

GESTION DES RESSOURCES EN EAU MOBILISEES DANS LES RETENUES DE BARRAGES METHODE DE PREDETERMINATION DES DEFICITS ET DES RESTRICTIONS

Par

Mohamed ERRIH

PhD, Chargé de cours, Laboratoire d'Hydrologie et de Gestion des Ressources en Eau
Institut d'Hydraulique de l'USTO(*) - Oran

Résumé

Le volume d'eau fourni par le barrage-réservoir est étroitement lié aux réserves d'eau dans la retenue, à l'apport et à son irrégularité. Cette dernière variable est impossible à prévoir à long ou moyen termes, voire même à court terme, ce qui rend difficile la gestion de la ressource mobilisée, surtout en périodes de sécheresse.

On utilise dans cet article la notion de cycles de régularisation, obtenus des suites mensuels d'apports dans les barrages-réservoirs. L'analyse des différentes relations corrélatoires obtenues entre les éléments de ces cycles permet la prédétermination des volumes des déficits ainsi que leur durée, d'où les prises de décision adéquates quant à la limitation des offres en eau.

L'analyse de ces corrélations a été faite sur des séries observées et simulées par les méthodes de Monté Carlo et des Fragments, au moyen du programme Miyah [3]. Cette simulation de longues séries hydrologiques artificielles permet la combinaison multiple des suites de cycles hydrologiques aux phases assez longues de sécheresse.

Des exemples sont présentés pour les barrages-réservoirs Colonel Bougara et Sidi Yagoub (Algérie).

Mots clés : gestion de la ressource mobilisée - cycle de régularisation - emmagasinement - excédent - déficit - restriction - probabilité de garantie - méthode de Monté Carlo - méthode des Fragments - modèles de Markov.

1 INTRODUCTION

Le rendement du barrage obéit à des règles spéciales de gestion des ressources mobilisées. Ces règles forment l'ensemble des instructions d'exploitation établies de telle sorte qu'à chaque instant on puisse :

- fournir un rendement garanti ;
- prévoir l'utilisation des excédents (surplus), en réduisant les lâchures et en augmentant le rendement du barrage ;
- diminuer le nombre de cas d'interruption pendant l'exploitation, pour lesquels le volume garanti ne peut être fourni.

Ces règles propres à chaque barrage-réservoir sont déduites d'un ensemble de graphiques spéciaux de gestion, graphiques de dispatching, permettant de déterminer les périodes de déstockage, les rendements nets, les emmagasinevements, les évacuations (lâchures), les déficits et autres éléments nécessaires à la gestion efficace des ressources mobilisées.

Le volume utile du barrage-réservoir est fonction de plusieurs variables, notamment le rendement et l'apport (et sa variabilité). Cette dernière variable est impossible à prévoir à long ou moyen termes, voire même à court terme, aussi faut-il la considérer en tant que variable aléatoire et utiliser les méthodes adéquates de simulation des longues séries hydrologiques

(*) Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.

artificielles permettant la combinaison des suites de cycles hydrologiques aux phases assez longues de sécheresse. Cette approche stochastique de régularisation des ressources en eau superficielle nécessite l'utilisation de l'outil informatique [3]. Les simulations des séries hydrologiques, telles que celles basées sur la méthode de Monté Carlo, sur les modèles de Markov ainsi que sur la méthode des Fragments, permettent la mise en évidence d'une multitude de cycles hydrologiques probables dont l'analyse, présentée dans cet article, a pour objet l'étude des relations conduisant à des applications intéressantes quant à la prédétermination des restrictions, nécessaires lors de la gestion de la ressource mobilisée, en périodes critiques de sécheresse.

2 METHODOLOGIE GENERALE

2.1 Généralités

L'équation de régularisation de l'écoulement superficiel au moyen d'un barrage-réservoir est [3, 4, 5, 8] :

$$d\eta/dt = \xi - \alpha \quad (1)$$

Le rendement relatif (brut) α dépend du niveau de remplissage ou de l'emmagasinement η :

$$\alpha = \begin{cases} \alpha(0), & \text{pour } \eta \leq 0 \\ \alpha(\eta), & \text{pour } 0 \leq \eta \leq \beta \\ \alpha(\beta), & \text{pour } \eta > \beta \end{cases}$$

On admet donc trois états : excédents ou lâchures, emmagasinement et déficits. L'équation (1) est une équation différentielle stochastique :

$$d\eta/dt = \xi - \alpha(\eta) \cdot \lambda(\eta, d\eta/dt) \quad (2)$$

$\lambda(\eta, d\eta/dt)$ pouvant admettre une valeur égale à 1 ou $\pm\infty$. Ou bien encore :

$$\eta_{i+1} = \begin{cases} 0 + \xi_i \Delta t - \alpha \Delta t, & \text{pour } \eta_i \leq 0 \\ \eta_i + \xi_i \Delta t - \alpha \Delta t, & \text{pour } 0 \leq \eta_i \leq \beta \\ \beta + \xi_i \Delta t - \alpha \Delta t, & \text{pour } \eta_i > \beta \end{cases} \quad (3)$$

Les courbes de répartition des excédents, emmagasinement et déficits sont déduites de la formule de la probabilité total $P(x)$:

$$P(x) = \int F(\xi) dP(y) \quad (4)$$

2.2 Cycle de régularisation

La suite chronologique des apports (observés ou simulés) peut être fractionnée en cycles dits de régularisation (Figure 1). Chaque cycle de régularisation comprend une phase humide, excédentaire et une phase sèche, déficitaire. Le déficit Df_i peut être pallié soit par exploitation de la réserve mobilisée, soit par réduction de la demande (restriction partielle ou tota-

le). En phase humide, les apports sont, en général, supérieurs aux besoins bruts ; l'inverse est observé en phase sèche.

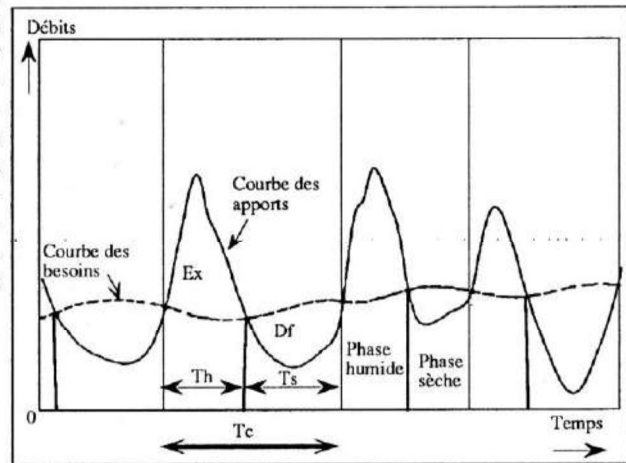


Figure 1 : Schéma de fractionnement en cycles de régularisation.

2.3 Période de déstockage

La période de déstockage d'une retenue de barrage est la durée de vidange de la capacité utile au cours de son exploitation pendant la phase sèche d'un cycle de régularisation, en considérant le barrage plein au début de cette phase sèche de durée T_{si} . La connaissance de cette durée, sous un régime d'exploitation de la réserve mobilisée, avec une probabilité de garantie P_g donnée, admet un intérêt particulier dans la gestion des barrages-réservoirs [1, 2].

L'estimation des périodes de déstockage n_o se fait par addition des courbes de répartition des emmagasinement avec celles des apports, tout en soustrayant les volumes des besoins [1, 2]. La période de déstockage n_o est fonction de α et de P_g .

Les courbes de répartition des emmagasinement peuvent être obtenues, d'une manière automatique, par l'intermédiaire du programme Miyah [3].

2.4 Prédétermination des déficits et des restrictions

Si la durée T_s est plus grande que n_o , il est donc impératif de réduire le rendement du barrage en continuant à répondre partiellement aux demandes, d'une quantité telle, pour que la retenue soit vide seulement à la fin de la phase sèche et prête à se remplir au cours de la phase humide du cycle de régularisation suivant. Ainsi, la connaissance de la valeur critique $\alpha' < \alpha$ correspondant à n_o , pour des valeurs β et P_g données, s'impose.

L'estimation de α' dépend de celle de T_s . Cette dernière variable peut être estimée, avec une précision suffisante, à partir des relations corrélatoires liant entre elles les variables V_{ci} , Ex_i , Df_i et T_{ci} des différents cycles de régularisation obtenus par fractionne-

Rendement relatif, α	1.45	1.35	1.2	1.1	1.0	0.85	0.7	0.55
Nombre de cycles, N_c	196	206	201	196	190	176	157	125
Moyenne des déficits, D_f	19.8	16.1	12.7	10.7	8.91	6.71	4.87	3.60
Moyenne des excédents, Ex	14.8	16.1	20.1	23.4	27.3	35.0	46.1	67.3
Moyenne des apports, V_c	68.5	65.1	66.8	68.5	70.6	76.2	85.5	107.4
Durée moyenne des cycles, T_c	5.07	4.82	4.94	5.07	5.23	5.64	6.33	7.95
cor (V_{ci}, Ex_i)	0.83	0.89	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99
cor (V_{ci}, T_{ci})	0.79	0.80	0.82	0.85	0.89	0.94	0.95	0.97

Tableau 1 : Valeurs moyennes des déficits, excédents, apports (Hm^3), durées (mois) et corrélations linéaires cor (V_{ci}, Ex_i), cor (V_{ci}, T_{ci}) obtenues après simulation hydrologique : taille des séries = 100 années (1 200 mois), dt = 1 mois. Exemple du Barrage Colonel Bougara.

ment. Le tableau 1 indique les estimations des coefficients de corrélation linéaire cor(V_{ci}, Ex_i) et cor(V_{ci}, T_{ci}) obtenues après fractionnement de plusieurs séries hydrologiques des apports, d'une taille de 100 années chacune (1 200 mois), simulées par les méthodes de Monté Carlo et des Fragments [1, 3, 6, 7], en appliquant le modèle simple de Markov. On a utilisé, pour ce faire, le programme Miyah adapté pour ce genre de calcul [3]. Les valeurs des besoins bruts mensuels α ont été prises variables dans le temps. Elles couvrent tout le domaine des variations possibles et logiques de la demande. Ces corrélations varient suivant α et sont toutes supérieures à 0.7. L'erreur sur l'estimation de ces corrélations est acceptable compte tenu de la taille assez grande, dépassant la centaine de cycles, des échantillons obtenus après fractionnement. Les coefficients de corrélation linéaire obtenus entre les variables des cycles de régularisation et surtout entre V_{ci} et Ex_i d'une part et V_{ci} et T_{ci} d'autre part, permettent l'estimation, à la fin de la phase humide, de T_{si} à partir des estimations de V_{ci} , T_{ci} et Df_i .

Les valeurs de Ex_i et T_{hi} sont supposées connues à la fin de la phase humide du cycle de régularisation. Le passage de la phase humide à la phase sèche est défini pour des apports inférieurs aux besoins pendant un même intervalle dt (Figure 1). On estime, en premier lieu, le volume des apports du cycle V_{ci} d'après la relation $V_{ci} = f(Ex_i)$ des cycles précédents ; ensuite on détermine le volume des déficits :

$$Df_i = Ex_i + B_{ci} - V_{ci} \quad (5)$$

La durée totale du cycle est déduite de la relation $T_{ci} = f(V_{ci})$ et enfin, $T_{si} = T_{ci} - T_{hi}$. Connaissant, à la fin de la phase humide, la réserve d'eau $W1_i$ mobilisée dans le barrage-réservoir, on peut estimer le volume total des restrictions R_i à entreprendre au cours de la

phase sèche prévue :

$$R_i = Df_i - W1_i \text{ pour } W1_i < Df_i \text{ et } W2_i = 0 ;$$

$$R_i = 0 \text{ pour } W1_i > Df_i \text{ et } W2_i = W1_i - Df_i$$

3 APPLICATIONS PRATIQUES

L'analyse des longues séries hydrologiques des apports générées par l'intermédiaire de Miyah, montre, pour le cas du barrage-réservoir de Sidi Yagoub (Oued Sly), une augmentation de la probabilité de déstockage en fonction de la période de déstockage, jusqu'à une valeur $n_o = 2$ années (Figure 2). Cette période est donc la plus probable pour les valeurs α , β et P_g fixées. Ceci signifie, qu'en moyenne, on aura, pendant une phase d'années sèches d'un cycle de régularisation donné, une retenue vide après 2 années d'exploitation, et cela pour un rendement constant brut $\alpha = 0.75$ [1, 2].

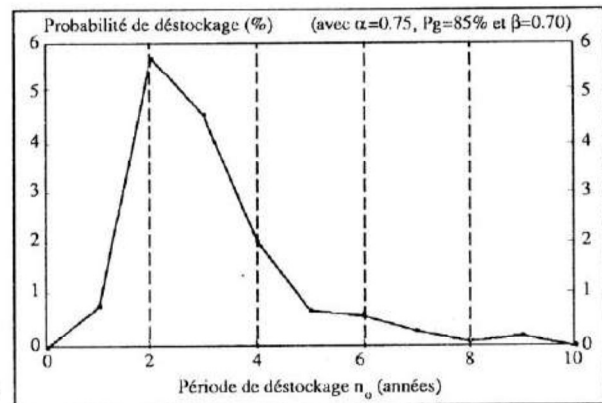


Figure 2 : Variation de la probabilité de déstockage en fonction de n_o .

On a déterminé les durées des périodes de déstockage pour les probabilités de garantie 85% (besoins pour l'irrigation) et 95% (besoins pour l'AEP), ainsi que pour les différentes valeurs de α . La variation des volumes déstockés en fonction de n_o est donnée à la figure 3, représentant le diagramme $\beta = f(n_o, \alpha, P_g)$ composé de plusieurs secteurs correspondant aux différentes périodes de déstockages n_o [1, 2]. Le graphe de

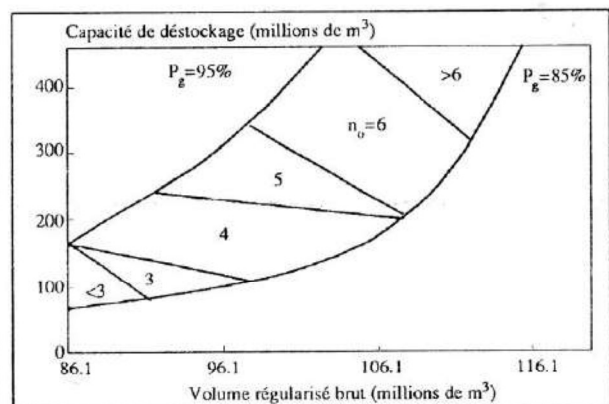


Figure 3 : Limites des secteurs de différentes périodes de déstockage.

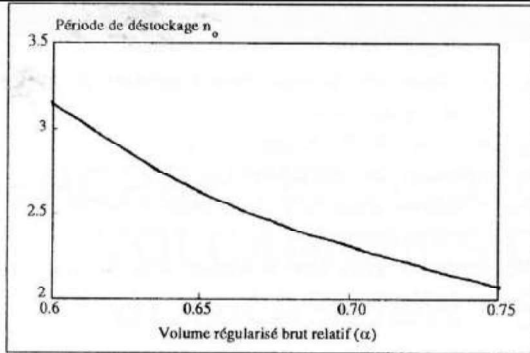


Figure 4 : Courbe $n_o = f(\alpha)$ pour le barrage de Sidi Yagoub ($\beta=1.17$ et $P_g=85\%$).

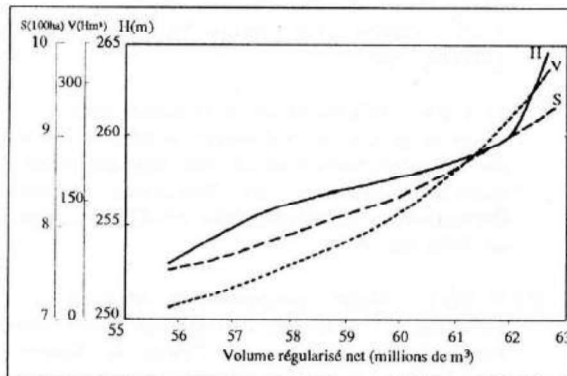


Figure 5 : Courbes des volumes V, surfaces S et cotes H en fonction du volume B (net).

la figure 4 nous permet de déterminer la valeur critique α' correspondant à la durée de la phase sèche T_s , plus grande que n_o . On peut, connaissant α' , définir les valeurs limites des capacités, des surfaces inondées et des charges à partir de la figure 5 pour $P_g = 85\%$. Et inversement, il est possible de déterminer, à partir de la figure 5 et pour tout état de remplissage de la retenue de barrage, le volume efficace limite à fournir.

Les séries des apports simulés et observés au niveau des barrages Colonel Bougara et Sidi Yagoub ont été fractionnées par l'intermédiaire de Miyah, en plusieurs cycles de régularisation dans le but de déterminer les différentes relations liant entre elles les variables de ces cycles. Le tableau 2 présente, pour le cas du barrage Colonel Bougara, les caractéristiques de ces cycles et les coefficients de corrélation correspondants. Les relations corrélatrices moyennes obtenues (pour $0.5 < \alpha < 1.4$), liant V_c à Ex et T_c à V_c , sont les suivantes :

$$V_c = 0.785Ex + 51.14 \text{ (Hm}^3\text{)}, \text{ corrélation} = 0.99 :$$

$$T_c = 0.0742V_c - 0.0105 \text{ (mois)}, \text{ corrélation} = 0.98.$$

Résultats du fractionnement obtenus par Miyah [3]	
Caractéristiques statistiques des cycles de régularisation	
1/ Apports :	Moyenne = 8.74 Hm ³ (série observée)
	Ecart-type = 3.46 Hm ³
	Coefficient de variation = 0.40
	Corrélation avec les excédents :
	a/ série observée (9 cycles) = 0.96
	b/ série simulée (184 cycles) = 0.97
	Corrélation avec les durées :
	a/ série observée (9 cycles) = 0.75
	b/ série simulée (184 cycles) = 0.91
2/ Durée :	Moyenne = 10.8 mois (série observée)
	Ecart-type = 3.19 mois
	Coefficient de variation = 0.30
3/ Excédents :	Moyenne = 4.64 Hm ³ (série observée)
	Ecart-type = 2.97 Hm ³
	Coefficient de variation = 1.56
4/ Déficits :	Moyenne = 4.35 Hm ³ (série observée)
	Ecart-type = 1.95 Hm ³
	Coefficient de variation = 2.24
Caractéristiques des besoins	
Modulation variable de la demande	
Volume utile du barrage (Hm ³) : 11	
Volume relatif du barrage : 0.92	
Demande brute mensuelle moyenne (Hm ³) : 0.78	
Demande brute pendant un cycle de régularisation (Hm ³) : 8.45	
Ecart-type de la demande - cycle de régularisation (Hm ³) : 2.50	

Tableau 2 : Caractéristiques des cycles de régularisation barrage Colonel Bougara - Besoins Irrigation.

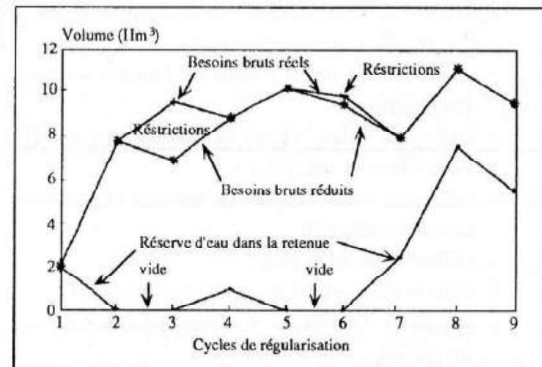


Figure 6 : Variation du volume d'eau dans la retenue. Restriction sur la demande.

Pour le barrage Colonel Bougara, destiné aux besoins de l'irrigation, la moyenne des apports des cycles pour $\alpha = 0.96$ est un peu moins inférieure à celle des cycles annuels agricoles ou hydrologiques.

La moyenne des excédents est un peu plus grande que celle des déficits, mais la variation des volumes de ces excédents d'un cycle de régularisation à un autre fait ressortir des déficits pouvant engendrer une réduction de la demande, voire même une interruption de l'exploitation (retenue vide). La figure 6 représente, en exemple, les variations de la réserve d'eau dans la retenue, des besoins bruts réels et des restrictions.

4 CONCLUSION

La considération dans le temps des apports aux retenues de barrage en confrontation avec les besoins (constants ou variables) nous a permis la mise en évidence de cycles de régularisation (ou de gestion), pouvant faire l'objet d'études hydrologiques stochastiques plus poussées. Ces cycles de régularisation peuvent être obtenus, en nombre très grand, par l'intermédiaire de méthodes de l'hydrologie stochastique, d'où la possibilité de la prise en compte des suites défavorables de périodes de sécheresse, que se soit pour un dimensionnement d'une retenue de barrage ou pour une gestion rationnelle de la ressource mobilisée.

Les relations corrélatrices assez fortes obtenues entre certains des éléments composant le cycle de régularisation permet la prédétermination du volume des déficits ayant lieu en périodes sèches des cycles hydrologiques. La prédétermination possible des durées des phases sèches des cycles de régularisation autorise, connaissant la relation liant la période de déstockage aux besoins, la limitation des volumes extraits des retenues ou les volumes des restrictions ☉

NOTATIONS

W_{dt} = volume des apports au barrage pendant l'intervalle de temps dt ;
 W_o = volume moyen interannuel des apports ;
 ξ = apport relatif au barrage (en coefficient réduit $\xi = W_{dt}/W_o$) ;
 B_{dt} = volume d'eau (brut) extrait du barrage pendant l'intervalle dt ;
 α = rendement relatif (brut) du barrage (en coefficient réduit $\alpha = B_{dt}/W_o$) ;
 $d\eta$ = différence entre l'apport au barrage et son rendement pendant dt ;
 V_u = volume utile du barrage ;
 β = volume utile relatif du barrage = V_u/W_o ;
 x = niveau de l'excédent, de l'emmagasinement ou du déficit ;
 $F(\xi)$ = fonction de répartition des apports ;
 $P(y)$ = densité de répartition de la courbe inconditionnelle des emmagasinelements ;
 V_c = volume des apports pendant un cycle de régularisation ;
 Ex = volume des excédents pendant un cycle de régularisation ;
 Df = volume des déficits pendant un cycle de régularisation ;
 T_s = durée de la phase sèche d'un cycle de régularisation ;
 T_h = durée de la phase humide d'un cycle de régularisation ;

T_c = durée d'un cycle de régularisation égale à $(T_h + T_s)$;
 B_c = volume des besoins (bruts) pendant un cycle de régularisation ;
 n_o = période de déstockage ;
 R = volume des restrictions ;
 $W1$ = volume d'eau dans le barrage à la fin de la phase humide ;
 $W2$ = volume d'eau dans le barrage à la fin du cycle de régularisation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. Aouadi, N. Mécili : "Régularisation des apports et exploitation du barrage de Sidi Yagoub (Oued Sly)". Projet de Fin d'Etudes Ingénierat Génie Civil - Option CHA, Institut de Génie Civil - USTHB, 1988.
- [2] M. Errih : "Détermination de certaines caractéristiques de gestion des ressources mobilisées (exemple du barrage-réservoir de Sidi Yagoub)". Communication présentée aux Deuxièmes Journées Internationales de l'Hydraulique / USTOran, Algérie, 8-10 Mai 1990.
- [3] M. Errih : "Miyah : programme de calcul de régularisation des ressources en eaux superficielles au moyen de barrages-réservoirs". Actes des Deuxièmes Journées Tunisiennes de Géologie Appliquée, Sfax, Tunisie, 17-19 Mai 1993.
- [4] N.A. Kartvélitchvili : "Régularisation de l'écoulement". Editions Guidrométéoizdat. Léninograd (Saint Pétersbourg), 1970.
- [5] V.A. Kiktienko, V.K. Redkine : "Méthodes de calcul de la régularisation interannuelle de l'écoulement en séquences distribuées - schéma inverse". Actes de la première conférence scientifique et technique des jeunes chercheurs et spécialistes du domaine des énergies de Kirghizie, Frounzé, 1976.
- [6] V. Klemev : "Applications of hydrology to water resources management". Report N°4 in Operational Hydrology of the World Meteorological Organization, WMO-N°356, Geneva, Switzerland, 1973.
- [7] G.G. Svanidzé : "Simulation mathématique des séries hydrologiques". Editions Guidrométéoizdat, Léninograd (Saint Pétersbourg), 1977.
- [8] Ch.T. Tchokine, V.A. Grigoriev, V.K. Redkine : "Méthodes de calcul de régularisation". Editions Nauka, Alma Ata, 1980.