

EXPERTISE sur DOCUMENTS du DEBIT REGULARISABLE par le RESERVOIR
de SOBRADINHO sur le RIO SAO FRANCISCO

par

Pierre DUBREUIL

Chef du Département de la Recherche Appliquée
au Service Hydrologique de l'ORSTOM

1. Le CADRE de l'EXPERTISE

Il est défini par la situation et les projets d'équipement hydro-électrique du SAO FRANCISCO, par l'énoncé du problème posé et par l'ampleur des documents disponibles.

1.1. - L'équipement hydro-électrique du SAO FRANCISCO

Deux ouvrages construits et deux projets à court terme.

La retenue de TRÊS MARIAS sur le haut SAO FRANCISCO (50 000 km²) avec 19 km³ pourrait assurer, avec moins de 2 % de risque de défaillance, un débit minimal de 1 150 m³/s en aval de JOAZEIRO (520 000 km²).

L'usine de PAULO AFONSO construite en plusieurs étapes (P.A. I en 1949, P.A. II en 1961 et P.A. III en 1967), et située à l'entrée du cours inférieur du SAO FRANCISCO (600 000 km²), n'a qu'une petite retenue de 15.10⁶m³, apte à la régulation journalière.

Le 1er projet envisagé est celui de MOXOTO, juste amont de PAULO AFONSO. Une retenue de 1 km³ y assurera une régulation hebdomadaire et pourrait élever à 1 250 m³/s le débit minimal de 1 150 m³/s, cité précédemment.

Le 2ème projet est celui de SOBRADINHO, gros réservoir de plusieurs dizaines de km³, situé en amont de JOAZEIRO, destiné à assumer une régularisation interannuelle élevée du débit pour les ouvrages situés en aval, déjà cités ou en projet à plus long terme (XINGO ...).

1.2. - Le problème posé

La CHESF vient de réaliser deux programmes de calcul sur ordinateur IBM 1130 qui ont les buts suivants :

- a) déterminer les volumes d'un réservoir pour divers débits choisis a priori entre le module et le minimum ;
- b) déterminer pour diverses capacités de réservoir choisies, les valeurs du débit régularisable et de la hauteur moyenne effective de chute.

Ces deux programmes de simulation de gestion de réservoir ont été appliqués à la série des débits journaliers calculés à l'usine de PAULO AFONSO de 1960 à 1968 et aux caractéristiques topographiques du site de SOBRADINHO.

Quelle valeur attribuer à ces résultats ? Tel est le problème qui nous a été posé. Ceci se justifie aisément par le fait qu'il existe déjà plusieurs études de simulation de SOBRADINHO dont les résultats sont apparemment en contradiction avec ceux de la CHESF.

Notre expertise se limite donc au débit régularisable à SOBRADINHO et ne porte pas, par exemple, sur le débit de crue maximale, les transports solides ou l'opportunité de choisir le site de SOBRADINHO plutôt qu'un autre ... questions débattues dans d'autres études mais sur lesquelles notre avis n'a pas été sollicité.

1.3. - Les documents consultés

Outre les données de la CHESF traitées sur ordinateur, nous avons pu consulter la plupart des études et rapports effectués par divers organismes et bureaux d'études sur l'aménagement du SAO FRANCISCO. Dans ces divers documents, les données de base sont les débits moyens mensuels à JOAZEIRO et à TRES MARIAS de 1929 à 1960. Or ces données ont été élaborées à partir des données d'observation originales que nous n'avons pu voir et au sujet desquelles nous sommes contraints d'accepter l'avis critique porté dans ces rapports, sans vérification possible. Or l'on verra plus loin que le point de divergence résiduel sur la valeur du débit régularisé à SOBRADINHO tient à la qualité et à la précision des observations et mesures de terrain. La portée de notre expertise s'en trouve quelque peu limitée.

2. EXAMEN COMPARATIF des DIVERSES DETERMINATIONS du DEBIT REGULARISABLE

2.1. - Les résultats bruts

Le programme CHESF n° HD 02 sur ordinateur donne les résultats suivants :

- module 1960-68 à PAULO AFONSO $\bar{Q}_{PA} = 4\ 020\ m^3/s$
- simulation journalière sur 1960-68 avec consigne de descente de la cote de la retenue limitée à 40 % de la cote maximale
- volume total du réservoir : 35 km³
- volume utile du réservoir : 29,2 km³
- débit régularisable SOBRADINHO $Q_{RS} = 3\ 535\ m^3/s$
- chute moyenne effective : 25,1 m

Les études antérieures ont été faites par HIDROSERVICE (HS 17 - R6 - 63) et par LASA TECNOSOLO (1962), elles donnent les résultats suivants:

- module naturel 1929-60 à JOAZEIRO $Q_{JZn} = 2\ 808\ m^3/s$
- module influencé par TRÊS MARIAS (1929-60) à JOAZEIRO $Q_{JZi} = 2\ 776\ m^3/s$
- simulation mensuelle sur 1929-60 avec même consigne de descente limitée
- volume total du réservoir : $37,2\ km^3$
- volume utile du réservoir : $29,7\ km^3$
- débit régularisable $Q_{RS} = 2\ 050\ m^3/s$
- chute moyenne effective : $25,3\ m$

En faisant croître la capacité à partir de $10\ km^3$, l'étude de la CHESF permet de constater qu'au-delà de $35\ km^3$ environ le débit régularisable ne croît presque plus, d'où le choix de cette valeur limite comme premier élément du projet de SOBRADINHO et le fait que nous la prendrons comme base comparative.

On note que la hauteur moyenne effective de la chute sort avec des valeurs identiques, mais que pour tous les autres résultats les divergences sont telles qu'elles exigent une analyse et une recherche de leurs causes.

2.2. - Les causes de divergence

Les divergences portent sur deux caractéristiques de l'écoulement, module et débit régularisable qui, bien que liées, ont des réactions partiellement indépendantes sous l'effet de la simulation.

Ainsi la régularisation se fait-elle à un niveau égal à 88 % du module, selon la CHESF, et seulement à 74 % dans les autres études.

Le module 1929-60, calculé comme étant sous l'influence de la retenue de TRÊS MARIAS, ressort à JOAZEIRO comme égal seulement à 69 % de celui calculé sur 1960-68 à PAULO AFONSO alors que les conditions d'écoulement laissent prévoir des valeurs voisines aux deux stations (bassin intermédiaire de $80\ 000\ km^2$ recevant moins de 600 mm de pluie par an, sans cours d'eau permanent).

Le débit régularisé dans les anciennes études atteint juste 58 % de celui calculé par la CHESF.

Les causes de ces divergences sont au moins de 2 ordres, et imputables aux différences entre les données utilisées et entre les méthodes de simulation.

2.2.1. - Les données utilisées

La période de 9 ans - 1960-68 - à PAULO AFONSO est trop courte pour bien caractériser le régime hydrologique et ne contient aucune année très sèche ce qui est ennuyeux pour évaluer la capacité d'un réservoir de régularisation interannuelle.

La période 1929-60 à JOAZEIRO, avec 32 ans est assez longue pour caractériser le régime ; en outre elle contient deux ensembles triennaux secs : 1933-35 avec un module réduit à 83 % et 1953-55 avec 68 % seulement du module des 32 ans. Cette dernière série fut la plus sévère observée dans tout le nord-est et sa période de retour a été approximativement évaluée à plus de 50 ans. C'est évidemment sur elle que peut reposer avec le plus de sécurité toute détermination de régularisation interannuelle.

2.2.2. - Les méthodes de simulation

La simulation sur les débits journaliers utilisés par la CHESF est bien plus précise que celle qui opère seulement sur les débits mensuels, mais il est difficile de dire quel effet cela peut-il avoir sur le débit régularisé.

L'évaporation estimée entre 2 280 et 2 750 mm/an, selon les rapports, pour la région de SOBRADINHO n'a été prise en compte que dans les études anciennes. L'hypothèse très séduisante de la CHESF, selon laquelle la présence de grandes et nombreuses retenues accroît le taux d'humidité de l'air, réduit l'évaporation, forme des nuages et favorise la pluie, tournant positivement le bilan "pluie - évaporation", demande avant d'être adoptée une vérification sérieuse par plusieurs années de mesure sur certains sites. Nos propres études sur le JAGUARIBE (CEARA) jusqu'en 1965 n'ont pas fait apparaître de réduction de l'évaporation sur les retenues contrôlées.

Aujourd'hui, par mesure de sécurité, nous conseillons de continuer à tenir compte de l'évaporation dans les calculs de simulation.

2.3. - Essais de correction des divergences

2.3.1. - Hydraulicité

Sans année sèche et avec une année abondante en 1960 (s'y produisit la plus forte crue et la seule connue dont l'origine de la pointe fut le bassin intermédiaire en aval de JOAZEIRO) la série 1960-68 à PAULO AFONSO est d'hydraulicité excédentaire, mais de combien ?

Sans les 3 années sèches 1953-55, la période 1929-60 aurait été excédentaire de 3,5 % à JOAZEIRO. En ajoutant les mêmes 3 années à la série de PAULO AFONSO, on baisse le module de 13 % (de 5 % avec la seule année 1955).

On trouve dans la série 1929-30 à JOAZEIRO, 9 années de 1943 à 1951 dont l'hydraulicité est excédentaire de 26 %.

Nous avons grossièrement refait la simulation sur base mensuelle en supposant que 1953-55 n'ayant pas encore été observés, on s'appuie sur l'autre période sèche 1933-35. Le débit régularisé passe à 2 250 m³/s environ, donc augmente de 10 %.

Rien ne permettant d'affirmer qu'à PAULO AFONSO il y ait eu autour de 1965 une série aussi sévère que 1933-35, on peut sans risque supposer que la série 1960-68 a une hydraulicité excédentaire d'environ 10 %.

On peut conseiller d'appliquer cette correction d'hydraulicité au module \bar{Q}_{PA} et au débit régularisable Q_{RS} , qui deviennent respectivement dans l'étude CHESF :

$$\bar{Q}_{PA} = 3\ 600\ m^3/s \quad ; \quad Q_{RS} = 3\ 180\ m^3/s$$

2.3.2. - Evaporation

Selon HIDROSERVICE, la simulation montre une consommation moyenne de 260 m³/s par an due à l'évaporation. Mais cette consommation fut calculée à partir d'une base de 2 750 mm/an trop élevée et sans tenir compte, semble-t-il, de la variation de la surface de la retenue.

Nous estimons d'après nos études sur le JAGUARIBE (OROS) que l'évaporation sur une retenue de plus de 20 mètres ne doit pas beaucoup excéder 2 000 mm/an, chiffre que nous conseillons ici bien que le pouvoir évaporant soit supérieur à JOAZEIRO (climat plus sec).

En admettant une consommation grossièrement proportionnelle, on supposera que, au minimum, celle-ci doit être de 190 m³/s et que son effet n'agit que sur le débit régularisable.

Ainsi, en introduisant le bilan "pluie - évaporation" dans la simulation, peut-on estimer très approximativement que Q_{RS} descendrait à 3 000 m³/s.

2.3.3. - Comparaison de résultats homogènes

Les corrections d'hydraulicité et d'évaporation devraient donner des résultats homogènes donc comparables entre les deux simulations.

Dans l'étude CHESF, la régularisation se fait maintenant à 83 % du module, mais reste supérieure de 9 % à celle des études précédentes (égale à 74 %), preuve peut-être d'une sous-estimation de l'effet d'années sèches sur les simulations.

Le module à PAULO AFONSO est encore supérieur de 825 m³/s à celui de JOAZEIRO. Or les apports du bassin intermédiaire sont faibles. En appliquant les normes d'écoulement que nous avons mises au point pour le JAGUARIBE à 8 bassins de 10 000 km² recevant 600 mm de pluie annuelle, on trouve 40 mm, valeur certainement un peu forte pour ce bassin intermédiaire de 80 000 km². Cela donne 100 m³/s. Il subsiste un écart entre modules de 725 m³/s mal explicable.

Quant aux débits régularisables, leur écart a diminué mais l'ancien reste encore égal à 68 % seulement de celui de l'étude CHESF (2 050 contre 3 000).

On peut avancer deux remarques à ce stade de l'examen comparatif :

- a) l'imprécision des mesures à l'origine des données pourrait expliquer l'écart résiduel ;
- b) une simulation sur base journalière à partir de données sur une longue période est nécessaire pour mieux associer les résultats de l'étude CHESF et leur donner plus de poids.

2.4. - Essai de calcul d'erreur

Un calcul d'erreur ne peut être tenté qu'après un examen minutieux des méthodes d'observation des cotes, de mesures et de calculs des débits tant à JOAZEIRO qu'à PAULO AFONSO. Cet examen exige la disponibilité des données originales et requiert beaucoup de temps. N'ayant ni les unes ni l'autre, nous ne pouvons que procéder à une esquisse de ce que serait un bon calcul d'erreur.

Tout d'abord l'écart résiduel entre modules, à savoir 725 m³/s entre 2 775 et 3 500 m³/s (3 600 - 100), représente :

- a) soit une sous-estimation de 20 % de JOAZEIRO conjuguée à une incertitude de 5 % de PAULO AFONSO ;

- b) soit une surestimation de 17 % de PAULO AFONSO conjuguée à une incertitude de 5 % de JOAZEIRO ;

sachant que l'on appelle ici incertitude la marge minimale de précision que puisse atteindre un ensemble d'observations et de mesures en l'une ou l'autre des stations.

A première vue, il est difficile d'accepter l'hypothèse a) ou l'hypothèse b) et la réalité doit plutôt se situer à mi-chemin, c'est-à-dire avec une répartition de l'écart.

N'ayant pu ni consulter les documents bruts de JOAZEIRO ni en faire une rapide critique, nous sommes contraints d'adopter le point de vue d'HIDROSERVICE selon lequel cette station donne de bons résultats, les meilleurs du bassin du SAO FRANCISCO. Des jaugeages y auraient été faits depuis 1929 régulièrement et la relation hauteurs-débits unique prouverait que la station est stable. Selon la qualité des lectures d'échelle, la précision des débits à JOAZEIRO doit se situer entre 5 et 10 %.

Avec l'hypothèse assez pessimiste de précision à ± 10 %, le module à JOAZEIRO se situerait entre 2 500 et 3 050 m³/s.

A PAULO AFONSO, le débit est calculé en additionnant le débit turbiné, le débit déversé et le débit évacué par les vannes de fond.

Le modèle réduit réalisé par l'Instituto de Engenharia Militar a servi à étalonner le déversoir formé de 2 parties :

- a) l'une de 530 m de large dans l'axe du lit du fleuve avec les vannes de fond en dessous ;
- b) l'autre à 68° d'angle, long de 2 100 m.

L'étalonnage a été fait turbines et vannes fermées.

La précision de lecture des échelles est de ± 2 cm ($\pm 0,2$ mm sur modèle au 1/200°). Le déversoir fonctionne généralement avec une charge de 0,20 à 0,50 m, évacuant de 1 000 à 3 000 m³/s tout au long de l'année. Pour une charge moyenne de 0,40 m, l'erreur de mesure de ± 2 cm représente ± 5 %. Le débit étant de la forme $q = k h^{3/2}$, l'erreur de mesure sur celui-ci est de l'ordre de ± 7 %.

Il ne semble pas que vannes et turbines aient été étalonnées par ce modèle et en supposant que des formules valables servent à en calculer le débit, on peut admettre que l'erreur de mesure atteint au moins ± 5 %.

Le débit turbinable, 200 à 300 m³/s, est quantité négligeable pour le calcul d'erreur.

Les vannes servent surtout en crue.

En faisant l'hypothèse grossière d'un débit moyen annuel évacué moitié par le déversoir et moitié par vannes et turbines, on peut supposer que l'erreur de mesure est au moins de ± 6 %. Ainsi le module calculé à PAULO AFONSO* se situerait entre 3 290 et 3 710 m³/s.

Les deux bandes d'estimation des débits ne se recoupent pas ce qui pourrait laisser supposer que l'écart n'est pas seulement dû aux erreurs de mesures.

Nous émettons une hypothèse explicative reposant sur une légère surestimation du débit déversé à PAULO AFONSO.

En effet, le modèle réduit a taré le déversoir, vannes et turbines arrêtées. Or, normalement, les turbines fonctionnent et il y a toujours au moins une vanne ouverte, sauf durant 1 ou 2 mois d'étiage certaines années (5 sur les 9 observées). Si l'effet des turbines en marche peut être supposé négligeable, il n'en est peut-être pas de même avec les vannes. Celles-ci, situées dans l'axe du lit, sous la partie étroite du déversoir devraient, étant ouvertes, freiner quelque peu la vitesse d'approche (ou la charge ?) sur la crête. Ainsi le débit obtenu par étalonnage vannes fermées serait-il un peu surestimé, surtout en période de hautes eaux.

A combien s'élèverait cette surestimation ? Nous ne le savons pas. Pour le vérifier, il faudra procéder à diverses mesures de contrôle in situ ou au laboratoire.

Une autre cause de surestimation pourrait être due à la négligence du coefficient de contraction dans la formule utilisée pour le calcul du débit des vannes (formule que nous ne connaissons pas).

Notons que pour que les bandes d'estimation des modules se recoupent, dans le calcul d'erreur, il faudrait que cette surestimation soit au moins d'environ 15 %, ce qui n'est pas invraisemblable a priori. La bande d'estimation du module de PAULO AFONSO ramené à JOAZEIRO tomberait alors à 3 045 - 3 435 m³/s avec 3 150 m³/s comme valeur centrale probable -. Sur la base d'une telle valeur, la régularisation supposée se faire toujours à 83 %, correspondrait à un débit de 2 615 m³/s. On notera que la régularisation à 74 % obtenue sur la simulation mensuelle à JOAZEIRO, appliquée ici, donnerait 2 330 m³/s.

* ramené à JOAZEIRO après élimination de l'apport intermédiaire estimé à 100 m³/s maximum.

Bien entendu, ces chiffres sont purement indicatifs et il n'est pas question de soutenir qu'ils sont plus valables que celui de 3 000 m³/s auquel avait abouti notre précédent raisonnement (Cf. paragraphe 2.3.2.).

Des études plus précises de contrôle s'imposent avant toute conclusion.

3. RECOMMANDATIONS pour AMELIORER les ETUDES

Pour lever l'hypothèque qui subsiste sur la signification à attribuer aux études réalisées entre autres à l'aide des programmes sur ordinateur, il serait souhaitable de compléter celles-ci. Ces compléments envisageables font l'objet de quelques recommandations.

3.1. - Contrôle de qualité des mesures

Au cours d'une période de basses eaux, il faudrait entreprendre deux campagnes de mesures de débit au moulinet au droit des stations de JOAZEIRO et PETROLÂNDIA ou en tout autre site du bief apte à de tels jaugeages.

Ces mesures faites avec précision et soin par une équipe expérimentée doivent permettre de connaître le débit à moins de 5 % d'erreur.

La comparaison des débits journaliers d'une saison de basses eaux à JOAZEIRO et PETROLÂNDIA et des débits calculés à PAULO AFONSO doit permettre de vérifier si ces derniers sont ou non surestimés (à cette époque plus de 60 % du débit passe en général sur le déversoir) ou bien si l'écart est dû à une sous-estimation de JOAZEIRO.

De toutes manières, il importe par ailleurs de s'assurer pleinement de la précision des calculs de débits à PAULO AFONSO. Ceci peut être obtenu par les contrôles suivants :

- a) test du débit des vannes et de leur influence sur le débit du déversoir réalisable en procédant en étiage à une ouverture progressive des vannes (alors normalement fermées) jusqu'à ce que le déversoir ne déverse plus. La comparaison entre les débits calculés aux instants initial (tout déverse) et final (tout passe par les vannes) permettront un étalonnage relatif des vannes vis-à-vis du déversoir ;
- b) reprise du modèle réduit pour un étalonnage composé du déversoir et des vannes, celles-ci étant réglées à diverses ouvertures. Cet étalonnage pourrait se faire au moulinet si l'on pouvait accéder à l'aval de l'usine sans risque.

3.2. - Extension des programmes HD 01 et 02

Dans HD 02, le calcul des capacités de réservoir pour divers débits choisis a priori entre le module et le minimum serait plus intéressant si ces valeurs de débits étaient prises à intervalles égaux non en débit mais en probabilité d'occurrence du débit. La sélection de 10 valeurs se ferait par exemple sur la série des débits classés facile à constituer.

Dans HD 01, trois extensions seraient intéressantes :

- a) pour mettre en évidence les phases critiques de la période simulée, on compterait le nombre de jours successifs de chaque période durant laquelle la retenue déverse (mettre un compteur au niveau de la comparaison du volume accumulé VAC avec le volume maximal VRES) ;
- b) introduire la fonction bilan "pluie - évaporation" à partir de données mensuelles de chacune des données. Choisir 2 000 mm/an pour l'évaporation. Tenir compte de la surface inondée, fonction de la cote, chaque jour. Le débit résultant du bilan est à ajouter au débit déversé QVERT, les calculs s'opérant après évaluation de la cote HMONT ;
- c) combiner le débit régularisé turbinable et la hauteur de chute pour évaluer la puissance disponible. Un traitement statistique ultérieur de cette variable pourrait alors être envisagé.

3.3. - Simulation fonctionnement SOBRADINHO sur PAULO AFONSO 1960-68 par HD 01 étendu

Cette opération montrera s'il existe des phases critiques sèches dans la période et l'effet de l'évaporation sur le débit régularisable.

3.4. - Créer une chronique de longue durée

Elle devrait reposer sur la base des relevés journaliers de JOAZEIRO de 1929 à 1968.

Pour ce faire, il faut homogénéiser les débits sur la période récente soumise à l'influence de TRÊS MARIAS, c'est-à-dire :

- a) constituer la chronique du débit aval de TRÊS MARIAS Q_{TMV} en appliquant l'Alternative III.A d'HIDROSERVICE sur une base journalière, de 1929 à la mise en service de la retenue de TRÊS MARIAS. Ceci peut se faire à l'aide d'une variante du programme HD 01 admettant les débits naturels à TRÊS MARIAS en entrée Q_{TMn} et fournissant en sortie (imprimante et carte perforée ou disque magnétique) les débits aval de TRÊS MARIAS ;

- b) constituer la série de débits journaliers à JOAZEIRO influencée par TRÈS MARIAS soit Q_{JZi} à partir des débits naturels Q_{JZn} de 1929 à la mise en service de TRÈS MARIAS, à l'aide de l'équation :

$$Q_{JZi} = Q_{JZn} + Q_{TMV} - Q_{TMn}$$

Programme à écrire. Sortie sur imprimante et cartes ou disque.

3.5. - Simulations SOBRADINHO sur base JOAZEIRO

- a) L'application du programme HD 01 étendu aux débits journaliers de JOAZEIRO sur la même période 1960-68 que ceux de PAULO AFONSO doit supprimer l'effet d'hydraulicité et montrer, s'il y a différence, que celle-ci est imputable aux données. Une conclusion utilisant également les résultats des jaugeages conseillés (paragraphe 3.1.), ou d'un nouvel essai sur modèle (paragraphe 2.4.), doit permettre de conserver ou de corriger la série homogène 1929-68 à JOAZEIRO.
- b) L'application du même programme à la série complète (corrigée s'il y a lieu) de JOAZEIRO doit permettre par la prise en compte de la période sèche 1953-55 une évaluation précise et non critiquable du débit minimal régularisable à SOBRADINHO. On pourrait se limiter à la période 1946-68 de même hydraulicité que 1929-68 et qui contient la phase sèche critique.

3.6. - Analyse statistique de la puissance disponible

Le programme HD 01 étendu pourrait donner la série des valeurs journalières P_j de la puissance disponible, sachant que $P_j = k Q_{rs} \cdot H_j$, H_j étant la chute efficace du jour j ou également l'énergie productible $W_j = 86\,400 P_j$.

La simulation de fonctionnement de SOBRADINHO sur une longue période, contenant une séquence sèche, va donner une valeur faible de Q_{rs} donc une valeur moyenne base de la puissance :

$$\bar{P} = \frac{1}{j} \sum_0^j P_j$$

On peut envisager une étude statistique de répartition des valeur P_j afin d'estimer :

- a) le risque d'occurrence minimal lié à la séquence sèche et à la plus faible valeur de P_j , $P_j \min$;

- b) une valeur d'équipement de la puissance $P_e > P_j$ min choisie pour un risque fixé a priori (probabilité de dépassement de P_e égal à 90, 95, 98 % ... etc ...).

On aurait ainsi un équipement utilisable 90, 95 ou 98 % du temps, et fournissant une énergie supérieure à celle qu'aurait donné l'équipement à P_j min.

Ainsi se justifie a posteriori un calcul de simulation comme celui fait sur la série courte 1960-68, sans séquence sèche. La valeur de P_j min tirée de cette simulation doit être supérieure à la précédente, peut-être proche de P_e .

De toute façon, la simulation sur la longue période donne avec une meilleure précision la probabilité de défaillance d'un équipement qui aurait pu être basé uniquement sur la période courte, c'est-à-dire donne la probabilité d'occurrence, calculée sur la série longue des P_j , de la valeur P_j min obtenue à l'aide de la série courte 1960-68.

3.7. - Optimisation des caractéristiques d'équipement de SOBRADINHO

Jusqu'ici les études effectuées ont considéré que les caractéristiques d'équipement de SOBRADINHO étaient fixées à des niveaux apparemment satisfaisants : cote de retenue à 392,50 m, cote minimale admissible telle que la hauteur minimale dans la retenue soit égale à 60 % de la hauteur correspondant à 392,50 m. Ceci suffit amplement pour dégager les orientations premières d'un équipement.

Mais pour être sûr d'avoir atteint un niveau optimal d'équipement, c'est-à-dire ici le débit régularisable maximal, il faudrait dans l'avenir entreprendre une optimisation de ces caractéristiques : cotes maximales et minimales de retenue en faisant varier ces paramètres autour des valeurs fixées actuellement. On pourrait également faire varier le débit régularisable et comptabiliser les défaillances pour un examen statistique ultérieur. Bien entendu, un tel travail est important et ne peut être effectué que sur un ordinateur de grosse capacité, type IBM 360 par exemple (modèle 75 de préférence).

LISTE des DOCUMENTS CONSULTES

- CHESF - Débits journaliers calculés à PAULO AFONSO de 1960 à 1968 (déversoir, vannes et turbines), tableaux et graphiques.
- CHESF - Programmes HD 01 et HD 02 pour calculs de capacité de réservoir et simulation de fonctionnement du réservoir pour divers débits régularisés (IBM 1130).
- CHESF - 1949 - Projeto da Usina Hidro-Eletrica de PAULO AFONSO.
- LASA, TECNOSOLO . 1962 - Barragem de SOBRADINHO - Aproveitamento multiplo - Rio SAO FRANCISCO - Pour CVSF.
- HIDROSERVICE (HS 17 - R6 - 63) - 1963 - Estudios hidrológicos das influencias da barragem de SOBRADINHO - Plano de Aproveitamento para fins multiplos do Sub-medio SAO FRANCISCO - Pour CVSF.
- U.S. Bureau of Reclamation - 1967 - Reconnaissance Appraisal - Land and Water resources - Rio SAO FRANCISCO basin - Pour AID (USA).
- HIDROSERVICE (ME 66 A - R9 - 668) - 1968 - Aproveitamento multiplo do Sub-medio SAO FRANCISCO - Estudo preliminar de alternativas para o aproveitamento do MOXOTO - Pour SUVALE.
- CAEEB-MECO Group - 1968 - The MOXOTO hydroelectric project - Pour ELECTROBRAS.
- Inst. Militar de Engenharia - Laboratorio de Mecanica dos Fluidos - 1969 - Verificação da curva experimental de aferição do vertedor da Usina H.E. de PAULO AFONSO - Gen. Div. Eng. Leonino Jr - Pour CHESF.
- P. DUBREUIL, J. HERBAUD, G. GIRARD - "Monographie hydrologique du JAGUARIBE" - Mémoires n° 28 - ORSTOM Edit. - Paris 1968.