

RESSOURCES EN EAU ET HYDROLOGIE

PROJET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Optimisation de la taille d'un barrage à buts multiples

Réalisé par :

BOULAHIA Abdelkayoum

IDIHOUM Ayman

Encadré par :

Pr. Mr. Moulay Driss HASNAOUI

REMERCIEMENTS

Avant d'aborder le contenu de notre étude nous voulons profiter de cette occasion pour exprimer nos sincères remerciements ainsi que notre grande reconnaissance à notre enseignant **Pr. Mr. Moulay Driss HASNAOUI**, premièrement pour son cours pertinent qui nous a exposé et deuxièmement pour ses divers informations, conseils et recommandations qui nous a accordé.

En plus, l'opportunité qui nous a offert en nous proposons ce sujet qui est très intéressant à traiter afin de mettre à l'épreuve notre esprit ingénieur et chercheur, aussi pour toute la documentation qu'il a mis à notre disposition.

Un grand Merci à vous Monsieur pour la qualité de votre encadrement exceptionnel, pour votre patience, votre rigueur et votre disponibilité durant notre ce semestre d'étude.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
SOMMAIRE.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	4
CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET.....	6
CHAPITRE II : ECRETEMENT DES CRUES.....	7
I. BUT DE L'ETUDE.....	7
II. LE MODELE A DEVELOPPER.....	7
III. LES DONNEES D'ENTREE ET LES CONDITIONS AUX LIMITES.....	8
1. LES HYDROGRAMMES DE CRUES MAXIMA.....	8
2. LES CONDITIONS AUX LIMITES.....	11
IV. LES RESULTATS DE LA SIMULATION.....	11
CHAPITRE III : ETUDE DE REGULARISATION.....	14
I. BUT DE L'ETUDE.....	14
II. LE MODELE A DEVELOPPER.....	14
III. LES DONNEES D'ENTREE ET LES CONDITIONS AUX LIMITES.....	14
1. APPORTS MENSUELS DE L'OUED.....	14
2. DONNEES DES PLUIES ET EVAPORATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES.....	14
3. BESOINS EN EAU POUR L'IRRIGATION ET L'AEPI.....	15
4. CRITERES DE DEFICITS TOLERABLES.....	16
5. USINE HYDRO-ELECTRIQUE.....	16
IV. PROGRAMME DEVELOPEE ET RESULTATS DE SIMULATION.....	16
1. PROGRAMME DE REGULARISATION EN LANGAGE R.....	17
2. RESULTATS DE SIMULATION.....	17
ANNEXE I.....	18
ANNEXE II.....	19
ANNEXE III.....	23
ANNEXE IV.....	26
ANNEXE V.....	27
CONCLUSION.....	35

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1 : RESULTATS DE CALCUL DES HYDROGRAMMES DES CRUES EN M3/s.....	10
TABEAU 2 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LA CRUE MILLENALE (*LES DEBITS EN M3/S ET LES VOLUMES EN M3)	12
TABEAU 3 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LES DIFFERENTES CRUES	13
TABEAU 4 : DONNEES DES PLUIES ET EVAPORATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES	14
TABEAU 5 : MODULATION DE LA DEMANDE EN EAU	15
TABEAU 6 : BESOIN D'AEPI ET D'IRRIGATION EN MM3.....	15
TABEAU 7 : CRITERES DE DEFICITS TOLERABLES	16
TABEAU 8 : NOMBRE D'HEURES DE POINTE PENDANT L'HIVER	16
TABEAU 9 : DEFICITS RESULTANTS POUR L'AEPI ET L'IRRIGATION	17
TABEAU 10 : PRODUCTION D'HYDRO-ELECTRICITE	17
TABEAU 11 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LA CRUE DE T=100 ANS (*LES DEBITS EN M3/S ET LES VOLUMES EN M3)	23
TABEAU 12 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LA CRUE DE T=50 ANS (*LES DEBITS EN M3/S ET LES VOLUMES EN M3)	24
TABEAU 13 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LA CRUE DE T=5 ANS (*LES DEBITS EN M3/S ET LES VOLUMES EN M3)	25
TABEAU 14 : RESULTATS DE LA SIMULATION POUR LA CRUE DE T=5 ANS (*LES DEBITS EN M3/S ET LES VOLUMES EN M3)	26
TABEAU 15 : LES BESOINS MENSUELS EN AEPI DEPUIS 1997 JUSQU'A 2035	33
TABEAU 16 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION DE REGULARISATION POUR L'ANNEE 1997.....	34
TABEAU 17 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION DE REGULARISATION POUR L'ANNEE 2020.....	34
TABEAU 18 : LES RESULTATS DE LA SIMULATION DE REGULARISATION POUR L'ANNEE 2035.....	34

INTRODUCTION

L'eau vu son importance et son rôle indispensable dans la vie, le risque de sa rareté touche directement à l'existence de la race humaine, qui au fil du temps ses besoins ne cessent de s'accroître. De plus cette ressource est soumise aux bouleversements de l'écosystème qui provoque des inondations dévastatrices et des événements naturels incontrôlables.

Dans ce sens, la Gestion et L'Optimisation des Ressources en Eau a eu naissance comme une discipline pour faire face aux enjeux relatifs à la question de l'eau et atténuer les conséquences engendrées par son exploitation permanente.

Ceci est réalisé par :

- La valorisation des ressources en eau dans la zone d'étude
- Le développement des modèles dynamiques de simulation
- Quantification des impacts environnementaux et socio-économiques

C'est dans ce cadre que le présent projet se situe en traitant l'évaluation de l'optimisation de la taille d'un barrage à buts multiples, l'objectif qui s'articule sur l'étude de deux grandes parties complémentaires à savoir la simulation de l'écrêtement des crues en s'intéressant à la réaction du barrage vis-à-vis à la crue millénale pour déduire une idée sur le degré de protection offerte contre les inondations à la région en aval. Et en deuxième partie, la définition des performances du barrage objet de l'étude dont le réservoir sera exploité à buts multiples.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

Le présent projet s'articule sur une étude dans la vision d'évaluer l'optimisation de la taille d'un barrage à buts multiples.

Ce barrage en question permet de remédier aux problèmes existants dans la région envisagée, en assurant une dotation de 34 Mm³ d'une manière pérenne sur tout un périmètre de 2750 ha alors que ce n'était pas le cas avant, en se disposant d'un réseau d'irrigation réhabilité ce qui permettra la satisfaction des besoins en eau d'irrigation et une meilleure intensification culturale.

Et aussi de satisfaire la demande moyenne d'AEPI jusqu'à l'horizon de 2030 à partir du grand barrage en aval et d'un système d'adduction du barrage en question de la station de traitement au niveau de la zone urbaine limitrophe et de cette dernière jusqu'à la zone urbaine lointaine. Le projet comporte également l'installation d'une centrale hydro-électrique d'une puissance installée de 5,6 MW.

La réalisation de ce barrage a aussi l'avantage d'assurer un haut degré de protection contre les inondations dans la vallée, à l'aval du projet, d'augmenter la sécurité du grand barrage aval en périodes de crues exceptionnelles et de réduire le taux d'envasement de son réservoir.

L'étude sera abordée en deux grandes parties :

Une première partie : Ecrêtement des crues/Protection contre les inondations qui sera consacrée à la simulation de l'écrêtement des crues en s'intéressant à la réaction du barrage vis-à-vis à la crue millénale pour déduire une idée sur le degré de protection offerte contre les inondations à la région en aval. Tout cela a pour ambition d'avoir une vision globale à l'échelle du barrage et des risques réels et potentiels d'inondation en vue de dégager et de planifier les différentes mesures qui permettront d'y faire face.

Une deuxième partie : Régularisation qui permettra de définir les performances du barrage objet de l'étude dont le réservoir sera exploité à buts multiples afin d'élaborer une comparaison entre la demande (Besoins) et l'offre (Ressources garanties par le barrage) et déduire le degré de satisfaction témoigné.

Les évaluations effectuées seront basées en ce qui concerne les performances hydrauliques sur les résultats des simulations de la résolution des équations de bilans appliqués à la tranche des hautes eaux pour le laminage et la tranche utile pour la régularisation.

CHAPITRE II : ECRETEMENT DES CRUES

I. BUT DE L'ETUDE

Afin d'évaluer les dégâts de crues en aval du site du barrage en étude, évités par suite de leur écrêtement dans le réservoir dudit barrage, nous allons créer un modèle mathématique du réservoir et simuler le passage des crues maxima de différentes périodes de retour.

II. LE MODELE A DEVELOPPER

Le modèle que nous utiliserons peut être traduit par l'équation suivante :

$$S_{j+1} - S_j = (QE_j + QE_{j+1}) \times \frac{DT}{2} - (QS_j + QS_{j+1}) \times \frac{DT}{2}$$

Avec :

- QE_j et QE_{j+1} : sont respectivement les débits entrants au début et à la fin de l'intervalle de temps DT , en m^3/s .
- QS_j et QS_{j+1} : sont respectivement les débits sortant au début et à la fin du même intervalle, en m^3/s .
- S_j et S_{j+1} : sont respectivement les volumes stockés au début et à la fin de cet intervalle, en m^3/s .
- DT : est l'intervalle de temps, en secondes.

Les débits lâchés par l'évacuateur de surface se calculent avec l'équation suivante :

$$QD = CD \times L \times (NR - NS)^{3/2} \quad (m^3/s)$$

Avec :

- $CD = 2,144$
- L = longueur de crête: 60 m
- NS = Niveau du seuil: 675 m NGM

Les débits évacués par les vidanges de fond se calculent avec l'équation suivante :

$$Qv = Cv \times N \times A \times (NR - NV)^{1/2}$$

Avec :

- $Cv = 3,85$; N = nombre des vidanges = 3 ; $A = 5 \text{ m}^2$
- NR = Niveau du réservoir, en m NGM
- NV = Niveau des vidanges: 635 m NGM

En ce qui concerne les débits turbinés et ceux d'AEPI, ils ont été considérés constants et égaux respectivement à 13 m³/s, capacité maxima des turbines, et à 1 (m³/s), valeur proche de celle maxima, en régime de croisière.

III. LES DONNEES D'ENTREE ET LES CONDITIONS AUX LIMITES

1. LES HYDROGRAMMES DE CRUES MAXIMA

Les calculs d'écrêtement ont été effectués pour les crues avec des périodes de retour de 5 ; 50 ; 100 ; et 1000 ans. Les débits de pointes des crues de 50 à 1000 ans sont déterminés à partir de la figure 01 qui se limite à l'étude des crues d'une période de retour de 20 à 10.000 ans, avec une seule pointe.

Pour les débits de pointe (QT) des crues d'une période de retour (T) inférieure à 20 ans -5 ans dans notre cas- ont été déterminés à l'aide d'une régression linéaire du type : $\log QT = f(\log T)$ donnée par la représentation graphique sur la figure 01.

Ainsi, les hydrogrammes des crues des autres périodes de retour seront déterminé par homothétie, à partir de celui de 100 ans sur la figure 02 .

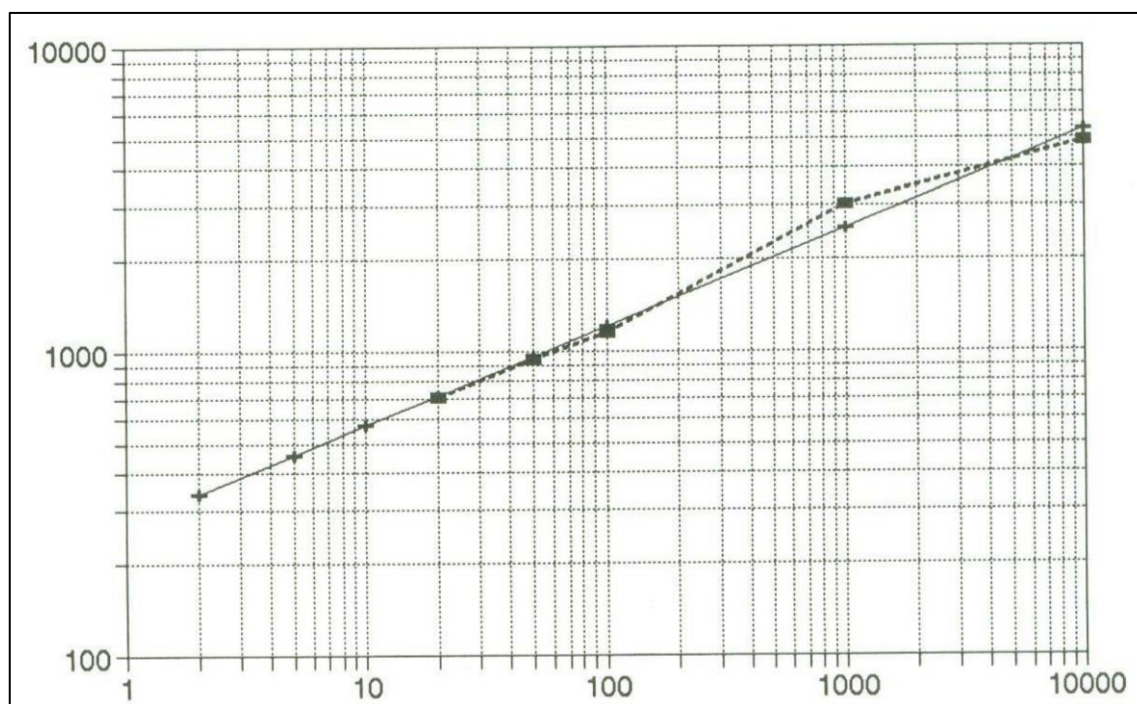


Figure 01 : Débits de pointes pour différentes périodes de retour.

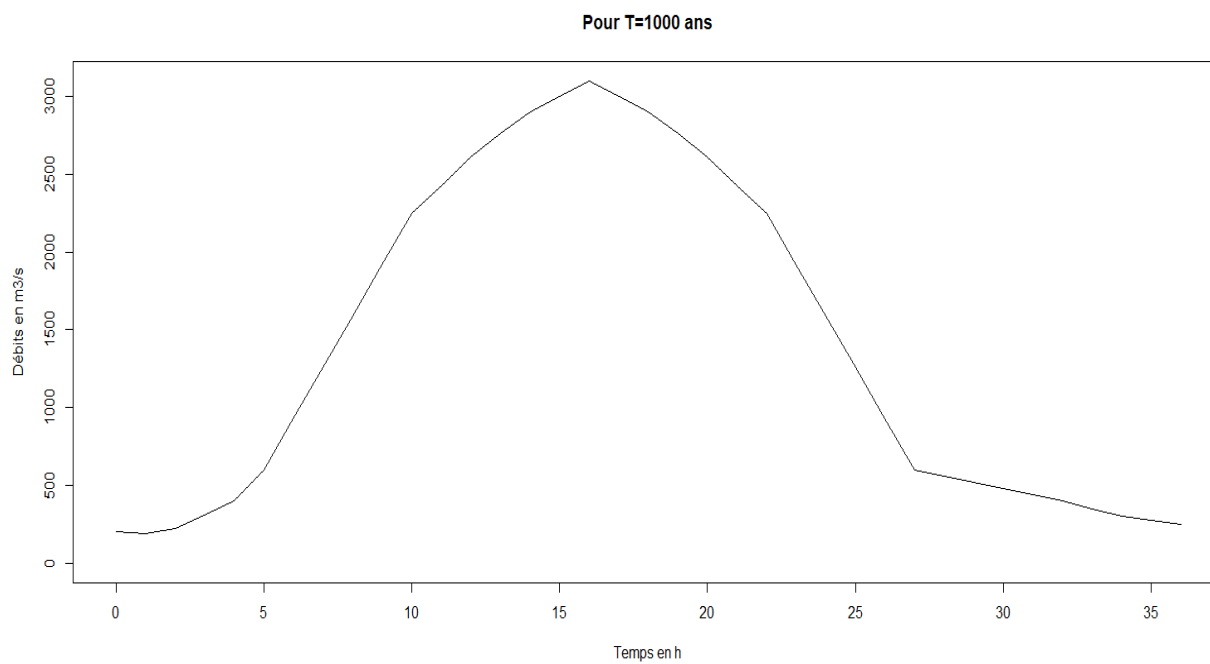


Figure 02 : Hydrogramme de la crue millénale en m³/s

Le calcul des hydrogrammes des crues des différentes périodes de retour est effectué à l'aide d'un programme en langage R figurant sur **l'annexe 01**.

Le résultat du calcul est donné sur la figure 03 et e tableau 01 suivantes :

	T=1000 ans	T=100 ans	T=50 ans	T=5 ans
0	200.000	77.419	61.290	29.032
1	190.000	73.548	58.226	27.581
2	220.000	85.161	67.419	31.935
3	310.000	120.000	95.000	45.000
4	400.000	154.839	122.581	58.065
5	600.000	232.258	183.871	87.097
6	930.000	360.000	285.000	135.000
7	1260.000	487.742	386.129	182.903
8	1590.000	615.484	487.258	230.806
9	1920.000	743.226	588.387	278.710
10	2250.000	870.968	689.516	326.613
11	2430.000	940.645	744.677	352.742
12	2610.000	1010.323	799.839	378.871
13	2766.670	1070.969	847.850	401.613
14	2900.000	1122.581	888.710	420.968
15	3000.000	1161.290	919.355	435.484
16	3100.000	1200.000	950.000	450.000
17	3000.000	1161.290	919.355	435.484
18	2900.000	1122.581	888.710	420.968
19	2766.670	1070.969	847.850	401.613
20	2610.000	1010.323	799.839	378.871
21	2430.000	940.645	744.677	352.742
22	2250.000	870.968	689.516	326.613
23	1920.000	743.226	588.387	278.710
24	1590.000	615.484	487.258	230.806
25	1260.000	487.742	386.129	182.903
26	930.000	360.000	285.000	135.000
27	600.000	232.258	183.871	87.097
28	560.000	216.774	171.613	81.290
29	520.000	201.290	159.355	75.484
30	480.000	185.806	147.097	69.677
31	440.000	170.323	134.839	63.871
32	400.000	154.839	122.581	58.065
33	350.000	135.484	107.258	50.806
34	300.000	116.129	91.935	43.548
35	275.000	106.452	84.274	39.919
36	250.000	96.774	76.613	36.290

Tableau 1: Résultats de calcul des hydrogrammes des crues en m3/s

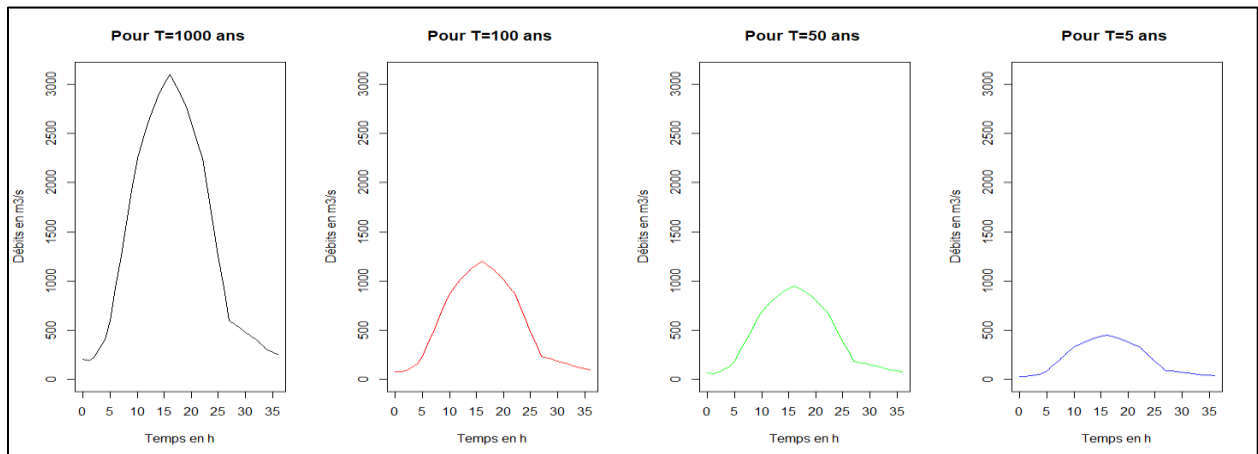


Figure 03 : Hydrogrammes des crues

2. LES CONDITIONS AUX LIMITES

A l'arrivée d'une crue exceptionnelle, le niveau de la retenue du barrage est considéré au niveau normal de 675 m NGM.

Dans ce qui suit, on considérera que les vidanges de fond restent fermées jusqu'au moment où le déversement s'arrête, par suite de la décrue des eaux. C'est pour cela on négligera les débits évacués par les vidanges de fond notés Q_v .

IV. LES RESULTATS DE LA SIMULATION

La simulation est effectuée par un programme en langage R figurant sur **l'annexe 02**. Ce programme nous permet de calculer le volume entrant, le volume sortant, la variation de stockage et la cote de la retenue pour chaque itération et avec un pas de temps d'une heure noté DT .

Pour chaque itération on définit les termes suivants :

- $volume\ entrant = (Débit\ entrant\ initial + Débit\ entrant\ final) \times DT/2$
- $volume\ de\ stock = volume\ entrant + volume\ initial$
- $volume\ initial\ à\ l'instant\ T = volume\ final\ à\ l'instant\ T - 1$
- $débit\ sortant\ initial = Les\ débits\ lâchés\ par\ l'évacuateur\ à\ l'instant\ T$
- $débit\ sortant\ final = Les\ débits\ lâchés\ par\ l'évacuateur\ à\ l'instant\ T + 1$

- $\text{volume sortant} = (\text{débit sortant initial} + \text{débit sortant initial}) \times DT/2$
- $\text{volume final} = \text{volume de stock} - \text{volume sortant}$

A propos de la cote et le volume de la retenue, on a créé une fonction liant ces deux variables en se basant sur la courbe HSV du barrage.

Les résultats du programme sont présentés sous forme d'un tableau pour chaque crue. Le tableau ci-dessous représente les résultats pour la crue millénale.

	Débit entrant	Volume entrant	Cote Retenue	Volume stockage	Débit sortant	Volume sortant
0	200	0	675	99764738	0	0
1	190	702000	675.1059	100466738	18.43189	66354.81
2	220	738000	675.2067	101138384	26.08699	93913.15
3	310	954000	675.335	101998470	38.94824	140213.68
4	400	1278000	675.5037	103136257	59.98198	215935.12
5	600	1800000	675.7362	104720322	95.25332	342911.95
6	930	2754000	676.0852	107131410	159.41688	573900.76
7	1260	3942000	676.5631	110499509	265.39505	955422.17
8	1590	5130000	677.1407	114674087	416.91306	1500887.02
9	1920	6318000	677.788	119491200	612.83765	2206215.53
10	2250	7506000	678.4777	124790984	848.29303	3053854.93
11	2430	8424000	679.1542	130161129	1103.2118	3971562.47
12	2610	9072000	679.7772	135261567	1357.18566	4885868.37
13	2766.67	9678006	680.3462	140053704	1604.15456	5774956.4
14	2900	10200006	680.8582	144478754	1838.00688	6616824.76
15	3000	10620000	681.311	148481929	2053.50716	7392625.78
16	3100	10980000	681.7087	152069303	2249.28134	8097412.83
17	3000	10980000	682.0229	154951891	2408.14315	8669315.33
18	2900	10620000	682.2329	156902575	2516.33327	9058799.76
19	2766.67	10200006	682.3548	158043782	2579.86104	9287499.76
20	2610	9678006	682.3964	158434288	2601.63695	9365893.02
21	2430	9072000	682.3651	158140395	2585.24684	9306888.61
22	2250	8424000	682.2709	157257506	2536.07375	9129865.5
23	1920	7506000	682.0965	155633641	2445.8954	8805223.45
24	1590	6318000	681.8266	153146417	2308.49175	8310570.3
25	1260	5130000	681.4764	149965847	2134.20949	7683154.16
26	930	3942000	681.0569	146224693	1931.57567	6953672.4
27	600	2754000	680.5758	142025020	1707.71269	6147765.67
28	560	2088000	680.1001	137965255	1495.64158	5384309.69
29	520	1944000	679.6884	134524945	1319.89318	4751615.45
30	480	1800000	679.3286	131573330	1172.49327	4220975.78
31	440	1656000	679.0108	129008354	1047.30543	3770299.55
32	400	1512000	678.7271	126750054	939.60231	3382568.32
33	350	1350000	678.4683	124717486	844.90844	3041670.37
34	300	1170000	678.2272	122845815	759.78548	2735227.74
35	275	1035000	678.0057	121145588	684.35042	2463661.5
36	250	945000	677.8059	119626926	618.63057	2227070.06

Tableau 2 : Résultats de la simulation pour la crue millénale (*les débits en m3/s et les volumes en m3)

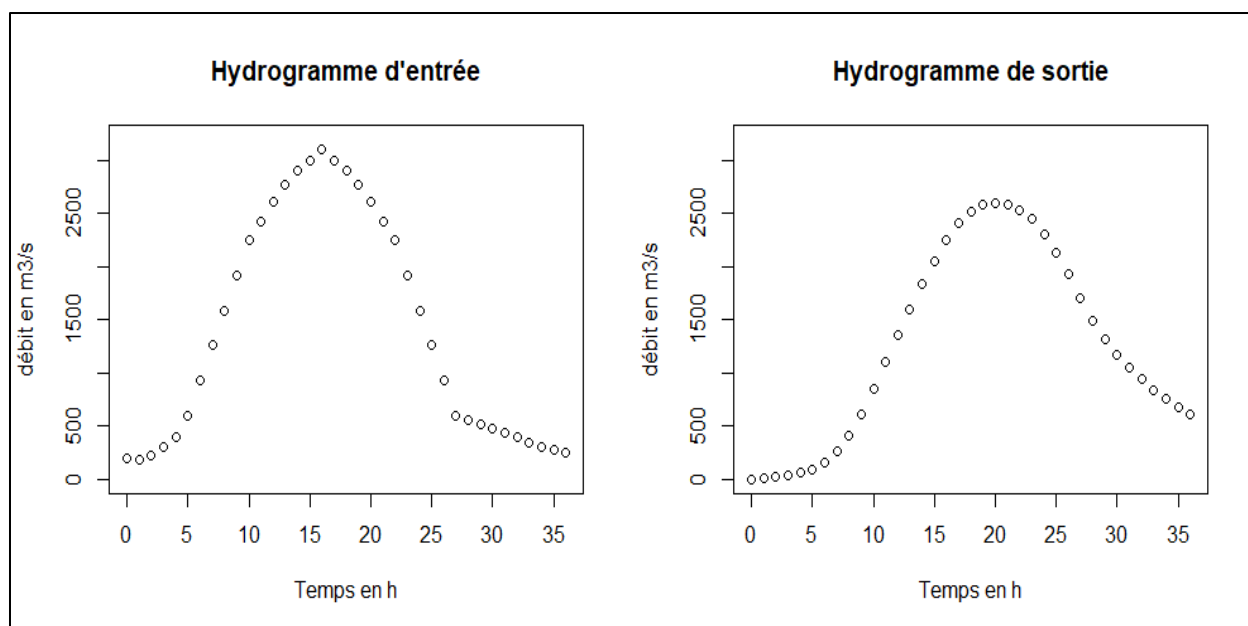


Figure 04 : Hydrogrammes d'entrée et de sortie pour la crue millénale

On résume les résultats de la simulation pour les différentes crues dans le tableau ci-dessous et les résultats détaillés sur **l'annexe 03**.

T (ans)	5	50	100	1000
QE max, m³/s	450	950	1200	3100
QS max, m³/s	314	729.217	943.374	2601.637
Volume, Mm³	111.899	122.161	126.830	158.434
NR max, m NGM	676.759	678.130	678.737	682.396

Tableau 3 : Résultats de la simulation pour les différentes crues

D'après ce qui précède, le débit de pointe pour la crue millénale est **3100 m³/s** et le débit laminé est **2601.637 m³/s** avec une cote PHE de **682.4 m NGM**. Cela nous permet de visualiser l'effet de laminage dans la réduction de la pointe de la crue entrante et de calculer la cote de crête de barrage qui est donnée par la formule suivante : **C. CRETE = REVANCHE + C. PHE** dans le but d'éviter la submersion de notre ouvrage.

CHAPITRE III : ETUDE DE REGULARISATION

I. BUT DE L'ETUDE

L'objectif du projet a été celui de définir les performances du barrage en étude, dont la retenue sera exploitée pour assurer différents besoins à savoir : AEPI des zones urbaines limitrophes et lointaines, irrigation, production d'énergie hydro-électrique, et protection contre les crues.

II. LE MODELE A DEVELOPPER

Ce modèle consiste à déterminer la cote de la retenue normale du barrage. L'alimentation en eau potable est la partie la plus importante, suivie de l'irrigation et finalement l'énergie exclusive. Quand les niveaux du réservoir descendent au-dessous du celui de la prise de l'usine, donné **660 m NGM**, cette dernière s'arrête.

III. LES DONNEES D'ENTREE ET LES CONDITIONS AUX LIMITES

1. APPORTS MENSUELS DE L'OUED

Les apports moyens mensuels de l'oued, pendant la période Sept. 1997 à Août 2007 ont été fournis dans **l'annexe 04**.

2. DONNEES DES PLUIES ET EVAPORATIONS MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES

Les données des pluies et évaporations sont dans le tableau ci-dessous :

	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Evaporation en mm	320	216	142	96	92	115	182	243	304	383	446	420	2960
Pluie en mm	9,78	17	14	11	10,1	13	8,66	7,8	5,5	3,7	2,4	4,89	108

Tableau 4 : Données des pluies et évaporations mensuelles moyennes interannuelles

3. BESOINS EN EAU POUR L'IRRIGATION ET L'AEPI

Les besoins en eau pour l'irrigation, de 34 Mm³/an, ont été considérés constants pour toute la période des simulations. Les besoins d'AEPI augmentent dans le temps, et arrivent à 48 Mm³/an en 2035.

La modulation de la demande en eau mensuelle pour l'irrigation et l'AEPI est indiquée dans le tableau suivant :

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Irrigation(%)	9	9	4	3	3	4	6	8	12	13	14	15
AEPI (%)	10,9	8,3	8,3	8,3	8,3	5,8	5,8	5,8	5,8	10,9	10,9	10,9

Tableau 5 : Modulation de la demande en eau

Les volumes d'eau correspondants pour les années 1997, 2020 et 2035 sont déterminés à l'aide d'une fonction créée en langage R. Le résultat est donné sur le tableau ci-dessous :

1997												
	s	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Irrigation (Mm ³)	3.06	3.06	1.36	1.02	1.02	1.36	2.04	2.72	4.08	4.42	4.76	5.1
AEPI (Mm ³)	0.7194	0.5478	0.5478	0.5478	0.5478	0.3828	0.3828	0.3828	0.3828	0.7194	0.7194	0.7194
2020												
	s	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Irrigation (Mm ³)	3.06	3.06	1.36	1.02	1.02	1.36	2.04	2.72	4.08	4.42	4.76	5.1
AEPI (Mm ³)	4.1638	3.1706	3.1706	3.1706	3.1706	2.2156	2.2156	2.2156	2.2156	4.1638	4.1638	4.1638
2035												
	s	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Irrigation (Mm ³)	3.06	3.06	1.36	1.02	1.02	1.36	2.04	2.72	4.08	4.42	4.76	5.1
AEPI (Mm ³)	5.232	3.984	3.984	3.984	3.984	2.784	2.784	2.784	2.784	5.232	5.232	5.232

Tableau 6 : Besoin d'AEPI et d'irrigation en Mm³

4. CRITERES DE DEFICITS TOLERABLES

Les critères de déficits tolérables sur la période de référence totale, de 1932 à 1985, sont les suivants:

	Irrigation	AEPI
Occurrence maxima d'années déficitaires	2 ans sur 10	1 an sur 10
Déficit de dotation maximum toléré en période normale	32%	20%
Déficit maximum toléré en période de pénurie exceptionnelle	43%	25%

Tableau 7 : Critères de déficits tolérables

5. USINE HYDRO-ELECTRIQUE

Les caractéristiques de l'usine hydro-électrique du barrage sont les suivantes:

- Débit équipé : 13 m³/s
- Hauteur de chute : 50 m
- Puissance installée: 5,6 MW
- Rendement global: 0,88

La demande de puissance de pointe est limitée aux mois d'hiver, pour les nombres d'heures suivants:

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février
Heures	50	85	70	55

Tableau 8 : Nombre d'heures de pointe pendant l'hiver

IV. PROGRAMME DEVELOPPEE ET RESULTATS DE SIMULATION

1. PROGRAMME DE REGULARISATION EN LANGAGE R

Afin d'atteindre l'objectif de cette partie, on a créé un programme en langage R, qui nous permet de calculer les volumes d'entrée mensuels les déficits en AEPI et en irrigation, les volumes évaporés et de déterminer la puissance produite pour chaque année.

Pour ce faire, l'utilisateur doit insérer les données des apports déjà calculés précédemment et le volume initial pour le mois de septembre, dans notre cas on a pris 0 pour l'année 1997, et les résultats seront affichés sous forme de matrice sur l'interface du langage.

Le corps du programme et les différents sous programmes utilisés sont présentés sur **l'annexe 06**.

2. RESULTATS DE SIMULATION

Les résultats de la simulation sont présentés sur les tableaux ci-dessous :

HORIZON	1997		2020		2035	
	AEPI	IRRI	AEPI	IRRI	AEPI	IRRI
Demande Mm3/an	6,6	34	38,2	34	48	34
Déficit max (%)	0	0	0	0	20	59.8
Nombre d'années déficitaires	0	0	0	0	1	1

Tableau 9 : Déficits résultants pour l'aepi et l'irrigation

HORIZON	1997	2020	2035
PPO ,9 MW			
Productible GWh	1.4589	1.4589	0

Tableau 10 : Production d'hydro-électricité

ANNEXE I

- Fonction pour calculer l'hydrogramme d'une crue à partir de la crue millénale :

```
crues<-function(cr,pe,ps){  
  i<-1  
  while (i<=length(cr)){  
    cr[i] <- cr[i]*ps/pe  
    i<-i+1}  
  return(cr)  
}
```

- Sous-programme sert à représenter les différentes crues :

```
close.screen(all=TRUE)  
split.screen(1:2)  
split.screen(c(1:2), screen = 1)  
split.screen(c(1:2), screen = 2)  
  
cre<-  
c(200,190,220,310,400,600,930,1260,1590,1920,2250,2430,2610,2766.67,2900,3000,3100,3000,2900,2  
766.67,2610,2430,2250,1920,1590,1260,930,600,560,520,480,440,400,350,300,275,250)  
  
screen(3,4);plot(T,cre,ylab="Débits en m3/s",xlab="Temps en  
h",xlim=c(0,36),ylim=c(0,3100),col="black",main="Pour T=1000 ans ",type="l")  
  
screen(4,5);plot(T,crues(cre,3100,1200),ylab="Débits en m3/s",xlab="Temps en  
h",xlim=c(0,36),ylim=c(0,3100),col="red",main="Pour T=100 ans ",type="l")  
  
screen(5,6);plot(T,crues(cre,3100,950),ylab="Débits en m3/s",xlab="Temps en  
h",xlim=c(0,36),ylim=c(0,3100),col="green",main="Pour T=50 ans ",type="l")  
  
screen(6,7);plot(T,crues(cre,3100,450),ylab="Débits en m3/s",xlab="Temps en  
h",xlim=c(0,36),ylim=c(0,3100),col="blue",main="Pour T=5 ans ",type="l")  
  
RESULTAT<-matrix(1:148,nrow=37,ncol = 4,dimnames = list(c(0:36),c("T=1000 ans","T=100 ans","T=50  
ans","T=5 ans")))  
  
RESULTAT[,1]<-cre  
RESULTAT[,2]<-crues(cre,3100,1200)  
RESULTAT[,3]<-crues(cre,3100,950)  
RESULTAT[,4]<-crues(cre,3100,450)  
  
return(REsULTAT)
```

ANNEXE II

- Les différents sous programmes nécessaire pour la simulation du laminage :

```
DEBIT_SORTANT<-function(CD,L,NR,NS){  
  ifelse(NR>NS,Q<-CD*L*(NR-NS)^(3/2),0)  
}
```

```
VOLUME_RETENUE<-function(NR){  
  if(NR<689){  
    Y=NR-638  
  
    V<-  
c(0,2000,15000,68000,308000,703000,1180000,1753000,2503000,3416000,4468000,5628000,6902000,  
8290000,9786000,11487000,13391000,15450000,17685000,20145000,22890000,25877000,29098000,3  
2480000,36072000,39886000,43921000,48151000,52594000,57308000,62284000,67448000,72771000,  
78310000,84072000,90026000,96183000,102543000,109124000,115934000,122976000,130270000,13  
8319000,147630000,157646000,168033000,178796000,189936000,201458000,213365000,225659000,  
238339000)  
  
    NRC<-c(0:51)  
  
    i<-1  
    while (Y>=NRC[i] ){  
      i<-i+1  
    }  
    v<-V[i]-(V[i]-V[i-1])*(NRC[i]-Y)/(NRC[i]-NRC[i-1])  
    return(v)  
  }  
  else{  
    return(238339000) }  
}
```

```
NIVEAU_RETENUE<-function(v){  
  V<-  
  c(0,2000,15000,68000,308000,703000,1180000,1753000,2503000,3416000,4468000,5628000,6902000,  
    8290000,9786000,11487000,13391000,15450000,17685000,20145000,22890000,25877000,29098000,3  
    2480000,36072000,39886000,43921000,48151000,52594000,57308000,62284000,67448000,72771000,  
    78310000,84072000,90026000,96183000,102543000,109124000,115934000,122976000,130270000,13  
    8319000,147630000,157646000,168033000,178796000,189936000,201458000,213365000,225659000,  
    238339000)  
  NRC<-c(0:51)  
  i<-1  
  while (v>=V[i]){  
    i<-i+1  
  }  
  Y<-NRC[i]-(NRC[i]-NRC[i-1])*(V[i]-v)/(V[i]-V[i-1])  
  NR=Y+638  
  return(NR)  
}
```

```
volume_entrant<-function(QI,QF){  
  return((QI+QF)*3600/2)  
}  
VOL_ENT<-function(cr){N=length(cr)  
  VE<-rep(0,N)  
  for(i in 2:N){  
    VE[i]<-volume_entrant(cr[i],cr[i-1])  
  }  
  return (VE)}  
cr1000<-cre  
cr100=crues(cre,3100,1200)  
cr50=crues(cre,3100,950)  
cr5=crues(cre,3100,450)
```

```
return(VOL_ENT(cr1000))  
return(VOL_ENT(cr100))  
return(VOL_ENT(cr50))  
return(VOL_ENT(cr5))
```

- Le corps du programme de la simulation du laminage (Exemple pour la crue centennale)

Ce programme nous permet de calculer et de présenter les résultats sous forme d'un tableau et de graphiques :

```
cr<-crues(cre,3100,1200)  
N=length(cr)  
VS<-rep(0,N)  
NR<-rep(0,N)  
QS<-rep(0,N)  
VSOR<-rep(0,N)  
VE<-VOL_ENT(cr)  
NR[1]<-675  
VS[1]<-VOLUME_RETENUE(NR[1])  
QS[1]<-0  
VSOR[1]<-0  
for (j in 2:N){  
  VS[j]<-VE[j]+VS[j-1]-VSOR[j-1]  
  NR[j]<-NIVEAU_RETENUE(VS[j])  
  QS[j]<-DEBIT_SORTANT(2.144,60,NR[j],675)+14  
  VSOR[j]<-(QS[j]+QS[j])*(3600)/2  
}  
return(cr)
```

```
return(VE)

return(NR)

return(VS)

return(QS)

return(VSOR)

RESULTAT<-matrix(1:222,nrow=37,ncol = 6,dimnames = list(c(0:36),c("Débit entrant","Volume
entrant","Cote Retenue","Volume stockage","Débit sortant","Volume sortant")))

RESULTAT[,1]<-cr
RESULTAT[,2]<-VE
RESULTAT[,3]<-NR
RESULTAT[,4]<-VS
RESULTAT[,5]<-QS
RESULTAT[,6]<-VSOR
return(RESULTAT)

split.screen(1:2)
screen(1);plot(T,cr,xlim=c(0,40),ylim = c(0,1500))
screen(2);plot(T,QS,xlim=c(0,40),ylim = c(0,1500))
return(max(cr))
return(max(QS))
return(max(NR))
```

ANNEXE III

- Les résultats de la simulation pour les différentes crues (T=100, 50 et 5ans):

	Débit entrant	Volume entrant	Cote Retenue	Volume stockage	Débit sortant	Volume sortant
0	77.41935	0	675	102543000	0	0
1	73.54839	271741.9	675.0413	102814742	15.07938	54285.76
2	85.16129	285677.4	675.0765	103046134	16.71934	60189.62
3	120	369290.3	675.1234	103355234	19.57776	70479.95
4	154.83871	494709.7	675.1879	103779464	24.47636	88114.9
5	232.25806	696774.2	675.2804	104388123	33.09749	119150.96
6	360	1066064.5	675.4243	105335037	49.54839	178374.2
7	487.74194	1525935.5	675.629	106682598	78.17642	281435.1
8	615.48387	1985806.5	675.888	108386970	121.64655	437927.57
9	743.22581	2445677.4	676.1866	110394719	180.27632	648994.75
10	870.96774	2905548.4	676.518	112651273	254.58267	916497.62
11	940.64516	3260903.2	676.8622	114995679	340.90418	1227255.06
12	1010.32258	3511741.9	677.1912	117280165	431.24186	1552470.71
13	1070.96903	3746324.9	677.5027	119474020	523.3185	1883946.61
14	1122.58065	3948389.4	677.7959	121538462	615.381	2215371.61
15	1161.29032	4110967.7	678.0628	123434059	703.53109	2532711.94
16	1200	4250322.6	678.2983	125151669	784.56223	2824424.03
17	1161.29032	4250322.6	678.4938	126577568	854.07438	3074667.76
18	1122.58065	4110967.7	678.6358	127613868	905.83482	3261005.36
19	1070.96903	3948389.4	678.7301	128301252	940.73253	3386637.11
20	1010.32258	3746324.9	678.7794	128660940	959.17065	3453014.33
21	940.64516	3511741.9	678.7875	128719667	962.19259	3463893.33
22	870.96774	3260903.2	678.7596	128516677	951.761	3426339.61
23	743.22581	2905548.4	678.6882	127995886	925.17434	3330627.64
24	615.48387	2445677.4	678.5669	127110936	880.58588	3170109.17
25	487.74194	1985806.5	678.4045	125926633	822.09338	2959536.16
26	360	1525935.5	678.208	124493032	753.1358	2711288.88
27	232.25806	1066064.5	677.9818	122847808	676.35823	2434889.64
28	216.77419	808258.1	677.7508	121221176	600.90255	2163249.16
29	201.29032	752516.1	677.5505	119810443	537.9714	1936697.03
30	185.80645	696774.2	677.3744	118570521	484.65935	1744773.65
31	170.32258	641032.3	677.2177	117466779	438.83394	1579802.17
32	154.83871	585290.3	677.0764	116472267	398.90546	1436059.67
33	135.48387	522580.6	676.9449	115558788	362.91761	1306503.4
34	116.12903	452903.2	676.8196	114705188	329.7365	1187051.39
35	106.45161	400645.2	676.7041	113918782	300.16126	1080580.52
36	96.77419	365806.5	676.5991	113204008	274.13432	986883.54

Tableau 11 : Résultats de la simulation pour la crue de T=100 ans (*les débits en m3/s et les volumes en m3)

	Débit entrant	Volume entrant	Cote Retenue	Volume stockage	Débit sortant	Volume sortant
0	61.29032	0	675	102543000	0	0
1	58.22581	215129	675.0327	102758129	14.7603	53137.09
2	67.41935	226161.3	675.059	102931153	15.84265	57033.54
3	95	292354.8	675.0947	103166475	17.75117	63904.2
4	122.58065	391645.2	675.1445	103494215	21.06898	75848.32
5	183.87097	551612.9	675.2168	103969980	26.98868	97159.25
6	285	843967.7	675.3303	104716789	38.42104	138315.74
7	386.12903	1208032.3	675.4929	105786505	58.51025	210636.91
8	487.25806	1572096.8	675.6997	107147965	89.297	321469.21
9	588.3871	1936161.3	675.9451	108762657	132.19194	475890.97
10	689.51613	2300225.8	676.2148	110586992	186.24605	670485.76
11	744.67742	2581548.4	676.4955	112498054	249.25368	897313.27
12	799.83871	2780129	676.7719	114380870	317.42218	1142719.86
13	847.85048	2965840.5	677.0383	116203991	388.36135	1398100.85
14	888.70968	3125808.3	677.2837	117931698	457.94572	1648604.58
15	919.35484	3254516.1	677.5117	119537610	526.07754	1893879.15
16	950	3364838.7	677.7206	121008569	591.26685	2128560.66
17	919.35484	3364838.7	677.8962	122244848	648.03422	2332923.18
18	888.70968	3254516.1	678.0261	123166440	691.17813	2488241.28
19	847.85048	3125808.3	678.1135	123804008	720.72965	2594626.73
20	799.83871	2965840.5	678.1644	124175221	738.12838	2657262.18
21	744.67742	2780129	678.1813	124298088	743.91813	2678105.29
22	689.51613	2581548.4	678.168	124201531	739.36687	2661720.74
23	588.3871	2300225.8	678.1185	123840036	722.41213	2600683.65
24	487.25806	1936161.3	678.0274	123175514	691.59573	2489744.64
25	386.12903	1572096.8	677.898	122257866	648.64139	2335109.02
26	285	1208032.3	677.738	121130789	596.79956	2148478.42
27	183.87097	843967.7	677.5527	119826279	538.66451	1939192.24
28	171.6129	639871	677.3682	118526957	482.82119	1738156.27
29	159.35484	595741.9	677.206	117384543	435.48267	1567737.62
30	147.09677	551612.9	677.0617	116368418	394.81229	1421324.26
31	134.83871	507483.9	676.9296	115454578	358.80779	1291708.03
32	122.58065	463354.8	676.808	114626225	326.72325	1176203.69
33	107.25806	413709.7	676.696	113863731	298.12742	1073258.73
34	91.93548	358548.4	676.591	113149020	272.16655	979799.57
35	84.27419	317177.4	676.4937	112486398	248.84991	895859.67
36	76.6129	289596.8	676.4047	111880135	228.17075	821414.68

Tableau 12 : Résultats de la simulation pour la crue de T=50 ans (*les débits en m3/s et les volumes en m3)

	Débit entrant	Volume entrant	Cote Retenue	Volume stockage	Débit sortant	Volume sortant
0	29.03226	0	675	102543000	0	0
1	27.58065	101903.2	675.0155	102644903	14.24787	51292.32
2	31.93548	107129	675.024	102700740	14.47737	52118.51
3	45	138483.9	675.0371	102787105	14.91898	53708.31
4	58.06452	185516.1	675.0571	102918913	15.75618	56722.25
5	87.09677	261290.3	675.0882	103123481	17.36993	62531.73
6	135	399774.2	675.1395	103460724	20.69894	74516.18
7	182.90323	572225.8	675.2151	103958433	26.83135	96592.85
8	230.80645	744677.4	675.3136	104606518	36.58658	131711.7
9	278.70968	917129	675.4329	105391935	50.64055	182306
10	326.6129	1089580.6	675.5708	106299210	69.47061	250094.2
11	352.74194	1222838.7	675.7186	107271954	92.35846	332490.44
12	378.87097	1316903.2	675.8682	108256367	118.05822	425009.59
13	401.61339	1404871.8	676.0165	109236229	145.83306	524999.02
14	420.96774	1480646	676.1568	110191876	174.05495	626597.81
15	435.48387	1541612.9	676.2912	111106891	202.73521	729846.76
16	450	1593871	676.418	111970916	231.22661	832415.79
17	435.48387	1593871	676.5299	112732371	257.41934	926709.63
18	420.96774	1541612.9	676.6202	113347274	279.28456	1005424.42
19	401.61339	1480646	676.6899	113822496	296.60719	1067785.88
20	378.87097	1404871.8	676.7394	114159582	309.11409	1112810.74
21	352.74194	1316903.2	676.7694	114363674	316.77382	1140385.75
22	326.6129	1222838.7	676.7815	114446127	319.88684	1151592.62
23	278.70968	1089580.6	676.7724	114384115	317.54458	1143160.49
24	230.80645	917129	676.7392	114158084	309.05812	1112609.22
25	182.90323	744677.4	676.6852	113790152	295.41665	1063499.96
26	135	572225.8	676.6131	113298878	277.54101	999147.63
27	87.09677	399774.2	676.525	112699504	256.26839	922566.2
28	81.29032	303096.8	676.4341	112080035	234.91885	845707.85
29	75.48387	282193.5	676.3513	111516521	216.07638	777874.98
30	69.67742	261290.3	676.2755	110999936	199.30208	717487.49
31	63.87097	240387.1	676.2054	110522836	184.24631	663286.7
32	58.06452	219483.9	676.1402	110079033	170.62832	614261.96
33	50.80645	195967.7	676.0788	109660738	158.14422	569319.19
34	43.54839	169838.7	676.0202	109261258	146.54871	527575.36
35	39.91935	150241.9	675.9635	108883925	135.6654	488395.43
36	36.29032	137177.4	675.9102	108532707	125.69829	452513.84

Tableau 13 : Résultats de la simulation pour la crue de T=5 ans (*les débits en m3/s et les volumes en m3)

ANNEXE IV

1997	1998	46,500	15,031	5,932	5,113	5,606	4,896	4,405	4,679	7,607	5,306	1,133	3,357	109.564
1998	1999	7,035	4,528	2,295	4,713	4,220	1,502	2,249	2,057	1,941	1,461	2,680	3,819	38.498
1999	2000	11,270	13,858	4,600	5,486	5,555	4,382	3,956	3,197	20,574	4,140	3,232	7,475	87.722
2000	2001	31,786	222,065	16,905	7,705	7,705	6,785	4,140	4,198	4,206	4,175	3,186	10,396	323.25
2001	2002	27,359	70,017	23,246	6,787	5,187	0,000	3,993	45,672	13,217	2,568	3,172	19,367	220.584
2002	2003	15,440	18,863	8,099	5,230	6,151	4,755	4,585	4,549	8,854	7,734	7,658	11,798	103.717
2003	2004	8,296	126,891	7,737	5,230	5,208	4,905	7,883	5,300	18,878	6,554	3,568	6,320	206.772
2004	2005	7,329	3,128	3,857	5,230	3,863	4,026	4,789	3,406	3,051	9,146	3,388	2,905	54.118
2005	2006	55,370	11,416	6,778	4,385	5,236	4,585	4,839	5,070	51,532	14,741	7,612	4,040	175.603
2006	2007	6,377	56,716	12,420	4,459	4,886	5,238	6,158	82,917	6,903	3,818	5,283	6,897	202.072
2007	2008	5,174	25,751	4,648	5,859	6,273	7,746	5,574	4,414	9,934	10,122	8,059	12,673	106.228
2008	2009	30,677	334,166											364.843
Moyenne		13,575	24,424	9,826	6,894	6,580	6,458	9,162	16,374	12,357	8,427	6,321	7,742	123.403
Max		61,111	334,166	51,566	21,563	15,709	15,703	48,047	206,862	81,627	43,817	28,091	34,190	323.25
Min		3,577	3,128	2,295	3,692	3,863	0,000	2,249	1,794	1,852	1,461	1,133	2,905	38.498

Tableau 14 : Résultats de la simulation pour la crue de T=5 ans (*les débits en m3/s et les volumes en m3)

ANNEXE V

Les sous-programmes de la régularisation de la retenue du barrage :

```
#Demande en eau de AEPI et l'irrigation

Irrigation<-c(9,9,4,3,3,4,6,8,12,13,14,15)

AEPI<-c(10.9,8.3,8.3,8.3,8.3,5.8,5.8,5.8,5.8,10.9,10.9,10.9)

DEMANDE_EN_EAU<-function(Irrigation,AEPI,DMIRR,DMAEP){

  N=12

  DEMANDE_Irrigation<-rep(0,N)

  DEMANDE_AEPI<-rep(0,N)

  for(i in 1:N){

    DEMANDE_Irrigation[i]=Irrigation[i]*DMIRR/100

    DEMANDE_AEPI[i]=AEPI[i]*DMAEP/100

    DEMANDE<-matrix(nrow = 2,ncol = 12,dimnames = list(c("Irrigation (Mm3)","APEI (Mm3)"),c("s","O","N","D","J","F","M","A","M","J","J","A")))

    DEMANDE[1,]=DEMANDE_Irrigation

    DEMANDE[2,]=DEMANDE_AEPI

  }

  return(DEMANDE)

}

Resultat<-matrix(nrow = 39,ncol = 12,dimnames = list(c(1997:2035),c("s","O","N","D","J","F","M","A","M","J","J","A")))

for(j in 0:23){

  Resultat[j+1,]<-DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,6.6+((38.2-6.6)*(j)/(2020-1997)))[2,]

}

for(k in 1:15){

  Resultat[k+24,]<-DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,38.2+((48-38.2)*k/(2035-2020)))[2,]

}

return(Resultat)

return(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,6.6))

return(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,38.2))

return(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,48))
```

#Volume d'eau de pluie

```
V_pluie<-rep(0,12)
pluie<-c(9.78,17,14,11,10.1,13,8.66,7.8,5.5,3.7,2.4,4.89)
for(j in 1:12){
  V_pluie[j]<-SURFACE_RETENUE(675)*10^3*pluie[j]
}
return(V_pluie)
```

#volume d'eau pour produire de l'énergie électrique en pointe

```
Heures_P<-c(0,0,50,85,70,55,0,0,0,0,0,0)
Vhp<-rep(0,12)
for(k in 1:12){
  Vhp[k]<-13*3600*Heures_P[k]
}
return(Vhp)
```

#Surface de la retenue

#Surface de la retenue

```
SURFACE_RETENUE<-function(NR){
  if(NR<689){
    Y=NR-638

    S<-
    c(0,0.0043,0.0217,0.1087,0.3479,0.4392,0.5218,0.6393,0.848,0.9785,1.1176,1.2089,1.335,1.4438,1.569
    9,1.8177,1.9873,2.1395,2.3396,2.5875,2.8875,3.0919,3.3315,3.4552,3.7179,3.9158,4.1449,4.3259,4.567
    5,4.8526,5.0858,5.2446,5.4132,5.659,5.8615,6.0507,6.2617,6.464,6.6967,6.9257,7.1625,7.4257,8.6601,
    9.83,10.201,10.575,10.951,11.329,11.715,12.1,12.486,12.871)

    NRC<-c(0:51)

    i<-1
    while (Y>=NRC[i]){
      i<-i+1
    }

    s<-S[i]-(S[i]-S[i-1])*(NRC[i]-Y)/(NRC[i]-NRC[i-1])

    return(s)}
  else{
    return(12.871)} }
```

Corps du programme de la régularisation:

Régularisation de la retenue d'un barrage (Exemple pour l'année 1997)

```
V_final<-rep(0,12)
V_evap<-rep(0,12)
Heures_P<-c(0,0,50,85,70,55,0,0,0,0,0,0)
Evap<-c(320,216,142,96,92,11,182,243,304,383,446,420)
pluie<-c(9.78,17,14,11,10.,13,8.66,7.8,5.5,3.7,2.4,4.89)
V_app<-c(46.500,15.031,5.932,5.113,5.606,4.896,4.405,4.679,7.607,5.306,1.133,3.357,109.564)
D_aep<-rep(0,12)
D_irr<-rep(0,12)
V_init<-rep(0,12)
t_irr<-0.32
t_aep<-0.20
Pui_élec<-0
Vpluie<-rep(0,12)
i<-1
Daep<-6.6 #Pour chaque année , on doit inserer la valeur de Daep , les apports et la volume initial
while (i <=12){

  Vpluie[i]<-
  (SURFACE_RETENUE(NIVEAU_RETENUE(V_init[i]*10^6))+SURFACE_RETENUE(NIVEAU_RETENUE((V_init[i]
  +V_app[i])*10^6))*pluie[i]*10^-3)/2

  V1<-V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-
  (DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])

  V2<-V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-((1-
  t_irr)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])

  V3<-V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-((1-t_irr)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+(1-
  t_aep)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])

  V4<-V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-((1-t_aep)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])
```

```

V5<-V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]
if(V1>(VOLUME_RETENUE(675)*10^-6)){
  D_aep[i]<-0
  D_irr[i]<-0
  V_evap[i]<-0
  V_final[i]<-(VOLUME_RETENUE(675)*10^-6)-Vhp[i]
  V_init[i+1]<-V_final[i]-V_evap[i]
  Pui_élec<-Pui_élec+13*50*1000*9.81*0.88*Heures_P[i]*10^-9
}
else if (V1>0){
  D_aep[i]<-0
  D_irr[i]<-0
  if(NIVEAU_RETENUE((V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]))*10^
6)>660){
    Q<-13*50/(NIVEAU_RETENUE((V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]))*10^
6)-660)
    Vw<-Q*3600*Heures_P[i]
    if(Vw>Vhp[i]){
      V_final[i]<-V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])-
Vhp[i]*10^-6
      Pui_élec<-Pui_élec+13*50*1000*9.81*0.88*Heures_P[i]*10^-9
    }
  }
  else{
    V_final[i]<-V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])-
Vw*10^-6
    Pui_élec<-Pui_élec+Vw*1000*9.81*0.88*(NIVEAU_RETENUE((V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]))*10^
6)-660)/3600
  }
}
else{V_final[i]<-V_init[i]+V_app[i]+Vpluie[i]-
(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]+DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])

```

```

Pui_élec<-Pui_élec+0
}

V_evap[i]<-
((SURFACE_RETENUE(NIVEAU_RETENUE(V_init[i]*10^6))+SURFACE_RETENUE(NIVEAU_RETENUE(V_final[i]
]*10^6)))*Evap[i]*10^-3)/2

V_init[i+1]<-V_final[i]-V_evap[i]
}

else if (V2>0){

D_aep[i]<-0

D_irr[i]<-DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]-(V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-
DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i])

V_evap[i]<-0

V_final[i]<-0

V_init[i+1]<-0

Pui_élec<-Pui_élec+0
}

else if(V3>0){

D_aep[i]<-(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]-(V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-(1-
t_irr)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]))*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Dae
p)[2,i]

D_irr[i]<-
t_irr*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[
1,i]

V_evap[i]<-0

V_final[i]<-0

V_init[i+1]<-0

Pui_élec<-Pui_élec+0
}

else if (V4>0) {

D_aep[i]<-
t_aep*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep
)[2,i]

D_irr[i]<-(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]-(V_app[i]+V_init[i]+Vpluie[i]-(1-
t_aep)*DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]))*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Da
ep)[1,i]

V_evap[i]<-0

```

```

V_final[i]<-0
V_init[i+1]<-0
Pui_élec<-Pui_élec+0
}
else if (V5>0){
  D_aep[i]<-(DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]-
V5)*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[2,i]
  D_irr[i]<-
DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]*100/DEMANDE_EN_EAU(Irrigation,AEPI,34,Daep)[1,i]
  V_evap[i]<-0
  V_final[i]<-0
  V_init[i+1]<-0
  Pui_élec<-Pui_élec+0
}
i<-i+1
}

RESULTAT<-matrix(1:60,nrow=5,ncol = 12,dimnames = list(c("Volume initial","Volume final","Volume
évaporé","Déficit en AEPI","Déficit en
irrigation"),c("Sept","Oct","Nov","Déc","Janv","Févr","Mars","Avr","Mai","Juin","Juil","Aout")))

RESULTAT[1,]<-V_init[1:12]
RESULTAT[2,]<-V_final
RESULTAT[3,]<-V_evap
RESULTAT[4,]<-D_aep
RESULTAT[5,]<-D_irr
return(RERESULTAT)

return(max(D_aep))
return(max(D_irr))
return(Pui_élec)

```


	s	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1997	0.7194	0.5478	0.5478	0.5478	0.5478	0.3828	0.3828	0.3828	0.3828	0.7194	0.7194	0.7194
1998	0.8691565	0.6618348	0.6618348	0.6618348	0.6618348	0.462487	0.462487	0.462487	0.462487	0.8691565	0.8691565	0.8691565
1999	1.018913	0.7758696	0.7758696	0.7758696	0.7758696	0.5421739	0.5421739	0.5421739	0.5421739	1.018913	1.018913	1.018913
2000	1.1686696	0.8899043	0.8899043	0.8899043	0.8899043	0.6218609	0.6218609	0.6218609	0.6218609	1.1686696	1.1686696	1.1686696
2001	1.3184261	1.0039391	1.0039391	1.0039391	1.0039391	0.7015478	0.7015478	0.7015478	0.7015478	1.3184261	1.3184261	1.3184261
2002	1.4681826	1.1179739	1.1179739	1.1179739	1.1179739	0.7812348	0.7812348	0.7812348	0.7812348	1.4681826	1.4681826	1.4681826
2003	1.6179391	1.2320087	1.2320087	1.2320087	1.2320087	0.8609217	0.8609217	0.8609217	0.8609217	1.6179391	1.6179391	1.6179391
2004	1.7676957	1.3460435	1.3460435	1.3460435	1.3460435	0.9406087	0.9406087	0.9406087	0.9406087	1.7676957	1.7676957	1.7676957
2005	1.9174522	1.4600783	1.4600783	1.4600783	1.4600783	1.0202957	1.0202957	1.0202957	1.0202957	1.9174522	1.9174522	1.9174522
2006	2.0672087	1.574113	1.574113	1.574113	1.574113	1.0999826	1.0999826	1.0999826	1.0999826	2.0672087	2.0672087	2.0672087
2007	2.2169652	1.6881478	1.6881478	1.6881478	1.6881478	1.1796696	1.1796696	1.1796696	1.1796696	2.2169652	2.2169652	2.2169652
2008	2.3667217	1.8021826	1.8021826	1.8021826	1.8021826	1.2593565	1.2593565	1.2593565	1.2593565	2.3667217	2.3667217	2.3667217
2009	2.5164783	1.9162174	1.9162174	1.9162174	1.9162174	1.3390435	1.3390435	1.3390435	1.3390435	2.5164783	2.5164783	2.5164783
2010	2.6662348	2.0302522	2.0302522	2.0302522	2.0302522	1.4187304	1.4187304	1.4187304	1.4187304	2.6662348	2.6662348	2.6662348
2011	2.8159913	2.144287	2.144287	2.144287	2.144287	1.4984174	1.4984174	1.4984174	1.4984174	2.8159913	2.8159913	2.8159913
2012	2.9657478	2.2583217	2.2583217	2.2583217	2.2583217	1.5781043	1.5781043	1.5781043	1.5781043	2.9657478	2.9657478	2.9657478
2013	3.1155043	2.3723565	2.3723565	2.3723565	2.3723565	1.6577913	1.6577913	1.6577913	1.6577913	3.1155043	3.1155043	3.1155043
2014	3.2652609	2.4863913	2.4863913	2.4863913	2.4863913	1.7374783	1.7374783	1.7374783	1.7374783	3.2652609	3.2652609	3.2652609
2015	3.4150174	2.6004261	2.6004261	2.6004261	2.6004261	1.8171652	1.8171652	1.8171652	1.8171652	3.4150174	3.4150174	3.4150174
2016	3.5647739	2.7144609	2.7144609	2.7144609	2.7144609	1.8968522	1.8968522	1.8968522	1.8968522	3.5647739	3.5647739	3.5647739
2017	3.7145304	2.8284957	2.8284957	2.8284957	2.8284957	1.9765391	1.9765391	1.9765391	1.9765391	3.7145304	3.7145304	3.7145304
2018	3.864287	2.9425304	2.9425304	2.9425304	2.9425304	2.0562261	2.0562261	2.0562261	2.0562261	3.864287	3.864287	3.864287
2019	4.0140435	3.0565652	3.0565652	3.0565652	3.0565652	2.135913	2.135913	2.135913	2.135913	4.0140435	4.0140435	4.0140435
2020	4.1638	3.1706	3.1706	3.1706	3.1706	2.2156	2.2156	2.2156	2.2156	4.1638	4.1638	4.1638
2021	4.2350133	3.2248267	3.2248267	3.2248267	3.2248267	2.2534933	2.2534933	2.2534933	2.2534933	4.2350133	4.2350133	4.2350133
2022	4.3062267	3.2790533	3.2790533	3.2790533	3.2790533	2.2913867	2.2913867	2.2913867	2.2913867	4.3062267	4.3062267	4.3062267
2023	4.37744	3.33328	3.33328	3.33328	3.33328	2.32928	2.32928	2.32928	2.32928	4.37744	4.37744	4.37744
2024	4.4486533	3.3875067	3.3875067	3.3875067	3.3875067	2.3671733	2.3671733	2.3671733	2.3671733	4.4486533	4.4486533	4.4486533
2025	4.5198667	3.4417333	3.4417333	3.4417333	3.4417333	2.4050667	2.4050667	2.4050667	2.4050667	4.5198667	4.5198667	4.5198667
2026	4.59108	3.49596	3.49596	3.49596	3.49596	2.44296	2.44296	2.44296	2.44296	4.59108	4.59108	4.59108
2027	4.6622933	3.5501867	3.5501867	3.5501867	3.5501867	2.4808533	2.4808533	2.4808533	2.4808533	4.6622933	4.6622933	4.6622933
2028	4.7335067	3.6044133	3.6044133	3.6044133	3.6044133	2.5187467	2.5187467	2.5187467	2.5187467	4.7335067	4.7335067	4.7335067
2029	4.80472	3.65864	3.65864	3.65864	3.65864	2.55664	2.55664	2.55664	2.55664	4.80472	4.80472	4.80472
2030	4.8759333	3.7128667	3.7128667	3.7128667	3.7128667	2.5945333	2.5945333	2.5945333	2.5945333	4.8759333	4.8759333	4.8759333
2031	4.9471467	3.7670933	3.7670933	3.7670933	3.7670933	2.6324267	2.6324267	2.6324267	2.6324267	4.9471467	4.9471467	4.9471467
2032	5.01836	3.82132	3.82132	3.82132	3.82132	2.67032	2.67032	2.67032	2.67032	5.01836	5.01836	5.01836
2033	5.0895733	3.8755467	3.8755467	3.8755467	3.8755467	2.7082133	2.7082133	2.7082133	2.7082133	5.0895733	5.0895733	5.0895733
2034	5.1607867	3.9297733	3.9297733	3.9297733	3.9297733	2.7461067	2.7461067	2.7461067	2.7461067	5.1607867	5.1607867	5.1607867
2035	5.232	3.984	3.984	3.984	3.984	2.784	2.784	2.784	2.784	5.232	5.232	5.232

Tableau 15 : Les besoins mensuels en AEPI depuis 1997 jusqu'à 2035

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Volume initial	0	42.0889402	54.6245622	58.0068084	59.57122	62.3757951	65.4768523	69.117517	72.059202	76.237544	77.042576	73.02073
Volume final	42.741408	55.5737301	58.6889498	60.0447964	62.83863	65.5333612	70.0740875	73.363746	77.914423	79.198339	75.504337	73.284098
Volume évaporé	0.652468	0.9491679	0.6821414	0.4735781	0.46283	0.0565089	0.9565704	1.304544	1.676879	2.155764	2.483607	2.280653
Déficit en AEPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit en irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 16 : Les résultats de la simulation de régularisation pour l'année 1997

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Volume initial	31	62.359465	61.7930529	59.9620226	57.0249828	54.7485095	54.1102586	53.582468	52.08402	48.933015	43.142195	38.660795
Volume final	63.724451	62.893862	60.6772262	57.4972284	55.1882641	54.1617393	54.4322144	53.205677	50.29835	44.779531	40.455683	35.51869
Volume évaporé	1.364986	1.100809	0.7152036	0.4722455	0.4397546	0.05148066	0.8497468	1.121661	1.36533	1.637337	1.794888	1.581229
Déficit en AEPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Déficit en irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 17 : Les résultats de la simulation de régularisation pour l'année 2020

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Volume initial	13.65947	17.67930	15.5689148	14.0024429	13.8165738	15.6259185	16.535844	14.2319259	12.0642307	8.4128572	0.8928259	0
Volume final	18.38609	16.05848	14.3009774	14.0117265	15.8187169	16.5600117	14.6246094	12.5455471	8.9245506	1.2749501	0	0
Volume évaporé	0.70678	0.48957	0.2985345	0.1951527	0.1927984	0.02416771	0.3926835	0.4813164	0.5116935	0.3821242	0	0
Déficit en AEPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Déficit en irrigation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6313216	59.81369

Tableau 18 : Les résultats de la simulation de régularisation pour l'année 2035

CONCLUSION

En guise de conclusion, l'étude effectuée à travers le présent projet traite l'évaluation de l'optimisation de la taille d'un barrage à buts multiples, l'objectif qui a été atteint en deux parties complémentaires à savoir la simulation de l'écrêtement des crues en s'intéressant à la réaction du barrage vis-à-vis à la crue millénale qui a donné des résultats satisfaisant de l'effet du laminage et en deuxième partie, la simulation des performances du barrage exploité à l'aide d'une étude de régularisation des eaux de surfaces qui a permet également d'optimiser les dimensions du barrage de façon à ce que l'ouvrage remplisse pleinement sa mission.

Les simulations effectuées ont été menées par modélisation en langage R, l'atout que nous créditons à **M. HASNAOUI Moulay Driss** notre cher professeur qui nous a proposé la découverte de cet outil très performant en analyse et simulation. En plus, le projet proposé en lui-même était une grande occasion non seulement pour appliquer nos acquis durant les séances du cours « Gestion & optimisation des ressources en eau » mais également pour les raffiner.