigation. Les scénarios incluant l'hydrogramme objectif 3 sont par conséquent ceux qui modifient le plus le régime hydrologique du fleuve.

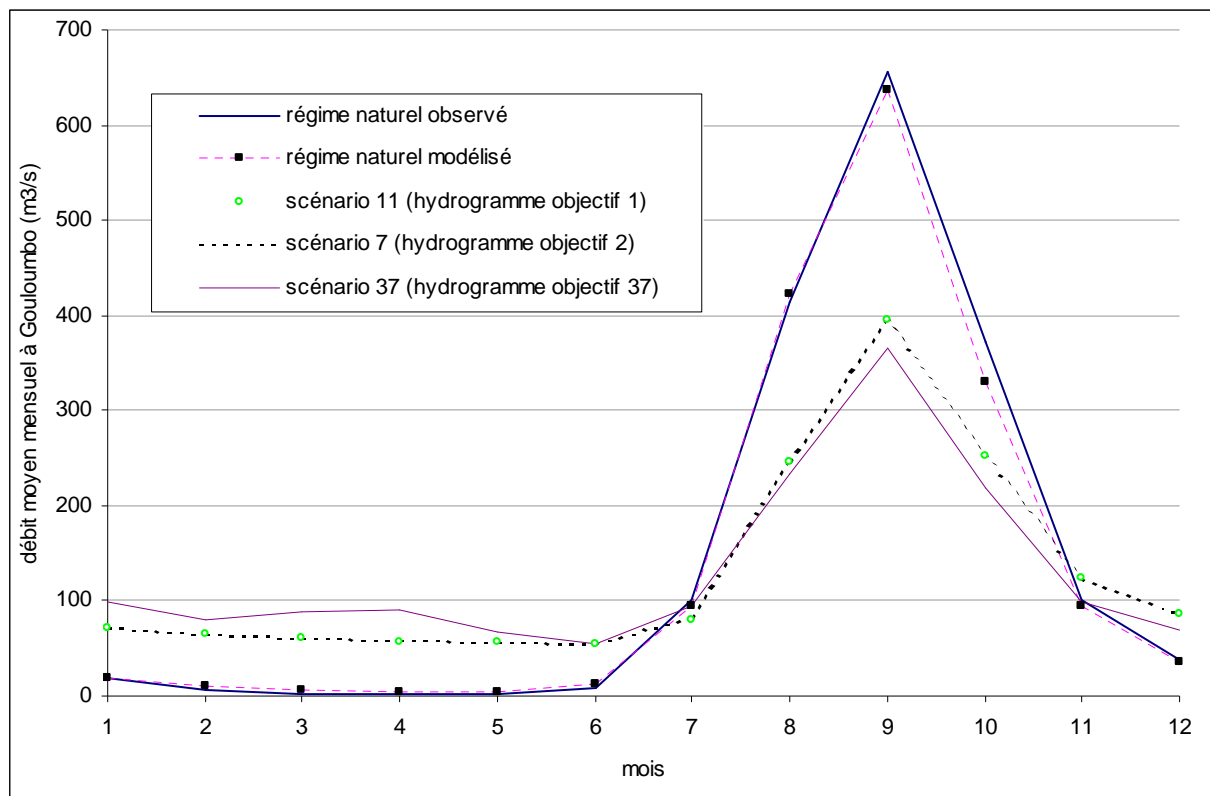


Figure 22-8 : débits mensuels moyens interannuels

Malgré le destockage d'eau obtenu dans la retenue entre l'instant final et l'instant initial des simulations, un déficit de débit moyen interannuel, pouvant aller jusqu'à 11 m³/s pour certains scénarios, est constaté à Gouloumbo en régime régularisé par rapport au régime naturel. Ce déficit est dû aux pertes par évaporation affectant la retenue. Compte tenu de l'évaporation nette moyenne

considérée sur la retenue (1860 mm/an), une perte de $11 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond à ce qu'on obtiendrait sur une superficie constante de $186,5 \text{ km}^2$, qui correspond à la cote 200,66m.

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	régime naturel	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40			
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	204			
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	modélisé	observé*	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11			
janvier	101	99	99	100	99	99	99	99	99	83	78	65	83	77	63	82	74	72	82	78	65	83	77	62	81	75	71	18	19	
février	88	82	81	86	81	81	84	81	81	76	74	63	74	72	61	71	70	66	75	74	63	73	72	61	71	70	65	10	6	
mars	92	89	89	91	89	89	89	89	89	72	70	61	71	69	59	68	67	61	70	69	61	69	68	59	66	66	61	6	3	
avril	91	89	90	91	90	90	90	90	90	69	68	61	68	66	59	66	64	59	67	66	60	66	65	58	64	63	58	4	1	
mai	71	70	67	72	71	67	69	69	67	63	64	60	62	63	58	60	60	57	62	63	59	61	62	57	59	59	56	4	1	
juin	56	62	61	55	61	59	53	56	55	61	65	61	58	63	61	56	59	55	61	65	62	58	63	61	57	59	55	13	8	
juillet	94	99	102	93	98	99	91	94	95	81	95	96	80	91	95	78	86	82	81	93	95	79	90	96	77	85	81	95	100	
août	236	240	244	232	236	240	226	230	234	241	250	261	238	247	257	235	241	245	242	250	261	239	247	257	236	242	246	423	414	
septembre	371	376	371	368	372	368	365	366	365	402	396	395	397	393	393	392	389	396	405	398	395	400	395	393	394	391	396	637	656	
octobre	242	231	226	230	221	222	223	218	218	257	243	246	251	239	250	245	241	253	258	243	246	251	239	251	246	241	253	331	372	
novembre	122	113	103	115	106	99	111	104	99	132	116	113	127	113	116	122	117	123	133	116	113	127	113	116	122	117	123	95	102	
décembre	85	83	72	84	81	70	81	77	69	100	89	76	96	86	75	91	84	86	101	89	76	96	86	75	92	84	87	35	38	
moyenne	138	136	134	135	134	132	132	131	130	136	134	130	134	132	129	131	130	130	136	134	130	134	132	129	131	130	130	140	144	

tableau 22-10 : débits moyens mensuels de la Gambie à Gouloumbo sur la période 1971-1996, pour les différents scénarios de gestion simulés et le régime naturel.

223232 Débits caractéristiques de crue

Les débits caractéristiques de crue examinés ici sont les débits qui, dans l'année, ne sont atteints ou dépassés que pendant N jours, consécutifs ou non, pour des valeurs de N fixées à 1, 5 ou 10 jours. Les valeurs obtenues pour les différents scénarios de gestion et le régime naturel (observé et modélisé) sont données, sous forme de fonction de répartition, dans les tableaux 22-11 à 22-13. Elles sont également représentées sur les figures 22-9 à 22-11, pour les scénarios 37, 7 et 11 et le régime naturel.

On remarque tout de suite que pour N = 1 jour, les caractéristiques de crue du régime naturel modélisé sont supérieures à celles du régime observé. Cette anomalie s'atténue nettement pour N = 5 jours, et disparaît quasiment pour N = 10 jours. Elle est essentiellement due à une imperfection du modèle de propagation retenu, qui sous-estime l'amortissement des pointes très brutales de débit passant à Sambangalou. Ce défaut de modélisation ne se manifeste généralement que quelques jours par an, correspondant aux pointes de débit les plus brutales. A priori, il doit affecter assez peu les résultats obtenus pour la modélisation du régime régularisé, puisque les scénarios étudiés aboutissent à de très rares exceptions près, à l'absence de débordement du barrage et donc à un laminage quasi-intégral des pointes de crue brutales. Aussi estimerons nous les modifications induites sur les débits caractéristiques de crue par la régularisation, en nous référant à un compromis entre valeurs observées et modélisées du régime naturel.

Sur les figures 22-9 à 22-11, les débits caractéristiques du régime régularisé sont représentées pour tous les scénarios confondus, à partir des valeurs les plus faibles et les plus fortes obtenues. On constate, par rapport au régime naturel, une diminution globale des caractéristiques de crue sur 1 jour et sur 5 jours, passant d'environ 200 m³/s pour les plus faibles crues, à 400 m³/s pour les plus fortes. Les résultats sont quasi-identiques pour les caractéristiques de crue sur 10 jours, avec une baisse pouvant atteindre 500 m³/s pour les plus fortes crues.

Si l'on raisonne en terme de fréquence, on voit que le débit caractéristique de crue qui est observé une année sur deux en régime naturel n'est plus observé qu'une année sur dix en régime artificiel régularisé. Inversement, le faible débit de crue qui n'était observé qu'une année sur dix en régime naturel est observé environ une année sur deux en régime régularisé. Ces résultats, assez approximatifs s'observent pour les trois valeurs de N envisagées: 1, 5 et 10 jours.

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Régime naturel	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40			
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	204			
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	modélisé	observé	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11			
fréquence de dépassement																														
0,95	303	322	319	292	292	318	292	292	309	360	355	360	351	348	354	346	343	349	370	354	360	360	347	353	355	342	349	629	481	
0,9	336	345	340	336	336	337	336	336	336	383	412	402	373	405	397	368	390	392	411	412	402	401	404	397	394	398	392	661	540	
0,85	383	383	383	383	383	383	383	383	383	415	428	447	401	427	443	390	418	425	427	428	447	425	426	443	414	422	425	691	590	
0,8	428	428	428	428	428	428	428	428	428	430	440	458	430	432	456	430	430	449	438	439	458	447	431	456	430	430	448	729	633	
0,75	434	434	437	434	434	437	434	434	434	461	481	466	459	479	466	457	476	461	461	481	466	461	479	466	457	476	461	815	656	
0,7	459	466	464	457	463	464	462	461	453	503	485	479	498	485	478	493	484	469	503	485	479	498	485	478	493	484	469	846	683	
0,65	493	486	469	490	483	469	486	482	466	514	506	492	506	500	490	499	496	480	514	506	492	506	500	490	499	496	480	890	704	
0,6	507	495	515	501	490	510	498	485	469	531	534	502	522	526	502	515	520	504	530	533	502	521	526	502	514	520	504	928	767	
0,55	560	554	549	558	554	549	557	553	549	574	561	551	560	555	551	556	552	561	581	561	551	572	555	551	556	552	561	942	794	
0,5	601	579	556	592	574	555	585	570	554	598	574	584	590	572	581	584	569	595	598	574	584	590	571	581	584	569	595	1039	815	
0,45	623	635	618	621	630	617	619	625	611	650	634	631	645	633	630	638	623	629	650	634	631	644	633	630	638	623	629	1151	915	
0,4	667	657	684	667	653	684	667	653	638	672	709	684	667	708	684	667	653	686	671	709	684	667	707	684	667	653	686	1345	953	
0,35	690	690	696	690	690	695	690	690	690	728	727	750	726	722	749	724	721	746	728	726	750	726	767	749	724	762	746	1368	1006	
0,3	760	749	740	757	749	740	754	748	740	797	777	770	790	774	769	784	770	768	796	777	770	790	787	769	784	783	768	1391	1055	
0,25	812	794	776	805	790	773	801	787	770	811	791	776	805	787	769	800	785	778	811	791	775	805	788	769	800	785	778	1426	1085	
0,2	826	807	788	817	801	783	804	790	781	825	804	781	816	798	780	810	796	834	824	803	781	816	798	780	810	796	834	1471	1110	
0,15	895	858	859	869	852	836	812	809	831	891	872	854	883	867	849	877	863	846	891	871	853	883	867	848	876	862	846	1513	1188	
0,1	933	912	893	924	907	890	831	867	887	930	908	888	922	905	886	916	901	885	929	908	888	921	905	885	915	901	885	1536	1215	
0,05	984	974	951	975	969	950	946	956	948	992	969	947	983	966	946	976	962	946	992	969	947	983	966	946	976	962	946	1589	1348	
minimum	227	227	265	227	227	227	227	227	227	227	227	283	227	227	283	227	227	284	227	227	283	227	227	283	227	227	284	405	361	
maximum	1208	1186	1167	1201	1185	1167	1196	1182	1167	1208	1183	1165	1201	1183	1165	1196	1181	1231	1208	1183	1165	1201	1183	1165	1196	1181	1231	2061	1480	

tableau 22-11 : fonction de répartition des débits caractéristiques de crue sur 1 jour de la Gambie à Gouloumbo, relatifs au régime naturel et et différents scénarios de gestion simulés, sur la période 1971-1996

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Régime naturel	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40			
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	204			
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	modélisé	observé	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11			
fréquence de dépassement																												486	443	
0,95	286	284	300	268	277	274	263	263	268	312	308	329	311	307	323	309	305	303	313	308	329	311	308	323	309	306	320	486	443	
0,9	304	304	304	304	304	304	304	304	304	345	357	368	340	348	366	337	329	335	349	357	368	345	352	366	338	346	360	562	492	
0,85	321	321	321	321	321	321	321	321	321	367	390	382	360	378	381	351	366	378	369	390	382	361	383	381	354	378	378	570	567	
0,8	342	342	342	342	342	342	342	342	342	397	392	392	380	384	388	360	379	387	399	392	392	389	385	388	373	379	387	639	580	
0,75	364	364	366	364	364	364	364	364	364	401	406	404	397	404	401	395	389	399	406	408	404	405	406	401	394	403	399	672	615	
0,7	367	367	379	367	367	376	367	367	376	413	422	414	404	414	411	407	408	412	415	426	414	422	421	411	408	410	412	682	630	
0,65	372	395	400	372	395	400	369	373	392	419	427	422	417	422	422	417	418	421	430	435	422	423	429	422	421	418	421	751	665	
0,6	414	431	422	420	407	422	417	403	404	433	438	429	423	438	423	423	437	422	433	439	429	423	438	423	433	437	422	786	704	
0,55	427	450	443	436	447	438	437	444	432	481	466	443	470	459	437	463	452	438	481	466	443	472	458	437	465	454	438	814	753	
0,5	455	484	471	451	480	471	456	469	470	522	506	484	509	503	484	502	496	497	525	506	484	517	503	484	505	501	497	819	770	
0,45	509	514	491	498	500	491	472	489	491	535	534	520	526	528	516	520	508	522	537	537	520	529	531	515	520	524	544	864	859	
0,4	539	542	543	525	514	536	525	511	500	571	554	535	564	549	531	558	544	553	571	554	535	564	548	531	558	544	553	970	919	
0,35	574	559	553	542	546	553	537	543	549	582	570	570	580	569	570	578	564	583	582	570	570	580	569	570	578	564	583	1071	995	
0,3	599	591	603	598	591	603	598	591	594	639	624	602	632	622	602	626	611	608	639	624	602	632	622	602	626	611	608	1093	1040	
0,25	655	639	626	651	639	626	648	638	625	697	673	653	689	672	653	670	669	665	697	673	653	689	672	653	684	669	665	1111	1050	
0,2	712	689	665	702	684	665	695	680	664	711	691	670	704	686	668	693	684	683	711	691	669	703	686	668	698	684	683	1155	1070	
0,15	728	710	692	720	705	688	714	701	685	736	719	696	728	712	693	713	704	734	736	718	696	728	711	693	721	707	734	1265	1145	
0,1	803	779	764	776	772	756	763	758	752	802	779	766	793	776	761	787	773	790	802	778	766	793	776	761	787	773	790	1307	1200	
0,05	832	805	795	788	802	784	773	793	781	835	814	820	825	808	818	817	803	815	834	814	820	825	808	818	818	803	815	1454	1317	
minimum	194	194	223	194	194	194	194	194	194	194	194	250	194	194	250	194	194	251	194	194	249	194	194	249	194	194	251	368	355	
maximum	1075	1054	1033	1068	1052	1033	1063	1049	1033	1074	1049	1062	1068	1049	1062	1062	1048	1063	1074	1049	1062	1068	1049	1062	1062	1048	1063	1527	1440	

tableau 22-12: fonction de répartition des débits caractéristiques de crue sur 5 jours de la Gambie à Gouloumbo, relatifs au régime naturel et et différents scénarios de gestion simulés, sur la période 1971-1996

Hypothèse de besoins en eau pour l'irrigation	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Régime naturel	
puissance P demandée	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40			
Seuil St2	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	204	207	207	207	207	207	207	207	207	204			
Seuil de turbinage St1	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	186	186	186	192	192	192	198	198	198	modélisé	observé	
rang du scénario	16	17	18	25	26	27	35	36	37	19	20	21	29	30	31	38	39	7	22	23	24	32	33	34	41	42	11			
fréquence de dépassement																														
0,95	234	235	235	231	233	233	230	230	232	248	248	291	248	246	289	246	245	261	250	248	291	248	246	289	246	245	261	394	401	
0,9	278	279	279	272	276	276	270	270	273	319	318	321	314	327	317	309	315	316	323	331	321	314	328	317	310	322	316	533	431	
0,85	299	299	299	299	299	299	299	299	299	334	342	349	331	348	349	324	334	349	346	365	349	336	361	349	331	347	349	545	514	
0,8	302	302	302	302	302	302	302	302	302	359	356	363	347	356	358	329	348	354	365	373	363	353	373	358	339	359	354	566	555	
0,75	321	312	312	316	311	311	312	311	310	365	367	367	354	366	360	342	352	357	372	378	367	364	377	360	347	372	357	617	574	
0,7	325	335	329	329	337	329	327	335	329	372	379	370	368	374	363	367	366	358	379	383	370	373	379	363	368	373	358	636	601	
0,65	340	348	353	342	353	353	341	348	351	378	384	381	376	378	379	376	373	375	388	393	381	385	380	379	380	374	375	648	621	
0,6	365	387	386	365	372	386	363	364	385	411	403	390	409	403	385	402	402	386	416	403	390	409	403	384	409	402	386	686	638	
0,55	387	415	415	396	412	410	396	402	396	430	434	409	433	428	409	427	421	414	443	437	409	434	431	409	427	424	414	712	701	
0,5	422	428	428	420	428	428	405	417	428	473	465	448	464	462	448	461	459	462	475	467	448	467	464	448	461	462	462	757	733	
0,45	433	457	439	429	455	439	426	442	439	488	474	459	480	468	455	475	464	472	488	480	459	480	474	455	474	470	476	793	807	
0,4	468	488	461	460	480	460	453	467	457	503	482	489	494	477	479	487	472	479	503	501	489	494	496	489	487	488	484	837	892	
0,35	487	496	496	481	496	495	477	496	493	529	513	501	527	511	493	523	508	505	529	513	501	527	511	497	522	508	505	883	908	
0,3	538	531	523	538	531	523	527	531	523	564	541	526	557	539	526	548	538	549	564	541	526	557	539	526	548	538	549	938	964	
0,25	581	563	549	570	563	549	544	554	549	628	615	593	618	610	591	609	599	591	628	614	593	620	610	591	609	599	591	964	987	
0,2	596	622	615	588	617	610	582	612	595	650	632	610	632	626	608	625	621	615	649	632	610	641	625	607	625	620	615	1056	1040	
0,15	671	652	637	662	647	636	651	642	627	670	654	633	661	647	632	655	640	652	670	654	633	661	651	632	655	640	652	1091	1071	
0,1	736	717	699	723	714	696	703	710	694	735	714	731	728	711	727	723	708	738	735	714	731	728	711	727	723	708	738	1147	1172	
0,05	751	734	726	731	730	726	727	727	723	796	778	786	790	774	785	769	770	772	796	778	787	789	773	786	784	770	772	1277	1255	
minimum	166	166	186	166	166	169	166	166	166	166	176	221	166	173	221	166	171	222	166	182	221	166	182	221	166	173	222	331	332	
maximum	864	842	822	857	840	822	851	837	822	864	838	832	856	838	832	851	836	887	864	838	832	856	838	832	851	836	886	1363	1370	

tableau 22-13 : fonction de répartition des débits caractéristiques de crue sur 10 jours de la Gambie à Gouloumbo, relatifs au régime naturel et et différents scénarios de gestion simulés, sur la période 1971-1996

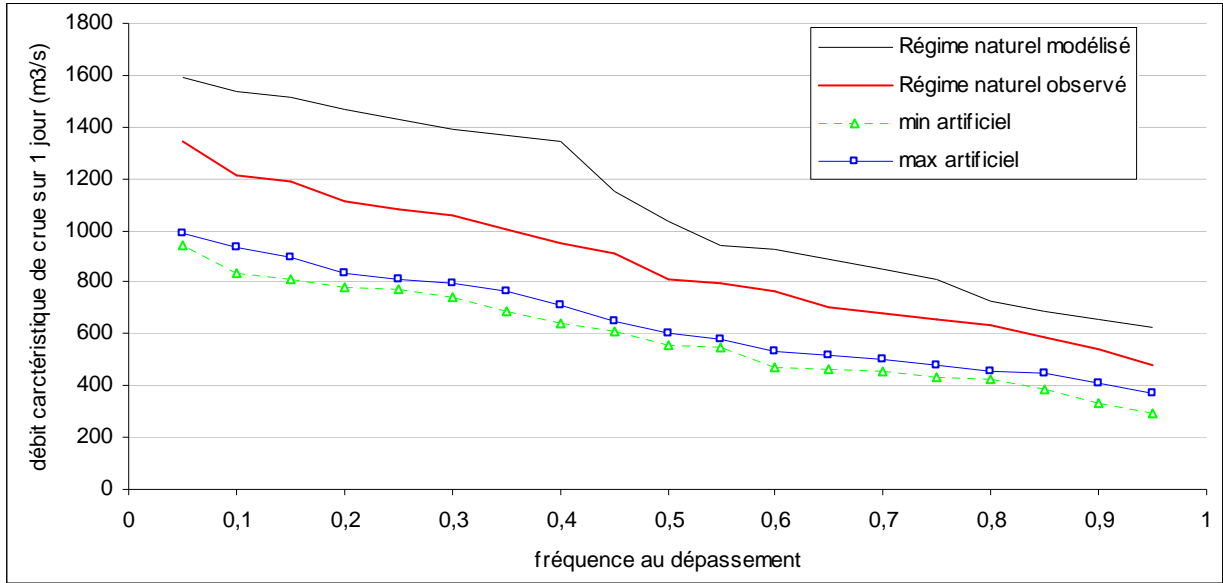


figure 22-9: fonction de répartition du débit caractéristique de crue sur 1 jour

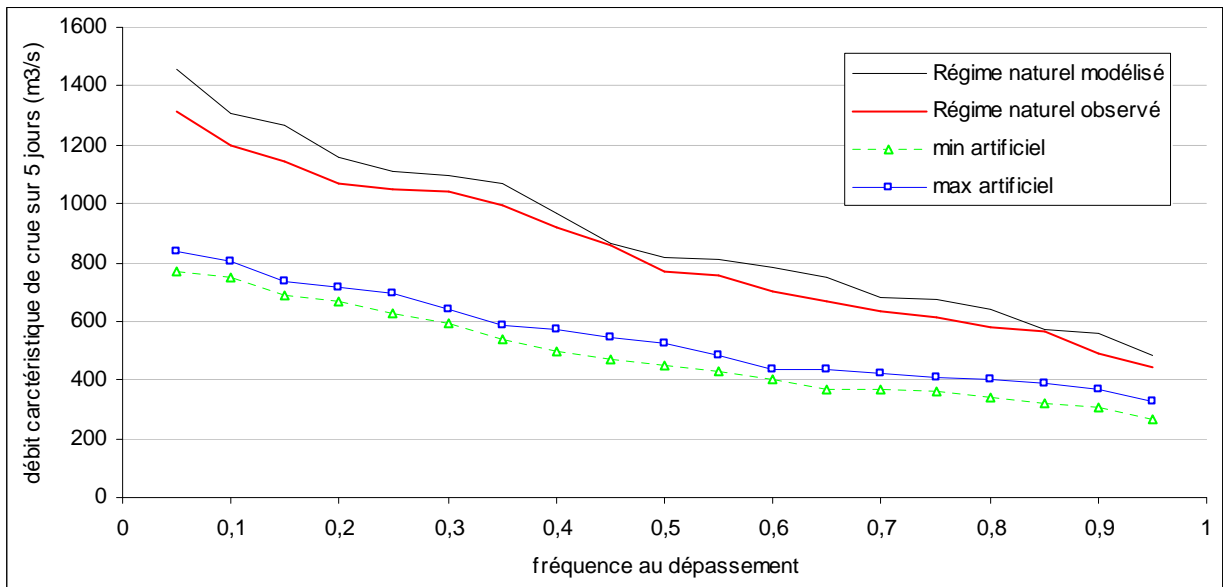


figure 22-10: fonction de répartition du débit caractéristique de crue sur 5 jours

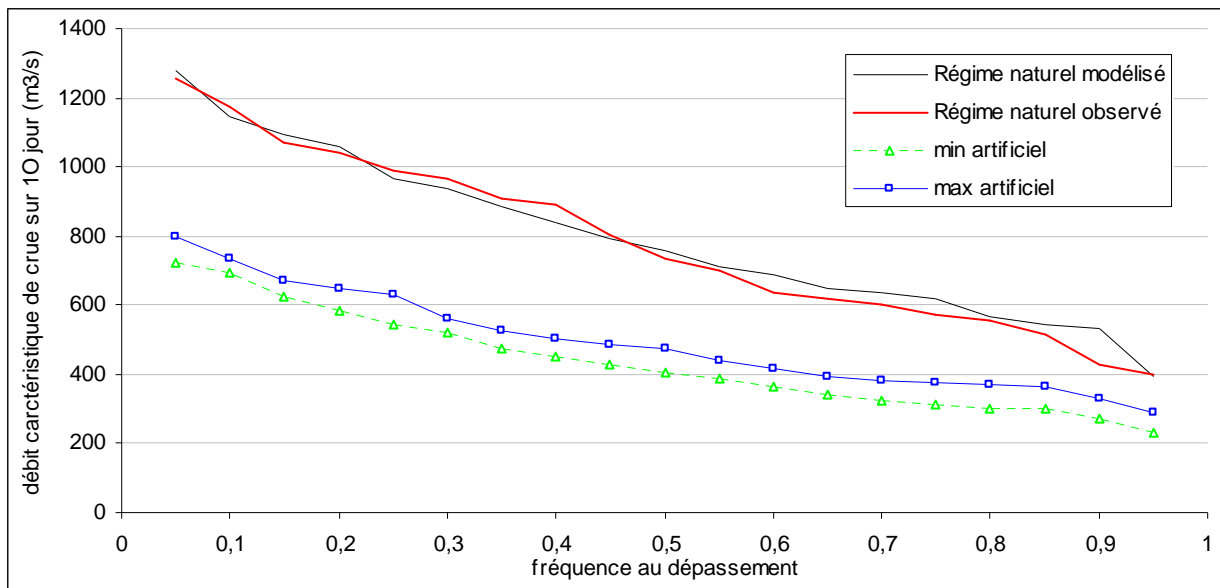


figure 22-11: fonction de répartition du débit caractéristique de crue sur 10 jours

2233 Conclusion

A deux exceptions près correspondant à des consignes insuffisamment économes en eau, tous les scénarios envisagés permettent de satisfaire sans défaillance les besoins en eau des cultures irriguées, à la fois en quantité et en qualité d'eau, y compris dans le cas où toutes les zones à fort potentiel seraient exploitées.

Parmi les scénarios testés, ceux qui donnent la meilleure production moyenne d'énergie (environ 360 Gw h par année), sont associés à des consignes de gestion de l'ouvrage permettant de maintenir un niveau globalement élevé dans la retenue. Ceci est réalisable à condition de ne demander une production de puissance, pas trop forte, qu'à partir du moment où la cote dans le lac est suffisamment haute. Selon les besoins en eau à satisfaire pour les cultures irriguées, les meilleurs scénarios testés portent les numéros 37, 7 et 11.

Les résultats concernant la modification du régime hydrologique à Gouloumbo sont assez semblables pour les différents scénarios: réhaussement des débits d'étiage et abaissement des débits de crue. L'impact augmente avec le débit régularisé nécessaire pour les cultures irriguées. Approximativement, le débit caractéristique de crue (sur 1, 5 ou 10 jours) médian en régime naturel devient décennal fort en régime régularisé, alors que le débit caractéristique décennal faible devient médian. La forme globale de l'hydrogramme régularisé reste toutefois inchangée par rapport au régime naturel, avec une pointe de débit mensuel intervenant généralement en septembre, du fait de la part relativement importante des apports intermédiaires non contrôlés par le barrage.

Aucun soutien de crue n'a pour le moment été envisagé parmi les consignes de gestion simulées. Il semble néanmoins souhaitable de l'intégrer dans quelques scénarios à tester ultérieurement, afin d'estimer la perte de production d'énergie entraînée par cette mesure, ainsi que ses effets éventuels sur la quantité et la qualité de l'eau disponible pour l'irrigation. Ces impacts négatifs du soutien de crue devront être mis en regard de son impact positif sur le plan écologique, qui dépendra à la fois de l'ampleur et de la fréquence du soutien réalisé.

Annexe 22A : liste des stations hydrométriques

Stations réelles

nom abrégé de la station	nom de la station	nom du cours d'eau	numéro
Diagu	Pont routier	Diaguéry	1381200110
Diarh	Pont routier	Diarha	1381201203
Goumb	Goumbayel	Nieriko	1381201410
Kedou	Kedougou	Gambie	1381200108
Mako	Mako	Gambie	1381200112
Missg	Missirah Gonasse	Koulountou	1381201305
Nioko	Pont PNNK	Niokolokoba	1381201903
Parcg	Parc gué du PNNK	Koulountou	1381201303
Samban	Sambangalou	Gambie	
Sili	Pont routier	Sili	1381202203
Simen	Simenti	Gambie	1381200117
Tioko	Pont	Tiokoye	1381202503
Wasam	Wassadou amont	Gambie	1381200118
Wasav	Wassadou aval	Gambie	1381200119

Stations fictives utilisées pour la reconstitution de données manquantes

Nom abrégé de station fictive, somme de stations 1, 2 et 3	station 1	station 2	station 3
Sildiag(j)	Sili(j)	Diagu(j)	
Tidini(j)	Tioko(j)	Diarh(j)	Nioko(j)
Tionio(j)	Tioko(j)	Nioko(j)	

Stations fictives utilisées pour la modélisation de la propagation de débit entre Sambangalou et Gouloumbo

Nom abrégé de station fictive, somme de stations 1, 2, 3, 4 et 5	station 1	station 2	station 3	station 4	station 5
Sambdia(j)	Samban(j)	Diagu3(j+1)			
Matidin(j)	Mako3(j)	Tioko4(j+1)	Diarh4(j+1)	Nioko3(j+1)	
Wasparc(j)	Wasav1(j)	Parc2(j)			
InterA(j)	Mako(j+1)	- Samban(j)	- Diagu(j+1)		
InterB(j)	Wasav(j+3)	- Mako(j)	- Tioko(j+1)	- Diarh(j+1)	- Nioko(j+1)
InterC(j)	Goulo(j+2)	- Wasav(j)	- Parcg(j)		

Annexe 22B : Valeurs très douteuses ou manifestement erronées, supprimées de la banque de données

Les données supprimées sont indiquées par dates ou plages de dates :

Gambie à Mako : 6--7/8/70 ; 31/12/73 ; 1--19/6/76 ; 30/9--2/10/79 ; 1--30/6/91 ; 11/10/91 ; 18--19/2/93 ; 11/9/93 ; 23--25/12/93 ; 2--3/2/96

Gambie à Kédougou : 1/1/80 ; 6--31/1/88 ; 20--31/8/88 ; 1/9/88 ; 4--13/10/88 ; 30/4--20/6/93 ; 31/5--1/6/97

Gambie à Wassadou amont : 2--6/10/86 ; 7--30/11/86 ; 1/9--4/10/89 ; 7--15/10/90 ; 5--7/11/91 ; 5--7/9/92 ;

Gambie à Wassadou aval : 1/1--30/4/89 ; 9--14/8/90

Gambie à Gouloumbo : 13/10/76 ; 2--4/10/80 ; 1/8--30/09/81 ; 18--24/3/83 ; 15--19/8/90 ; 1--31/10/91 ; 13/3--4/4/92 ; 1--31/5/92 ; 1--3/2/95 ; 10--12/9/96

Gambie à Génoto : 15/9--5/10/73 ; 10/7/78 ; 8--31/10/78 ; 21--31/8/79 ; 16--30/9/79 ; 18--19/8/81 ; 1--10/9/81 ; 11/8/82

Tiokoye au Pont : 21/10--30/11/86 ; 10--31/10/92

Niokolokoba au pont du PNNK : 1/1--31/12/87 ; 1/8--30/9/90

Koulountou au Parc, gué du PNNK : 1/1--31/12/79 ; 20/9--1/11/80 ; 1/1/83--28/2/87 ;

Koulountou à Missirah Gonasse : 15--17/6/88 ; 21/8/88 ; 1/8--4/9/90 ; 17/12/91--15/1/92 ; 4/10/93

Gambie à Simenti : 5--21/10/78 ; 10/10/90

Diarha au pont routier : 24/6--31/7/86

Sili au pont routier : 1--30/9/88

Niériko au pont routier : 1/7--30/9/91

Annexe 22C : Corrélations linéaires inter-stations

rang de la relation	nom abrégé de station prévisande	nom abrégé de station préviseur1	nom abrégé de station préviseur2	Ad : année de début	Af : année de fin	D1: décalage du préviseur 1	D2: décalage du préviseur 2	inf1: borne inférieure sur les débits du préviseur 1	sup1: borne supérieure sur les débits du préviseur 1	N : nombre de couples ou de triplets	moyenne des débits de la station prévisande	écart-type des débits de station prévisande	C1	C2	C	R : coefficient de corrélation	Ecart-type résiduel sur l'ensemble des débits	Ecart-type résiduel sur tronçon de débit	
1	kedou	mako		70	96	-1		0	100	6185	15,5	21,4	0,929		0,3	0,966	22,9	5,5	
	kedou	mako		70	96	-1		100	200	870	127,7	29,8	0,811		10,9	0,778			18,7
	kedou	mako		70	96	-1		200		1261	333,4	143,4	0,727		38,3	0,922			55,4
2	kedou	mako	diagu	74	93	-1	-1			5601	79,2	126,8	0,852	-0,252	2,8	0,987	20,7		
3	kedou	mako	sildiag	74	93	-1	-1			4470	84,9	128,3	0,858	-0,323	3,1	0,987	20,8		
4	sildiag	kedou	mako	74	93	1	0	0	100	3204	1,3	2,6	-0,011	0,075	-0,2	0,725	18,5	1,8	
	sildiag	kedou	mako	74	93	1	0	100	300	914	15,0	11,9	-0,142	0,201	-1,2	0,740			8,0
	sildiag	kedou	mako	74	93	1	0	300		354	68,6	90,0	-0,151	0,464	-104,9	0,700			64,3
5	diagu	kedou	mako	74	93	1	0	0	100	4130	1,0	2,3	0,005	0,054	-0,2	0,699	17,5	1,6	
	diagu	kedou	mako	74	93	1	0	100	300	1060	13,7	10,5	-0,097	0,154	-1,0	0,717			7,3
	diagu	kedou	mako	74	93	1	0	300		417	63,6	85,6	-0,080	0,401	-107,8	0,677			63,0
6	mako	kedou	sildiag	74	93	1	0	0	100	3204	22,2	28,9	1,061	1,009	-0,2	0,973	23,2	6,6	
	mako	kedou	sildiag	74	93	1	0	100	200	607	164,5	40,9	0,984	1,904	0,5	0,881			19,4
	mako	kedou	sildiag	74	93	1	0	200		665	409,8	170,4	1,064	0,535	18,6	0,946			55,3
7	mako	kedou		70	96	1		0	100	6321	18,8	27,2	1,132		-0,4	0,963	29,1	7,3	
	mako	kedou		70	96	1		100	200	905	164,9	43,9	1,193		-6,4	0,778			27,6
	mako	kedou		70	96	1		200		1088	433,4	181,3	1,198		3,7	0,912			74,5
8	tidini	mako	simen	74	91	0	-1	0	150	2939	5,1	11,8	-0,176	0,289	0,0	0,792	17,2	7,2	
	tidini	mako	simen	74	91	0	-1	150	400	599	60,5	40,6	-0,176	0,303	-0,5	0,761			26,3
	tidini	mako	simen	74	91	0	-1	400		281	140,7	60,7	-0,065	0,236	-13,2	0,673			44,9
9	tionio	mako	simen	71	91	0	-1	0	150	3649	3,4	8,2	-0,175	0,227	0,2	0,760	11,5	5,3	
	tionio	mako	simen	71	91	0	-1	150	400	744	40,4	29,8	-0,157	0,230	-0,3	0,757			19,5
	tionio	mako	simen	71	91	0	-1	400		320	94,9	37,0	-0,051	0,150	3,9	0,671			27,4
10	tioko	diarh		74	92	0		0	10	4442	2,1	5,2	1,574		0,1	0,699	8,5	3,7	
	tioko	diarh		74	92	0		10		1038	35,3	24,2	0,682		15,2	0,672			17,9
11	diarh	tioko		74	92	0		0	10	4236	1,2	3,3	0,951		0,2	0,624	8,2	2,6	
	diarh	tioko		74	92	0		10		1246	24,8	23,7	0,741		0,4	0,714			16,6
12	nioko	mako	simen	70	91	1	0			5013	6,5	16,1	-0,091	0,114	-0,2	0,769	10,3		
12a	nioko	mako	simen	70	91	1	0	0	200	4137	2,0	6,0	-0,140	0,143	0,3	0,645	10,3	4,6	
	nioko	mako	simen	70	91	1	0	200		882	27,3	27,8	-0,085	0,112	-1,2	0,594			22,4
13	tioko	mako	simen	71	91	0	-2			6016	8,0	17,4	-0,007	0,078	-0,8	0,903	7,5		
13a	tioko	mako	simen	71	91	0	-2	0	200	5105	2,4	6,1	-0,064	0,109	-0,2	0,785	7,4	3,8	
	tioko	mako	simen	71	91	0	-2	200		916	39,0	25,5	0,007	0,074	-3,7	0,754			16,8
14	simen	mako		70	91	2		0	150	5419	32,2	52,1	1,353		-1,9	0,938	51,5	18,0	
	simen	mako		70	91	2		150		1318	476,8	260,8	1,313		27,0	0,906			110,6
15	simen	mako	tidini	74	91	2	1			3812	139,0	236,7	0,968	1,757	0,3	0,988	36,9		
15a	simen	mako	tidini	74	91	2	1	0	300	3390	69,3	110,5	1,034	1,533	-1,3	0,980	33,6	21,9	
	simen	mako	tidini	74	91	2	1	300	600	343	628,7	187,1	1,229	1,724	-92,1	0,921			72,8
	simen	mako	tidini	74	91	2	1	600		81	1000,8	172,3	0,484	1,556	375,0	0,803			102,7
16	simen	mako	tionio	71	91	2	1			4704	136,5	229,2	0,992	2,420	0,7	0,987	36,8		
17	simen	mako	nioko	70	91	2	0			5011	138,9	229,6	1,215	2,318	0,8	0,979	46,8		

18	simen	mako	tioko	71	91	2	0			6021	119,8	214,3	1,113	2,892	-0,8	0,982	40,6	
19	simen	mako	diarh	74	91	2	0			4825	125,9	22,2	1,180	2,725	-1,1	0,980	44,4	
19a	simen	mako	diarh	74	91	2	0	0	150	3811	33,0	54,0	1,250	1,629	-1,9	0,950	44,0	16,8
	simen	mako	diarh	74	91	2	0	150		1019	473,6	263,9	1,139	2,922	10,6	0,940		90,0
20	wasam	simen		70	91	1				6724	118,9	209,5	0,976		3,2	0,993	25,1	
21	simen	wasam		70	91	-1				6724	118,6	213,1	1,010		-1,5	0,993	25,6	
22	wasam	wasav		73	95	0				6404	116,6	208,2	0,985		0,9	0,998	12,8	
23	wasav	wasam		73	95	0				6404	117,4	210,9	1,011		-0,5	0,998	13,0	
24	goumb	wasav	wasam	77	95	-4	-4			2230	0,5	1,8	-0,003	0,005	0,2	0,274	1,7	
25	goumb	nioko		77	91					2046	0,5	1,8	0,028		0,3	0,239	1,8	
26	goulo	wasav	parcg	74	87	2	2			1301	116,4	198,9	1,022	0,862	13,9	0,995	20,3	
27	missg	wasav	goulo	73	94	1	-1			5741	31,1	52,1	-0,104	0,292	-2,3	0,982	9,8	
28	goulo	wasav	missg	73	94	2	1			5741	156,7	249,2	0,711	1,942	12,1	0,995	25,3	
28a	goulo	wasav	missg	73	94	2	1	0	150	4387	43,6	49,6	0,863	1,374	11,9	0,964	24,8	13,3
	goulo	wasav	missg	73	94	2	1	150		1361	521,2	282,8	0,671	2,024	24,0	0,987		45,0
29	goulo	wasav		73	96	2				6130	156,8	250,4	1,147		18,3	0,985	43,6	
29a	goulo	wasav		73	96	2		0	200	4911	51,9	64,2	1,269		12,8	0,945	42,4	21,0
	goulo	wasav		73	96	2		200		1224	578,0	275,6	1,075		59,8	0,951		85,2
30	parcg	missg		74	87	-3				1336	16,7	35,5	0,830		0,1	0,883	16,7	
31	Wasav	goulo		73	96	-2				6121	120,6	215,1	0,847		-12,1	0,986	35,8	
31a	Wasav	goulo		73	96	-2		0	200	4665	24,3	39,7	0,835		-10,2	0,935	35,5	14,1
	Wasav	goulo		73	96	-2		200		1457	429,2	253,8	0,876		-31,7	0,963		68,3
32	Goulo	Wasparc		74	87	2				1301	116,4	198,9	0,997		13,7	0,995	20,5	
A	Mako3	Sambdia		70	96	1				9780	86,1	155,2	1,072		2,8	0,986	25,5	
Aa	Mako3	Sambdia		70	96	1		0	50	6712	10,5	13,4	1,101		0,0	0,959	22,7	3,8
	Mako3	Sambdia		70	96	1		50	300	2315	163,1	84,9	1,188		-8,4	0,956		24,9
	Mako3	Sambdia		70	96	1		300		753	523,8	168,1	0,865		107,9	0,914		68,3
B	Wasav1	Matidin		70	96	3				9532	117,1	215,9	1,104		2,4	0,977	45,7	
C	Goulo3	Wasparc		70	97	2				9533	149,6	249,2	0,963		14,1	0,990	34,8	

Annexe 22D : Opérations effectuées pour la reconstitution des données manquantes

Nom du fichier complété	Méthode utilisée	Nom du fichier original	Nom du fichier de la station prévisseur 1	Nom du fichier de la station prévisseur 2	année de début	année de fin	Nombre de valeurs reconstituées
Kedou1	Reg 2	Kedou	Mako	Diagu	1974	1993	157
Kedou2	Reg 1	Kedou1	Mako		1970	1996	55
Kedou3	Interp (8)						21
Mako1	Reg 6	Mako	Kedou	Sildiag	1974	1993	275
Mako1	S (110993)	Mako1					-1
Mako2	Reg 7	Mako1	Kedou3		1970	1997	1150
Mako2	S (110993)	Mako2					-1
Mako3	Interp (2)	Mako2					1
Sildia1	Reg 4	Sildiag	Kedou	Mako			3831
Sildia1	S (280979;250985;011085;26--290792;13--140880;3108--040980;11--140988;13--230880;07--100883)	Sildia1					-34
Diagu1	Diff.	Diagu	Sildia1	Sili	1974	1996	1082
Diagu2	Reg 5	Diagu1	Kedou3	Mako3	1974	1996	2712
Diagu2	S (290792)	Diagu2					-1
Diagu3	Interp (2)						1
Simen1	Reg 15a	Simen	Mako3	Tidini	1974	1991	169
Simen2	Reg 16	Simen1	Mako3	Tionio	1971	1991	46
Simen3	Reg 18	Simen2	Mako3	Tioko	1971	1992	756
Simen3	S (0103--310589)	Simen3					-92
Simen4	Reg 19	Simen3	Mako3	Diarh	1974	1992	132
Simen4	S (0103--310589)	Simen4					-92
Simen5	Reg 17	Simen4	Mako3	Nioko	1970	1991	89
Simen6	Reg 14	Simen5	Mako3		1970	1997	1939
Simen7	Taris (0,0258)	Simen6					86
Simen8	Interp (4)	Simen7					3
Tidini1	Reg 8	Tidini	Mako3	Simen8	1970	1997	5906
Tionio1	Reg 9	Tionio	Mako3	Simen8	1970	1997	4967
Tionio1	S (0102--230671;0101--130689;011190--030791)	Tionio1					-552
Diarh1	Diff.	Diarh	Tidini1	Tionio1	1970	1997	3931
Diarh1	S (13--230785;07--130889;011089--300790)	Diarh1					-321
Diarh2	Reg 11	Diarh1	Tioko		1971	1992	386
Diarh3	Taris (0,0342)	Diarh2					277
Diarh4	Interp (11)	Diarh3					20
Nioko1	Reg 12a	Nioko	Mako3	Simen8	1970	1997	4536
Nioko1	S (1801--200671;0101--130689;0101--300690;011190--030791)	Nioko1					-744
Nioko2	Taris (0,0342)	Nioko1					765
Nioko3	Interp (4)	Nioko2					3
Tioko1	Reg 13a	Tioko	Mako3	Simen8	1970	1997	2761
Tioko1	S (0105--310790;1510--311291)	Tioko1					-170
Tioko2	Taris (0,0342)	Tioko1					220
Tioko3	Interp (5)	Tioko2					3
Tioko3	S (1510--311291)	Tioko3					-78
Tioko4	Taris	Tioko3					78
Wasam1	Reg 22	Wasam	Wasav		1973	1996	406
Wasam2	Reg 20	Wasam1	Simen8		1970	1997	1423
Wasav1	Reg 23	Wasav	Wasam2		1970	1997	3127
Wasav1	S (010596--311297)	Wasav1					-610
Wasam2	S (010596--311297)	Wasam2					-610
Wasav2	Reg 31a	Wasav1	Goulo		1970	1997	204
Wasav2	S (0101--311297)	Wasav2					-365
Wasam3	Reg 22	Wasam2	Wasav2		1996	1996	126
Wasam4	Reg 20	Wasam3	Simen8		1996	1997	278

Wasam4	S (08--100996;0101--311297)	Wasam4						-368
Wasam5	Interp (4)	Wasam4						3
Wasav3	Reg 23	Wasav2	Wasav5		1996	1997		119
Goulo1	Reg 28a	Goulo	Wasav3	Missg	1970	1994		982
Goulo2	Reg 29a	Goulo1	Wasav3		1970	1997		470
Goulo2	S (15--190890)	Goulo2						-5
Goulo3	Interp (6)	Goulo2						19
Missg1	Reg 27	Missg	Wasav3	Goulo3	1970	1997		1423
Parcg1	Reg 30	Parcg	Missg1		1970	1997		8442
Parcg2	Taris	Parcg1						6

Signification des méthodes utilisées :

Reg n : Régression linéaire de rang n (selon classification de l'annexe 22C) à partir des prévisseurs 1 et 2

Taris (k) : courbe exponentielle de tarissement, avec coefficient k exprimé en jour⁻¹

Taris : courbe exponentielle de tarissement, avec coefficient k ajusté automatiquement pour relier les débits encadrant la lacune

S : suppression de données reconstituées de façon non satisfaisante (dates, ou plages de dates indiquées entre parenthèses)

Interp (n) : interpolation linéaire sur les lacunes de durée inférieure ou égale à n jours

Diff : différence de débit entre prévisseurs 1 et 2

Remarque :

Les fichiers complétés dont le nom est sur fond grisé sont complets sur la période 1971-1996

Annexe 22E : Configuration du réseau de stations utilisée dans les simulations

Paramètres de la station hydrométrique de rang 1 :

numéro	:	1400023
Nom	:	Entree Sambang
valeurs à calculer	:	NON
Données connues pour les calculs	:	OUI
Coefficient de tarissement	:	non défini
Débits NON PREVISIBLES a partir de Station(s) de l'amont		

Paramètres de la station hydrométrique de rang 2 :

numéro	:	1400021
Nom	:	Sortie SAMBANG
valeurs à calculer	:	OUI
Données connues pour les calculs	:	NON
Coefficient de tarissement	:	non défini
Débits NON PREVISIBLES a partir de Station(s) de l'amont		

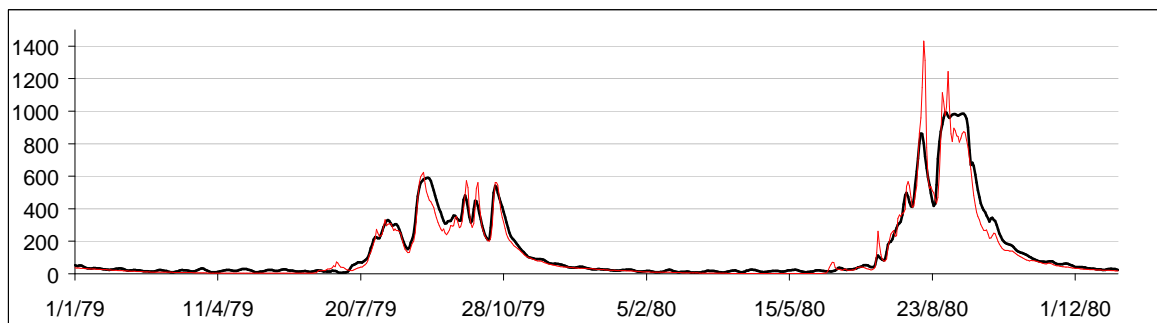
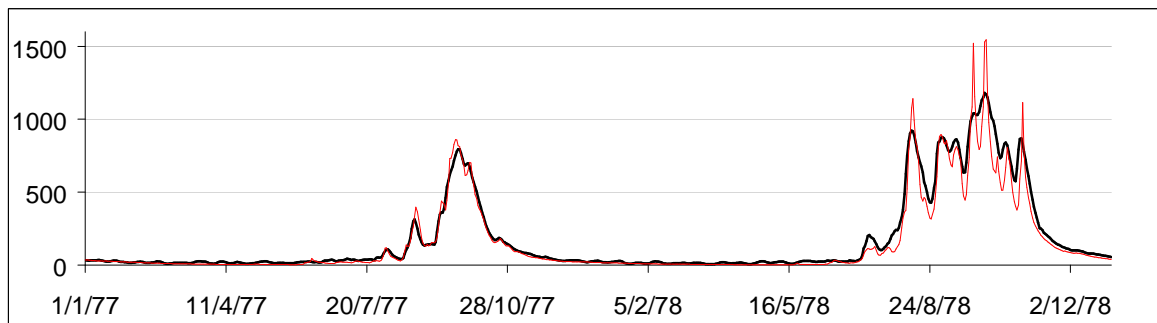
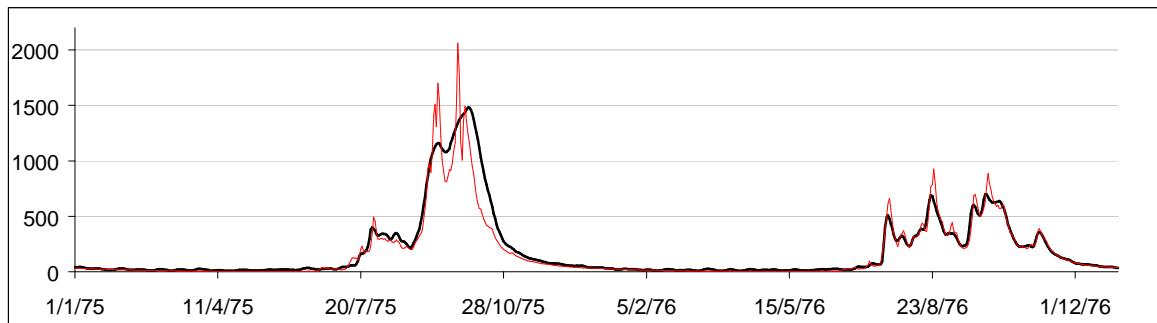
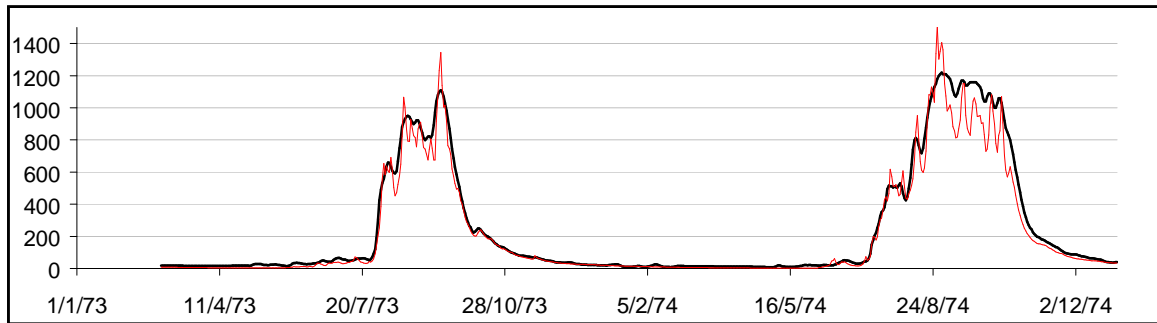
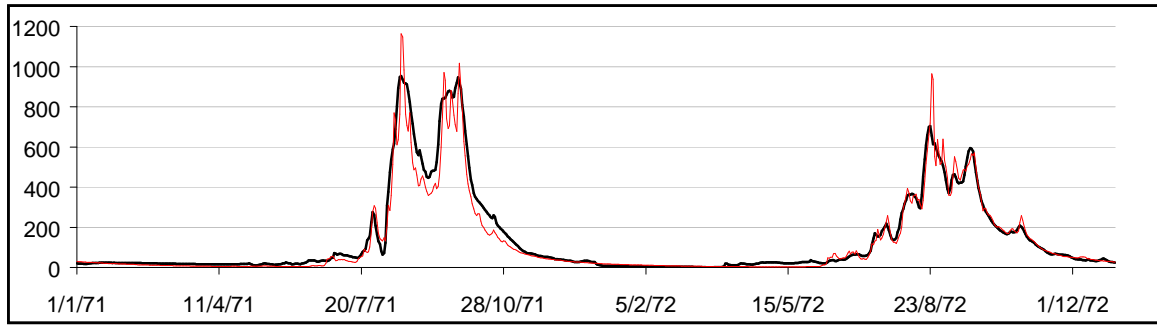
Paramètres de la station hydrométrique de rang 3 :

numéro	:	1300000
Nom	:	Interm SambGoul
valeurs ... calculer	:	NON
Données connues pour les calculs	:	OUI
Coefficient de tarissement	:	non défini
Débits NON PREVISIBLES a partir de Station(s) de l'amont		

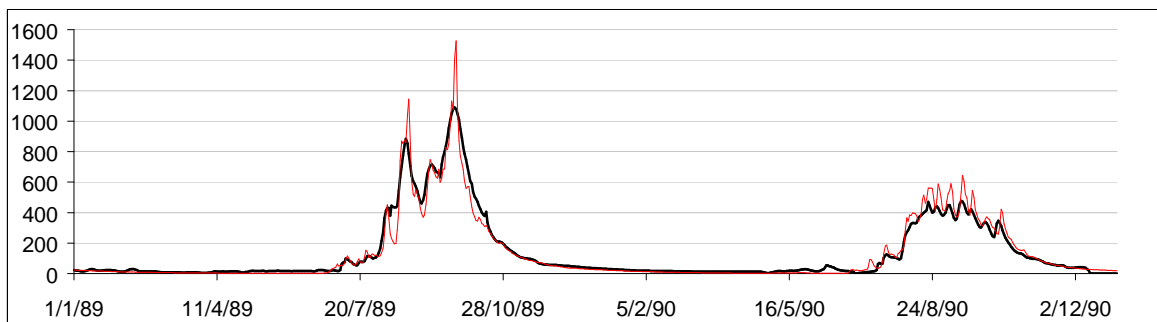
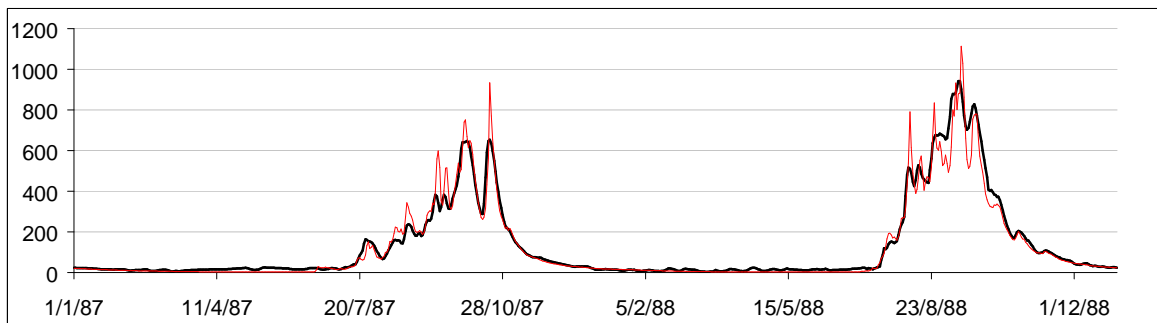
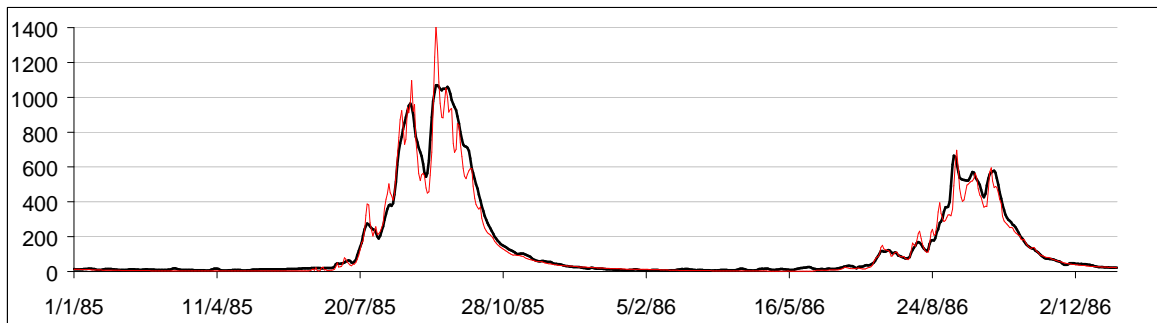
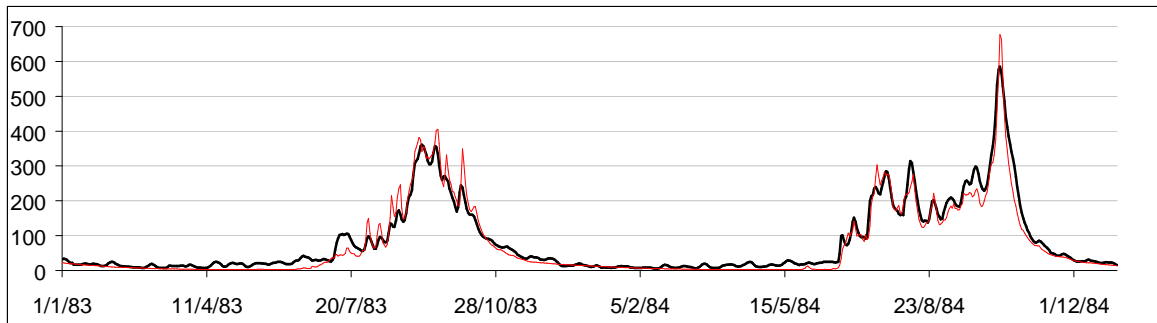
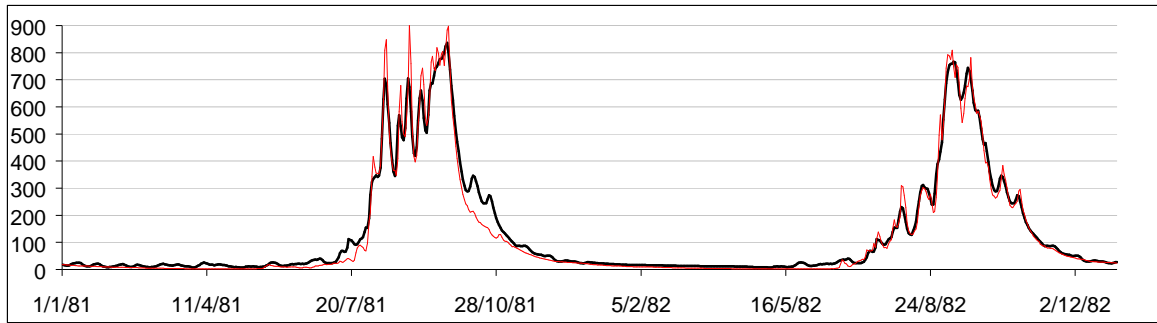
Paramètres de la station hydrométrique de rang 4 :

numéro	:	1000003
Nom	:	Gouloumbo
valeurs ... calculer	:	OUI
Données connues pour les calculs	:	NON
Coefficient de tarissement	:	non défini
Numéros des deux stations prévisseurs	:	1400021 et 1300000
Décalage de temps entre prévisseurs	:	0
Coeff multiplicateur du prévisseur 2	:	1.00
calcul de type : $A_v=f(A_{m1},A_{m2})$		
débit amont (m3.s-1)	:	0 5000
débit aval (m3.s-1)	:	0 5000
temps de propagation (jour)	:	6 6

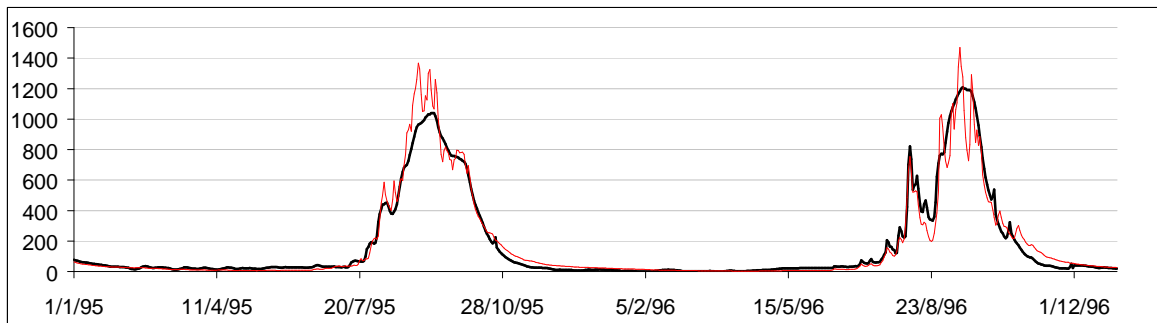
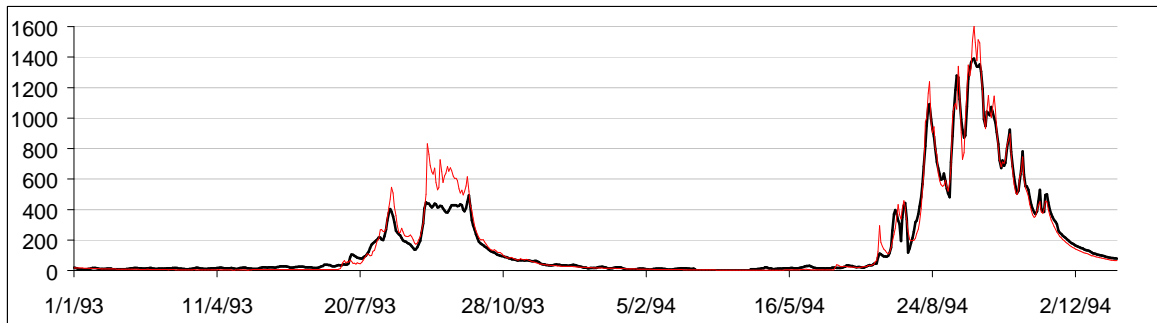
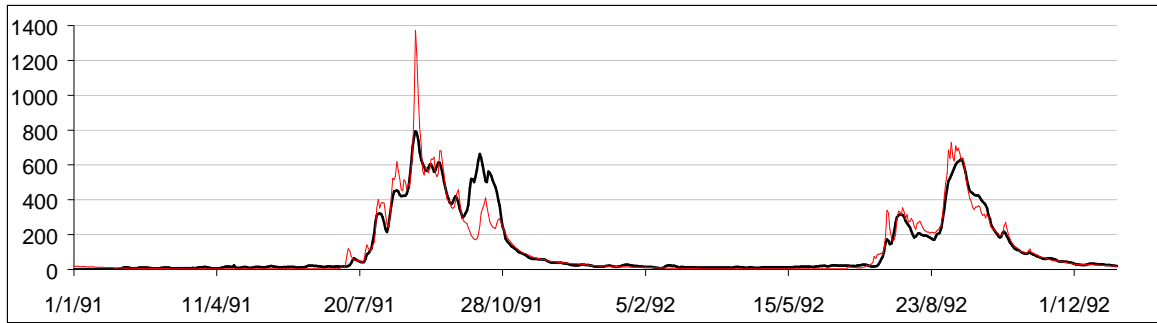
Annexe F : débits de la Gambie à Gouloumbo en régime naturel



— régime naturel observé à Gouloumbo — régime naturel modélisé



— régime naturel observé à Gouloumbo — régime naturel modélisé



— régime naturel observé à Gouloumbo — régime naturel modélisé

Annexe 22G : Caractéristiques du barrage et de la retenue

Courbes de remplissage de la retenue :

Cote (m)	144	145	150	160	170	180	185	190	195	200	205	210	215	220
volume (106 m3)	0	4	29	179	533	1177	1635	2298	2975	3806	4800	5961	7293	8806
Cote (m)	144	145	150	160	170	180	185	190	195	200	205	210	215	220
Superficie (km2)	2	3	8	24	48	82	102	121	151	182	216	249	284	321

Evacuation maximale par déversoir et vidange de fond :

Cote amont (m)	144	150	160	170	180	190	200	202	204	206	208	210	212
Debit (m3 s-1)	209	233	269	300	329	355	379	384	492	685	934	1228	1560

Evacuation minimale par déversoir :

Cote amont (m)	208,1	208,5	209	209,5	210	210,5	211	211,5
Debit (m3 s-1)	0	59	130	205	286	372	463	560

Loi hauteur-débit en aval du barrage :

Cote (m)	122	123	124	125	126	128	130	132	134	136
Debit (m3 s-1)	0	35	111	218	352	693	1119	1623	2199	2843

Débit maximal turbiné par groupe :

Chute (m)	52,49	65,62	75,46	85,3
Debit (m3 s-1)	55	62	63	56

Cote maximale admise dans la retenue : 209,3 m

Nombre de turbines : 2

Puissance minimale développée par groupe : 9,7 Mw

Puissance maximale développée par groupe : 44 Mw

Evaporation nette mensuelle (mm) :

mois	janv	fevr	mars	avri	mai	juin	juil	aout	sept	octo	nove	dece
Evaporation	216	238	309	302	276	93	0	0	0	80	163	183

Rendement d'une turbine en fonction de la chute (m) et du débit (m³/s) :

	Charge	52,5	65,6	75,5	85,3
debit					
20		85	88	89	88
25		88	90	91	91
30		90	92	93	93
35		92	94	94	94
40		93	95	95	95
45		93	95	95	95
50		94	95	96	96
55		93	95	96	95
60		93	95	95	95
65		93	94	94	95