

M0007/02B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

seul
la
Faïsto



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
Département Hydraulique
Mémoire de Magister

Spécialité Hydraulique

Présenté par :

NETTARI KAMEL

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION
DE LA GESTION
DES BARRAGES RESERVOIRS
APPLICATION AU BARRAGE DE LA CHEFFIA (ANNABA)**

Directeur de Thèse :

M. DECHEMI N.

Membre de jury :

Président :	M. BALI ABDERRAHIM	PR	ENP Alger
Rapporteur :	M. DECHEMI NOUREDDINE	MC	ENP Alger
Examineur :	M ^{me} . TOUAIBIA BENINA	MC	ENSH Blida
Examineur :	M. CHERRARED MERZOUK	MC	U. BEJAIA
Examineur :	M. ISSOLAH ALI	CC	INA Alger
Invité :	M. MOKRANE BENAÏSSA	PHD	MRE

Année Universitaire : 2001/2002

Ecole Nationale Polytechnique, 10 Avenue Hassen Badi, El Harrach – Alger

Résumé :

Dans le présent travail, nous avons proposé une méthode susceptible d'apporter une contribution au problème de la gestion d'un barrage réservoir où on a intégré deux techniques pour optimiser la gestion du barrage de la Cheffia (Annaba), la première est la restriction à l'irrigation, la deuxième est le lissage suivant la courbe objectif de la demande. La combinaison de ces deux techniques donnent un modèle de gestion optimisé.

Dans le même cadre et afin de mettre en évidence la fiabilité du modèle optimisé, nous avons présenté une méthode qui se base sur l'analyse en composantes principales (ACP) avec laquelle nous avons élaboré un modèle de gestion qui reflète la gestion antérieure du barrage étudié.

La simulation des séries synthétique des apports, évaporation et ETP sont faites à l'aide du modèle GESTOP.

Cette étude constitue une aide à la décision pour le gestionnaire.

Mots clés : Gestion, barrage, optimisation, Annaba

ملخص:

في إطار هذا العمل ، قدمنا طريقة تساهم في حل مشكل تسيير السدود ، حيث أدخلنا في دراستنا هذه تقنيتين من أجل تحقيق تسيير مثالي للنموذج ، و هما : التخفيض في السقي و كذا الصقل وفق البيان المستهدف للطلب . من جهة أخرى قمنا بتطوير نموذج يعتمد على تحليل المركبات الأساسية (ACP) و هذا من أجل مقارنته بالنموذج الأمثل.

أما في ما يخص السلاسل الهيدرولوجية فقد تمت المشابهة عن طريق النموذج . GESTOP
هذه الدراسة ما هي إلا مساعدة على اتخاذ القرار بالنسبة للمسير.
كلمات مفتاحية: تسيير ، سد ، أمثلية ، عنابة.

abstract :

In this work a method is suggested to contribute to the problem of dam's management where two techniques are integrated to optimize the management of Cheffia's dam (Annaba), the first one is the restriction in irrigation, the second one is the smoothing according to the curve objective of the demand. The result (combination) of these two techniques is a model optimized.

On another hand, a model of management which is based on the principal components analysis (ACP) is developed in order to give a comparison between the past management of the dam and the optimized one.

The simulation of the hydrometeorological series of supplies, evaporation and ETP are done thanks to GESTOP model.

This study helps the manger to decide.

Key words : management, dam, optimization, Annaba

Remerciement :

Je tiens à présenter mes vifs remerciements à :

Mon promoteur Monsieur N. DECHEMI qui a proposé et dirigé soigneusement ce modeste travail.

Monsieur A.BALI, Professeur à l'ENP, j'apprécie votre dynamisme à l'égard des technologies avancées. Je souhaite que ce travail sera digne de l'honneur que vous me témoignez en acceptant de présider ce jury.

Que Monsieur B.MOKRANE, PHD au ministère des ressources en eau, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour l'honneur qu'il me fait de juger mes travaux et d'accepter mon invitation.

Que Madame B.TOUAIBIA, MC à l'ENSH, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour l'honneur qu'elle me fait d'examiner ce travail.

Que Monsieur M.CHERRARED, MC à l'université de BEJAIA, soit remercié pour l'honneur qu'il me fait d'examiner ce travail.

Que Monsieur A.ISSOLAH, Chargé de cours à l'INA, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour l'honneur qu'il me fait d'examiner ce travail.

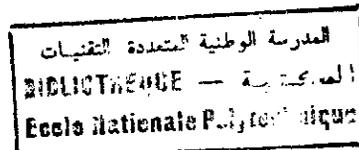
Je tiens à remercier également :

- *Monsieur A.BERMAD, CC à l'ENP , pour son aide et ses précieuses suggestions.*

- *A tous mes enseignants du département hydraulique de l'ENP.*

- *A tous ceux qui ont participé d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail trouvent ici toutes ma gratitude et mon vif remerciement.*

SOMMAIRE



INTRODUCTION GÉNÉRALE	01
CHAPITRE I :	
SITUATION HYDROMETEOROLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES DU SITE	02
I.1 SITUATION HYDROLOGIQUE EN ALGERIE	02
I.2 CARACTERISTIQUE DU SITE.....	02
I.2.1 INTRODUCTION	02
I.2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE	03
I.2.3 CARACTERISTIQUE DU BARRAGE	04
I.2.4 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	04
I.2.5 ENVASEMENT DE LA RETENUE	05
I.2.6 SALINITE	05
I.3 ETUDE ET CRITIQUE DES DONNEES	06
I.3.1 DONNEES DISPONIBLES	06
a) Les apports	06
b) L'évaporation	06
c) L'évapotranspiration	07
d) La pluie	07
e) Autres données	08
f) Conclusion	08
I.3.2 CRITIQUE DES DONNEES	08
a) Test d'homogénéité	12
I.3.3 ETUDE DES APPORTS	12
a) Apports annuels	13
b) Apports mensuels	13
c) Apports saisonniers	14
I.3.4 ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE	14
a) Pluviométrie annuelle	14
b) Pluviométrie mensuelle	15
c) Pluviométrie saisonnière	16
I.3.5 ETUDE DE L'EVAPORATION	16
a) Evaporation annuelle	16
b) Evaporation mensuelle	17
I.3.6 ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION	17
a) Evapotranspiration annuelle	17
CHAPITRE II :	
LA SIMULATION PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	18
II.1 INTRODUCTION	18
II.2 PRESENTATION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	18
II.2.1 AJUSTEMENT DU NUAGE	19
a) Premier cas : Ajustement du nuage par un axe	20
b) Deuxième cas : Ajustement du nuage par plan	21
c) Troisième cas : Ajustement du nuage par un sous espace vectoriel	22
II.2.2 SIGNIFICATION DES AXES FACTORIELS ET NOTION DE PROXIMITE	22
a) Détermination et signification des axes	22
b) Notion de proximité	23
II.2.3 L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES NORMEES	25

II.3 LA SIMULATION	27
II.3.1 LE MODELE DE SIMULATION GESTOP	27
II.3.2 SIMULATION DES DIFFERENTS PARAMETRES DU MODELE	30
II.3.3 ETUDE DE RESULTATS DE SIMULATION	32
a) Simulation des débits	32
b) Simulation des ETP	34
c) Simulation des évaporations	36
d) Simulation des pluies	38
e) Conclusion	39
CHAPITRE III :	
METHODES DE GESTION DES BARRAGES RESERVOIRS	40
III.1 GENERALITES	40
III.1.1 Gestion à but unique	41
III.1.2 Gestion à buts multiples	41
III.2 METHODES D'OPTIMISATION D'UN RESERVOIR	42
III.2.1 FONCTION ECONOMIQUE	42
III.2.2 LES CONTRAINTES	42
III.2.3 L'ACTUALISATION	44
III.2.4 OPTIMISATION A OBJECTIFS MULTIPLES	44
a) La programmation linéaire	45
b) La programmation dynamique	45
c) Développement des méthodes d'optimisation d'un réservoirs	46
d) Critique de ces méthodes	47
CHAPITRE IV :	
MODELE DE GESTION	48
IV.1 DETERMINATION DES BESOINS EN EAU	48
IV.1.1 BESOINS EN EAU POTABLE	48
IV.1.2 BESOINS EN EAU INDUSTRIELLE	49
IV.1.3 BESOINS EN EAU AGRICOLE	49
IV.2 MODELE DE GESTION BASE SUR L'ACP	50
IV.2.1 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES MENSUELLES	51
a) Analyse du cercle de corrélations	51
b) Conclusion	53
c) Synthèse	53
IV.2.2 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES SAISONNAIES	54
a) Analyse du cercle de corrélations	55
b) Conclusion	55
IV.2.3 ETUDE DE CORRÉLATION	55
IV.2.4 ORGANIGRAMME GÉNÉRAL DU MODÈLE BASÉ SUR L'ACP	56
IV.3 MODELE DE GESTION OPTIMISE	57
IV.3.1 RESTRICTION A L'IRRIGATION	58
IV.3.2 LE LISSAGE SUIVANT LA COURBE OBJECTIF DE LA DEMANDE	60
IV.4 INTERPRETATION DES RESULTATS	62
CONCLUSION GÉNÉRALE	73

Annexe I

Variation de la pluviométrie annuelle	76
Variation de la pluviométrie mensuelle	77
Pluviométrie mensuelle interannuelle	78
Ajustement par la loi normale des pluies annuelles	79
Variation des débits mensuels	80
Variation annuelle des débits	81
Débits moyens mensuels interannuels	82
Ajustement par la loi normale des débits annuels	83
Variation mensuelle de l'évapotranspiration	84
Evapotranspiration mensuelle interannuelle	85
Ajustement par la loi normale des ETP	86
Variation mensuelle de l'évaporation	87
Evaporation mensuelle interannuelle	88
Ajustement par la loi normale des évaporations	89

Annexe II

La reconstitution avec 5 composantes principales.....	90
La reconstitution avec 7 composantes principales.....	91
La reconstitution avec 10 composantes principales.....	92
Ajustement par la loi normale des débits1 annuels	93
Ajustement par la loi normale des débits2 annuels	94
Ajustement par la loi normale des débits3 annuels	95
Ajustement par la loi normale des ETP1 annuelles	96
Ajustement par la loi normale des ETP2 annuelles	97
Ajustement par la loi normale des ETP2 annuelles	98
Ajustement par la loi normale des EVAP1 annuelles	99
Ajustement par la loi normale des EVAP2 annuelles	100
Ajustement par la loi normale des EVAP3 annuelles	101
Ajustement par la loi normale des pluies1 annuelles	102
Ajustement par la loi normale des pluies2 annuelles	103
Ajustement par la loi normale des pluies2 annuelles	104

Annexe III

Corrélation affluents -défluents mensuels.....	105
Résultats de l'analyse en composantes principales.....	106

Annexe IV

Résultat du modèle optimisé	113
-----------------------------------	-----

Bibliographie	123
----------------------------	------------

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1.1** : Stations pluviométriques du bassin versant
Tableau 1.2 : Caractéristiques du barrage de la CHEFFIA
Tableau 1.3 : Caractéristiques du bassin versant
Tableau 1.4 : Estimation du taux d'abrasion de la retenue du barrage
Tableau 1.5 : Salinité des eaux à la station de la CHEFFIA
Tableau 1.6 : Valeurs des apports disponibles
Tableau 1.7.a : Apports annuels (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.7.b : Apports annuels (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.7.c : Apports annuels (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.8 : Caractéristiques des apports annuels (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.9 : Variation mensuelle interannuelle des apports (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.10 : Répartition saisonnière des apports (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.11 : Pluviométrie annuelle (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.12 : Pluviométrie mensuelle interannuelle (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.13 : Répartition saisonnière de la pluie (barrage de la CHEFFIA)
Tableau 1.14 : Evaporation mensuelle interannuelle (barrage de la CHEFFIA)
- Tableau 2.1** : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des débits
Tableau 2.2 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des débits
Tableau 2.3 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des ETP
Tableau 2.4 : moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des ETP
Tableau 2.5 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des évaporations
Tableau 2.6 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des évaporations
Tableau 2.7 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des pluies
Tableau 2.8 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des pluies
- Tableau 4.1** : Evolution du taux d'accroissement pour la région de Annaba
Tableau 4.2 : Evolution des besoins en eau potable pour la région de Annaba
Tableau 4.3 : Les composantes principales entrant à la gestion du barrage
Tableau 4.4 : Les valeurs propres mensuelles et leur contribution
Tableau 4.5 : Le découpage des saisons
Tableau 4.6 : Les valeurs propres saisonnières de la première CP et leur contribution
Tableau 4.7 : Les valeurs propres saisonnières de la deuxième CP et leur contribution
Tableau 4.8 : Les valeurs propres saisonnières de la troisième CP et leur contribution
Tableau 4.9 : Les valeurs propres saisonnières de la quatrième CP et leur contribution

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.1** : Situation géographique du bassin versant
- Figure 1.2** : Ajustement de la série historique des débits par la loi normale
- Figure 1.3** : Ajustement de la série historique des pluies par la loi normale
- Figure 1.4** : Ajustement de la série historique des évaporations par la loi normale
- Figure 1.5** : Ajustement de la série historique des évapotranspirations par la loi normale
- Figure 2.1** : Ajustement du nuage de point L_i sur R^p
- Figure 2.2** : Ajustement du nuage de point C_j sur R^q
- Figure 2.3** : Ajustement d'un point par un axe
- Figure 2.4** : Ajustement du nuage de point par un axe
- Figure 2.5** : Représentation de la distance entre deux points
- Figure 2.6** : Projection d'un nuage de points L_i (des individus) sur plan factoriel
- Figure 2.7** : Projection d'un point sur axe factoriel
- Figure 2.8** : Diagramme de simulation par le modèle GESTOP
- Figure 2.9** : Diagramme de simulation des différents paramètres du modèle GESTOP
- Figure 3.1** : Organigramme général de la gestion des barrages.
- Figure 4.1** : Cercle de corrélations entre la première et la deuxième CP
- Figure 4.2** : Cercle de corrélations entre la première et la troisième CP
- Figure 4.3** : Cercle de corrélations entre la deuxième et la troisième CP
- Figure 4.4** : Organigramme général du modèle de gestion basé sur l'ACP
- Figure 4.5** : Organigramme général du modèle de gestion par la restriction à l'irrigation
- Figure 4.6** : Courbe objectif de la demande
- Figure 4.7** : Organigramme général du modèle de gestion avec lissage
- Figure 4.8** : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP).
- Figure 4.9** : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP).
- Figure 4.10** : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP).
- Figure 4.11** : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP).
- Figure 4.12** : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation).
- Figure 4.13** : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation).
- Figure 4.14** : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation).
- Figure 4.15** : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation).
- Figure 4.16** : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle avec lissage).
- Figure 4.17** : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage).

Figure 4.18 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage).

Figure 4.19 : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage).

Figure 4.20 : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle optimisé).

Figure 4.21 : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé).

Figure 4.22 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé).

Figure 4.23 : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé).

LISTE DES SYMBOLES

LES ABREVIATIONS :

- ONS : Office national des statistiques
 ANB : Agence nationale des barrages
 ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/mois)
 ACP : Analyse en composantes principales
 AFF : Les affluents
 DEF : Les défluent
 FUI : Les fuites
 VID : Le vidange de fond
 DEV : Les déversements
 EVA : L'évaporation
 AEP : L'alimentation en eau potable
 IRR : L'irrigation
 AEI : L'alimentation en eau industrielle
 C_TOT : La consommation totale
 PLU : La pluie
 V_1M : Le volume au début du mois
 V_FM : Le volume à la fin du mois
 T_REM : Le taux de remplissage

LES VARIABLES ET LES CONSTANTES

- f_{ob} : Variable de la loi de FISHER
 ν_1, ν_2 : Paramètres de loi de FISHER
 α : Variable de la loi de FISHER
 t_{ob} : Variable de la loi de STUDENT
 ca, cb : Coefficient pour l'estimation du rayonnement global
 CA, CB : Coefficient régionaux
 Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante
 γ : Constante psychométrique
 L : Chaleur latente d'évaporation de l'eau (j/Kg)
 R_{GO} : Radiation solaire directe en l'absence de l'atmosphère (j/m²/jour)
 r : Albédo de la surface évaporante
 n_* : Durée réelle d'insolation (heure et dixième)
 N_* : Durée maximale possible d'insolation (heure et dixième)
 σ_* : Constante de STEPHAN – BOLTZMAN (4.93 10³ J/m².Kjour)
 T_a : Température moyenne de la période considérée (K°)
 e_d : Pression de la vapeur d'eau mesurée sous abri (Hp_a)
 e_s : Pression maximale de la vapeur d'eau pour T_a (Hp_a)
 U : vitesse moyenne du vent mesuré à 2m du sol (m/s)
 X : Matrice des valeurs brutes des variables et des individus
 X' : La matrice transposée de X
 Y : Matrice des valeurs centrées réduites des variables et des individus
 N : Nombre d'observation d'une variable lié à un événement hydrométéorologique
 x_{ij} : Valeur brute liée à la variable i et l'individu j de la matrice X
 y_{ij} : Valeur centrée réduite liée à la variable i et l'individu j de la matrice Y

- p : Nombre des variables pour l'individu j
 q : Nombre des observations pour une variable j
 L_i : La $i^{\text{ème}}$ ligne de la matrice d'observation X
 C_j : La $j^{\text{ème}}$ colonne de la matrice d'observation X
 R^p, R^q : L'espace engendré par p, q dimensions
 F_u, F_v : L'axe engendré par le vecteur colonne u, v
 u, v : Le vecteur unitaire lié à l'axe F_u, F_v
 l_i : La projection de L_i sur F_u
 o : L'origine des coordonnées
 λ_i : Valeur propre de la matrice Y
 ϕ, Ψ : La forme de LAGRANGE liée à la valeur propre λ_1 et λ_2
 \wedge : La matrice des valeurs propres
 $Tr(X)$: Trace de la matrice X
 $d(L_m, L_n)$: La distance euclidienne entre les points : L_m et L_n de R^p
 \bar{X}_j : La valeur moyenne de la variable j
 σ_j : La valeur de l'écart type de la variable j
 $\overline{f_m f_n}$: La projection du vecteur $(L_m - L_n)$ sur F_u
 C_j^* : La $j^{\text{ème}}$ colonne de la matrice centrée réduite Y
 L_i^* : La $i^{\text{ème}}$ ligne de la matrice centrée réduite Y
 Γ : La matrice de corrélation
 F_i : Les vecteurs propres de la matrice associée aux valeurs propres λ_i
 z : La fonction économique propre à un système hydrique
 V_t : L'état du réservoir au début de la période t ;
 I_t : Volume des apports naturels parvenant au réservoir durant la période t ;
 Q_t : Volume prélevé du réservoir durant cette période ;
 E_t : Volume évaporé du réservoir durant cette période ;
 $V_{C \min}$: Volume minimal critique du réservoir ;
 $V_{C \max}$: Volume maximal critique du réservoir ;
 $Q_{C \min}$: Volume minimal critique à la sortie du réservoir ;
 $Q_{C \max}$: Volume maximal critique à la sortie du réservoir ;
 M : Débit moyen interannuel ;
 Q_i : Série des débits naturels pour une période donnée ;
 R_i : Série des débits régularisés ;
 O_i : Série des débits optimales
 x_i : Vecteurs de variables de décision ;
 d_i : Vecteurs de coefficients de la fonction économique
 τ : Taux d'actualisation
 ϑ : Valeur actuelle
 ζ : Le coût

INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation de la demande en eau de différents usagers (domestique, industriel et agricole), associé à la rareté des ressources hydriques dans notre pays (dont le climat est caractérisé par des périodes de sécheresse de plus en plus accentuées), nécessite non seulement de prendre en compte les risques de pénuries, mais aussi de gérer cette ressource d'une manière optimale.

Cependant la gestion de cette précieuse ressource n'est pas aussi facile, à cause de la stochasticité des apports naturels et des demandes. Un risque de défaillance est toujours lié aux décisions prises.

L'exploitation des barrages réservoirs a pour but de choisir les prélèvements à effectuer au début de chaque période de décision de façon à atteindre le mieux possible, les objectifs imposés. Afin d'aider les ingénieurs, planificateurs, économistes et décideurs à choisir le système de ressource adéquat et à optimiser la gestion, il est nécessaire de développer des méthodes rigoureuses telles que : la simulation, la programmation linéaire, la programmation dynamique, etc.

Actuellement la gestion des barrages réservoirs en Algérie ne se fait pas d'une manière optimale, cela a causé des problèmes dans les répartitions des ressources entre l'agriculture, l'alimentation en eau potable et l'industrie.

La présente étude est initiée dans l'objectif d'établir une méthodologie de gestion et de contribuer à l'affrontement des problèmes liés à la rareté de la ressource en eau en Algérie.

L'approche méthodologique mise au point, se divise en quatre chapitres dont le premier est consacré à la situation hydrométéorologique et aux caractéristiques du site choisi, le deuxième chapitre traite de la simulation des séries hydrométéorologiques par la méthode de l'analyse en composantes principales, le troisième chapitre définit les méthodes de gestion des barrages réservoirs et le dernier chapitre est consacré à l'élaboration d'un modèle de gestion. L'étude est sanctionnée par une conclusion générale.

CHAPITRE I : SITUATION HYDROMETEOROLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES DU SITE

I.1 SITUATION HYDROLOGIQUE EN ALGERIE :

La sécheresse qui sévit sur notre pays est marquée par une faible pluviométrie et se traduit par des apports inférieurs à la moyenne au niveau des barrages. En réalité la notion de sécheresse n'est pas un concept exceptionnel dans notre pays par l'effet de la nature du climat du type méditerranéen soumis à l'influence du climat saharien, il en résulte que les précipitations se caractérisent par leur faiblesse et leur irrégularité. La moyenne annuelle de la pluviométrie varie dans la partie non saharienne entre 200 mm à 1000 mm [22].

La séquence d'écoulement déficitaire dans les bassins versant a pour effet notable le déstockage des barrages. Le pouvoir de régulation interannuelle des barrages est fatalement limité, donc vulnérable. Par ailleurs l'état des eaux souterraines a également subi les répercussions de la sécheresse, baisse du niveau des nappes et diminution du débit des ressources ce qui influe sur le rôle stratégique joué par les nappes au moment des pénuries, cette période défavorable a confirmé la nécessité de disposer à tout moment de réserves aussi importante que possible.

Parmi les conséquences liées directement à la sécheresse on peut citer :

1. La baisse des quantités d'eau mobilisables à partir des autres retenues comme résultat explicite.
2. La diminution de la pluviométrie dans les périmètres d'irrigation, or celle-ci contribue à satisfaire les besoins en eau des cultures, ce qui impose son remplacement par des irrigations supplémentaires.
3. L'augmentation de la demande climatique (augmentation de l'évapotranspiration).

L'importance primordiale de l'eau dans notre pays est confirmée davantage, d'où la nécessité impérieuse de gérer cette ressource précieuse d'une façon rigoureuse, même en dehors des périodes de sécheresse.

I.2 CARACTERISTIQUES DU SITE :

I.2.1 INTRODUCTION :

Dans notre travail, nous allons prendre comme exemple le barrage de la Cheffia qui est le seul barrage en Algérie destiné à satisfaire les trois secteurs (alimentation en eau potable, alimentation en eau industrielle et l'irrigation) à savoir :

- La ville d'Annaba et ses industries ;
- El Hadjar et son complexe sidérurgique ;
- Le périmètre d'irrigation de Bounamoussa et celui de la Cheffia.

Dans ce contexte on va développer une méthode qui permettra la satisfaction des besoins en eau dans le cas possible et de mieux couvrir les situations futures graves à l'aide de décisions à prendre qui reposent sur les résultats obtenus et de faire partager cette ressource d'une manière satisfaisante dans le cas contraire.

Les précipitations sont observées au niveau de la station de la Cheffia. Nous avons sept stations pluviométriques[22] autour du bassin versant qui sont les suivantes :

Tableau 1.1 : Stations pluviométriques du bassin versant

N°	STATION	CODE
1	BOU HADJAR	03.15.03
2	AIN KERMA	03.16.04
3	BOUTELDJA	03.17.01
4	MAIZ BACHIR	03.15.02
5	SOUK AHRAS	12.01.02
6	BEN M'HIDI	03.17.06
7	CHIANI	14.06.08

Ces postes sont ceux qui couvrent le bassin versant de Bounamoussa et qui engendrent l'information nécessaire à la modélisation des apports.

I.2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le barrage de la Cheffia se situe à 50 km de la ville d'Annaba sur la route nationale N° 105, qui va de Asfour à Bouhadjar (coordonnées du site sont : X = 967.6 Y = 392.9) sur l'oued Bou-Namoussa celui-ci est un affluent de l'oued Mafragh, qui appartient au bassin versant des « Côtiers Constantinois », le bassin versant oued Bou-Namoussa a une superficie de 575 Km², est se situe à proximité du bassin versant de l'oued El Kebir Est, de l'oued Seybousse et de l'oued Medjerdah.

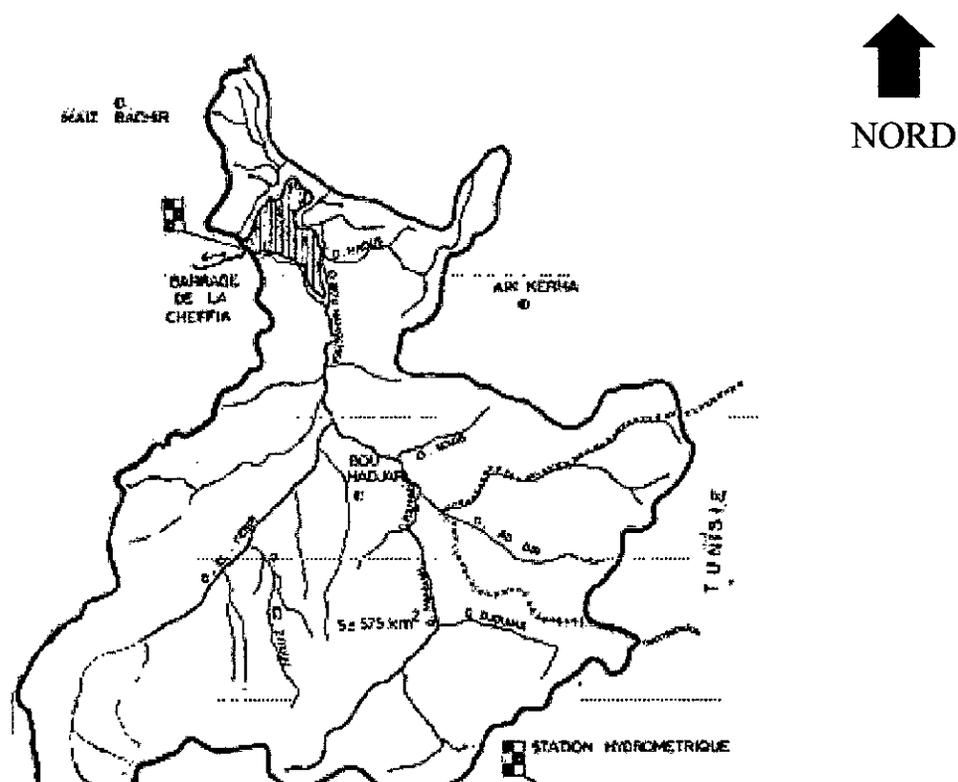


Figure 1.1 : Situation géographique du bassin versant [21]

I.2.3 CARACTERISTIQUES DU BARRAGE :

Le barrage de la Cheffia régularise environ 95 Hm³ par an soit 80 % du débit moyen annuel de l'oued Bou-Namoussa[22], le tableau suivant résume ces caractéristiques :

Tableau 1.2 : Caractéristiques du barrage de la Cheffia [22]

Hauteur de la digue	58 m
Longueur de la crête	610 m
Longueur maximale de la base	214 m
Largeur de la crête	10 m
Côte maximale de la retenue	165 m
Volume de la retenue	168.483 Mm ³
Surface de la retenue	9870000 m ²
Pluviométrie moyenne annuelle	960 mm
Envasement moyen annuel	0.2 Hm ³
Evaporation moyenne annuelle	8000000 m ³
Volume mort	13 Hm ³
Taux d'envasement	410 t/km ² /an 240000 m ³ /an
Salinité moyenne	0.04 g/l

I.2.4 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT :

Le bassin versant de l'oued Bou-Namoussa est essentiellement montagneux, le relief est simple : les plissements se composent de chenaux d'orientation générale NE-SO, géologiquement le bassin versant est constitué de marnes Marno-calcaire et calcaire, on y trouve des argiles et des grès, on peut dire que le bassin étudié est géologiquement imperméable (cf. chapitre 1.2 [22]). Les alluvions occupent d'assez grandes surfaces dans la cuvette. Le tableau suivant résume ces caractéristiques :

Tableau 1.3 : Caractéristiques du bassin versant [22]

Superficie	575km ²
Périmètre	106 Km
Indice de compacité	2.14
Longueur du rectangle équivalent	37.8 Km
Débit moyen annuel	150 Hm ³
Indice de pente de roche	0.17
Coefficient de torrentialité	19.0
Densité de drainage	301 Km/Km ²
Degré de forestation	50 %

La précipitation moyenne annuelle sur le bassin de l'oued Bounamoussa a été déterminée à partir [22] de la carte de GAUSSEN et VERNET, qui donne une valeur de 990 mm, sur la base d'une série de 50 années d'observation. D'après l'analyse des précipitations sur le bassin versant de Mafregh (méthode de TAIESSEN), la pluie moyenne interannuelle est estimée à 960 mm et c'est celle-ci qui est considérée comme base des études sur les apports annuelles.

I.2.5 ENVASEMENT DE LA RETENUE :

D'après une étude de l'envasement faite sur la régularisation du barrage [22], l'estimation des apports solides de l'oued-Bounamoussa au site du barrage de la Cheffia mène à des résultats assez cohérents qui sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Estimation du taux d'abrasion de la retenue du barrage [22]

Taux d'abrasion en T/Km ² /an	Méthodes employées
410	D'après les prélèvements
420	A partir du coefficient de torrentialité
480	Estimation issue de l'abaque des aires d'irrigation
320	D'après l'étude SAMIE

D'après la même étude, le taux d'abrasion admis au niveau de la station de la Cheffia est de : 410 T/Km²/an correspondant à un envasement moyen annuel de : 240.000 m³/an.

Cette faible valeur d'envasement est due essentiellement au rôle de la surface de végétation très importante à la surface du bassin (Degré de forestation estimé à 50 %)

I.2.6 SALINITE :

A cause du degré de forestation important et la nature géologique de la retenue, les eaux du barrage de la Cheffia sont relativement peu chargées de sels et en matières en suspension par rapport aux autres barrage d'Algérie.

Durant la période d'observation (1946 à 1959) à la station de la Cheffia, des prélèvements en vue de l'analyse de la salinité ont été effectués en moyenne une fois par jour,

mais il existe de nombreuses lacunes dans les séries de mesures, nous pouvons avancer les chiffres suivants [22] :

Tableau 1.5 : Salinité des eaux à la station de la Cheffia

Salinité maximum mensuelle	0.06 g/l
Salinité moyenne mensuelle	0.04 g/l
Salinité minimum mensuelle	0.02 g/l

I.3 ETUDE ET CRITIQUE DES DONNEES :

La critique des données est un passage obligatoire pour valider les résultats, parce que toute entrée fausse, génère une sortie fausse. La validité théorique d'une étude hydrologique dépend essentiellement de la disponibilité et de la qualité des données.

I.3.1 DONNEES DISPONIBLES :

a) Les apports :

Nous disposons d'une série d'observation de 34 années distribuée comme suit :

- 17 années d'observation : de 1946/47 à 1973/74 avec une interruption de 1955/56 à 1966/67, période durant laquelle le barrage de la Cheffia a été construit, et ces données sont mesurées avec un pas de temps mensuel.
- 17 années (1978/79 à 1994/95) avec un pas de temps journalier.

Le tableau suivant résume ces données :

Tableau 1.6 : valeurs des apports disponibles

Type de donnée	Périodes disponibles
Avec un pas de temps mensuel	De 1946/47 à 1954/55 De 1966/67 à 1973/74
Avec un pas de temps journalier	De 1978/1979 à 1994/95

b) L'évaporation :

C'est un facteur très important dans notre pays à cause du climat semi-aride. Le barrage de la Cheffia est équipé d'un dispositif de mesure de l'évaporation, il s'agit d'un « bac Colorado » qui fonctionne depuis 1946.

Nous disposons également de mesures de l'évaporation s'étalant de 1967 à 1996 soit 30 années de données. Certaines valeurs sont données avec un pas de temps hebdomadaire, les autres avec un pas de temps journaliers (à partir de l'année 1978), en se basant sur les cotes et la surface de la retenue actuelle puis en considérant que l'évaporation dans la retenue est égale à la différence entre deux cotes (mesurée par le bac Colorado) multipliée par 0.78.

c) L'évapotranspiration :

Il s'agit d'une grandeur déterminée à partir des données météorologiques suivantes :

- Température moyenne de l'air ;
- Humidité relative de l'air ;
- Insolation ;
- Vitesse de vent.

Cette grandeur est calculée à partir de la formule de PENMAN-MONTEITH, pour une période de 30 années (1967-1996), le pas de temps commun entre ces paramètres est le mois.

La formule de PENMAN est donnée par l'expression [8] :

$$ETP = \frac{\Delta/\gamma}{L(1+\Delta/\gamma)} \left[R_{GO}(1-r) \left(ca + cb \cdot \frac{n_*}{N_*} \right) - \sigma_* T_a^4 (0.56 - 0.079 \sqrt{e_d}) \left(0.10 + 0.90 \frac{n_*}{N_*} \right) \right] + \frac{0.26}{1+\Delta/\gamma} (e_a - e_d) (CA + CBU)$$

avec :

- ca, cb : Coefficient pour l'estimation du rayonnement global
- CA, CB : Coefficients régionaux
- Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante
- γ : Constante psychométrique
- L : Chaleur latente d'évaporation de l'eau (j/Kg)
- R_{GO} : Radiation solaire directe en l'absence de l'atmosphère (j/m²/jour)
- r : Albédo de la surface évaporante
- n_* : Durée réelle d'insolation (heure et dixième)
- N_* : Durée maximale possible d'insolation (heure et dixième)
- σ_* : Constante de STEPHAN – BOLTZMAN (4.93 10³ J/m².Kjour)
- T_a : Température moyenne de la période considérée (K°)
- e_d : Pression de la vapeur d'eau mesurée sous abri (Hp_a)
- e_a : Pression maximale de la vapeur d'eau pour T_a (Hp_a)
- U : vitesse moyenne du vent mesuré à 2m du sol (m/s)

On prend :

$$\begin{aligned} ca &= 0.18 \\ CA &= 1.00 \\ cb &= 0.62 \\ CB &= 0.54 \end{aligned}$$

d) La pluie :

Nous disposons d'une série d'observation de pluie de 40 années, c'est-à-dire de 1955/56 à 1994/95 donnée par un pas de temps journalier.

e) Autres données :

Nous disposons également d'un certain nombre de données (1978/79-1994/95) soit 17 ans, de paramètres considérés comme entrés dans les modèles de gestion à entreprendre et qui sont :

- Défluent (débits sortant du barrage)
- Volume de fuites
- Volume de la vidange de fond
- Volume déversé
- Volume donné à l'AEP
- Volume donné à l'irrigation
- Volume donné à l'AEI (besoins industriels)
- Volume de la consommation totale
- Volume d'eau dans le barrage à la fin du mois
- Volume d'eau dans le barrage au début du mois
- Taux de remplissage de barrage

f) Conclusion :

Certaines données qui sont à notre disposition ne sont pas continues dans le temps, elles sont représentées par pas de temps différents. Pour les apports, par exemple, nous allons travailler avec une seule série qui est la plus grande (1978/1979 à 1995/96 soit 17 ans) avec un pas de temps journalier, ce qui va nous permettre d'élargir le domaine du travail, soit avec l'ensemble des séries mesurées (pas de temps différents). Mais lorsque la plupart des autres grandeurs sont données par un pas de temps mensuel (c'est-à-dire écarter plusieurs facteurs entrant dans la gestion du barrage), nous serons obligé de travailler avec un pas de temps commun (mensuel).

La question qui se pose maintenant : est-ce que une série de 17 ans avec un pas de temps mensuel est suffisante pour faire une simulation ?

Pour surmonter ce type de problèmes, nous serons obligés de simuler avec des modèles qui n'exigent pas la chronologie, l'analyse en composantes principales est l'une de ces méthodes, elle va nous permettre de traiter ces données sans aucun problème.

1.3.2 CRITIQUE DES DONNEES :

a) Test d'homogénéité :

Nous ne pouvons pas faire une analyse statistique d'un échantillon composé de N observations d'une variable hydrologique si certaines de ces N observations présentent des erreurs systématiques rendant l'échantillon hétérogène.

Nous disposons de trois échantillons :

- 1^{er} échantillon : (9 années) 1946/47 à 1954/55

Tableau 1.7.a : Apports annuels (barrage de la Cheffia)

Année	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55
Apport annuel (Hm ³)	152.56	42.22	180.77	124.89	40.98	187.27	248.95	139.86	128.42

- 2^{ème} échantillon : (8 années) 1966/67 à 1973/74

Tableau 1.7.b : Apports annuels (barrage de la Cheffia)

Année	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74
Apport annuel (Hm ³)	39.52	121.49	51.09	82.00	128.99	144.97	243.85	91.00

- 3^{ème} échantillon : (17 années) 1978/79 à 1994/95

Tableau 1.7.c : Apports annuels (barrage de la Cheffia)

Année	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87
Apport annuel (Hm ³)	93.59	111.34	82.67	253.15	225.61	48.26	338.26	24.91	18.47

Année	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95
Apport annuel (Hm ³)	19.27	179.38	131.02	78.24	62.77	60.89	168.10	12.04

Soient \bar{x}_1, \bar{x}_2 et \bar{x}_3 respectivement les moyennes des 3 échantillons et soient σ_1, σ_2 et σ_3 leurs écarts types, le tableau suivant donne les valeurs des moyennes et des écarts types des échantillons :

Tableau 1.8 : Caractéristiques des apports annuels (barrage de la Cheffia)

	Désignation	Taille (n)	Moyenne (Hm ³)	Ecart type (Hm ³)	C _v
1 ^{er} échantillon	N ₁	9	138.43	66.74	0.48
2 ^{ème} échantillon	N ₂	8	112.86	64.53	0.57
3 ^{ème} échantillon	N ₃	17	112.23	93.01	0.83
Toute la série	N	34	119.32	79.33	0.66

Test de FISHER :

Ce test permet de vérifier l'homogénéité des écarts types des deux échantillons. Soit la variable f_{ob} qui suit la loi statistique de FISHER, définie par ses deux paramètres ν_1 et ν_2 avec :

$$\nu_1 = n_1 - 1 \text{ et } \nu_2 = n_2 - 1$$

$$f_{ob} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad \sigma_1 > \sigma_2$$

Entre N₁ et N₂ :

$$n_1 = 9, \text{ et } n_2 = 8$$

$$\nu_1 = 8, \text{ et } \nu_2 = 7$$

$$f_{ob} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1.069$$

En utilisant le tableau $F(\nu_1, \nu_2)$ [7], et avec un degré de confiance $\alpha = 95\%$, $F(8,7) = 3.50$. Nous avons donc $f_{ob} < F(8,7)$, d'où l'hypothèse de l'homogénéité de N_1 et N_2 est acceptée.

Entre N_1 et N_3 :

$$n_1 = 9, \text{ et } n_3 = 17$$

$$\nu_1 = 8, \text{ et } \nu_3 = 16$$

$$f_{ob} = \frac{\sigma_3^2}{\sigma_1^2} = 1.942$$

D'après le tableau $F(\nu_1, \nu_3)$ [7], pour un degré de confiance $\alpha = 95\%$, $F(16,8) = 2.60$.

Nous avons donc $f_{ob} < F(16,8)$, par conséquent l'hypothèse de l'homogénéité de N_1 et N_3 est acceptée.

Entre N_2 et N_3 :

$$n_2 = 8, \text{ et } n_3 = 17$$

$$\nu_2 = 7, \text{ et } \nu_3 = 16$$

$$f_{ob} = \frac{\sigma_3^2}{\sigma_2^2} = 2.077$$

D'après le tableau $F(\nu_2, \nu_3)$ [7], pour le même degré de confiance $\alpha = 95\%$, $F(16,7) = 2.64$.

Nous avons donc $f_{ob} < F(16,8)$, alors l'hypothèse de l'homogénéité de N_2 et N_3 est acceptée.

Pour confirmer l'hypothèse de l'homogénéité des trois échantillons, déterminons l'intervalle de confiance des écarts types.

L'intervalle de confiance de l'écart type :

L'intervalle de confiance de l'écart type est donné par :

$$\sigma - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} \leq \sigma_x \leq \sigma + U_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, nous avons $U_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$

$$51.15 \leq \sigma_x \leq 107.50$$

On remarque que les écarts types de tous les échantillons appartiennent à l'intervalle de confiance de l'écart type, ce qui confirme l'homogénéité des échantillons.

Test de STUDENT :

Ce test permet de vérifier l'homogénéité des moyennes pour deux échantillons :
Soit la valeur t_{ob} donnée par :

$$t_{ob} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}} \quad \bar{x}_1 > \bar{x}_2$$

La valeur t_{ob} suit la loi de probabilité de STUDENT de $(n_1 + n_2 - 2)$ degré de liberté.

Entre N_1 et N_2 :

$n_1 = 9$, et $n_2 = 8$

$$t_{ob} = 0.751$$

En utilisant le tableau $t_{(n_1+n_2-2)}$ [7], et avec un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, $t_{15} = 2.131$.

Nous avons donc $t_{ob} < t_{15}$, alors l'hypothèse de l'homogénéité de N_1 et N_2 est acceptée.

Entre N_1 et N_3 :

$n_1 = 9$, et $n_3 = 17$

$$t_{ob} = 0.746$$

D'après le tableau $t_{(n_1+n_3-2)}$ [7], pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, $t_{24} = 2.064$.

Nous avons donc $t_{ob} < t_{24}$, donc l'hypothèse de l'homogénéité de N_1 et N_3 est acceptée.

Entre N_2 et N_3 :

$n_2 = 8$, et $n_3 = 17$

$$t_{ob} = 0.017$$

D'après le tableau $t_{(n_2+n_3-2)}$ [7], pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, $t_{23} = 2.069$.

Nous avons donc $t_{ob} < t_{23}$, ce qui fait que l'hypothèse de l'homogénéité de N_2 et N_3 est acceptée.

Ainsi pour confirmer l'hypothèse de l'homogénéité des trois échantillons, déterminons l'intervalle de confiance des moyennes.

L'intervalle de confiance de la moyenne :

L'intervalle de confiance de la moyenne est donné par :

$$\bar{x} - U_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\bar{x}}{\sqrt{n}} \leq \bar{x}_x \leq \bar{x} + U_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\bar{x}}{\sqrt{n}}$$

pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, nous avons $U_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$

$$79.21 \leq \bar{x}_x \leq 159.42$$

On remarque que les moyennes de tous les échantillons appartiennent à l'intervalle de confiance de la moyenne de série d'observation.

Conclusion :

D'après les tests que nous avons effectués sur les apports, les échantillons de la série d'observation sont homogènes.

I.3.3 ETUDE DES APPORTS :

Les apports jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrique du cycle de l'eau. Les apports sont influencés par :

- 1- La hauteur totale annuelle, saisonnière, mensuelle et journalière des précipitations et avec leur distribution sur la surface totale du bassin versant ;
- 2- La surface du bassin versant ;
- 3- La forme du réseau hydrographique du bassin versant ;
- 4- La perméabilité du bassin versant ;
- 5- L'humidité du sol ;

a) Apports annuels :

Le tableau 1.8 donne les valeurs des apports annuels mesurées au niveau de la station de la Cheffia.

- La valeur moyenne annuelle de la série d'observation est de 119.32 Hm^3 .
- Les apports annuels s'ajustent bien à la loi normale (voir **Figure : 1.2**).
- D'après le graphe (Variation annuelle des débits, annexe I), nous pouvons bien distinguer les années de sécheresse (1985-1987).

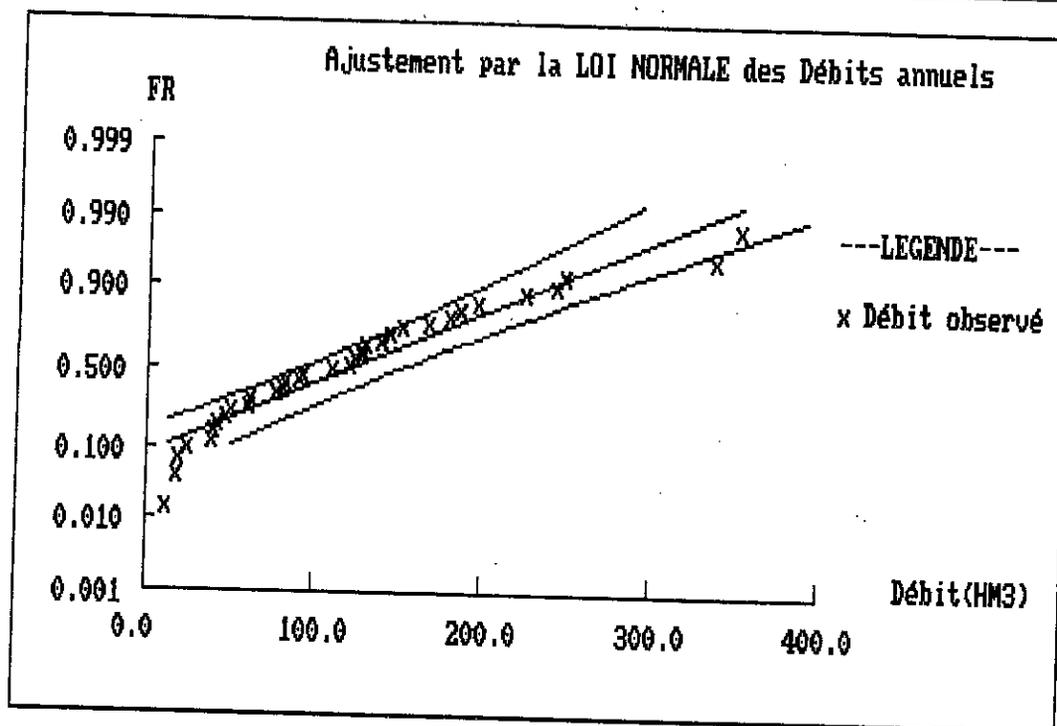


Figure 1.2 : Ajustement de la série historique des débits par la loi Normale

b) Apports mensuels :

Le tableau suivant montre la variation mensuelle interannuelle des apports :

Tableau 1.9 : Variation mensuelle interannuelle des apports (barrage de la Cheffia)

Mois	\bar{x} (Hm ³)	σ (Hm ³)	C_v
Septembre	1.286	1.697	1.32
Octobre	2.258	2.902	1.28
Novembre	4.932	7.306	1.49
Décembre	20.323	28.714	1.41
Janvier	26.409	23.723	0.89
Février	23.262	26.724	1.15
Mars	18.673	16.400	0.88
Avril	11.793	14.349	1.21
Mai	5.312	8.424	1.58
Juin	1.865	2.826	1.51
Juillet	1.521	2.827	1.85
Août	1.678	2.914	1.73

- Les valeurs maximales sont observées en décembre – janvier – février, par contre les valeurs minimales sont observées en juillet – août – septembre.
- Les valeurs des coefficients de variations montrent une variabilité intermensuelle beaucoup plus forte que la variabilité interannuelle.

c) Apports saisonniers :

Nous avons les saisons suivantes :

- Automne : octobre – novembre – décembre.
- Hiver : janvier – février - mars.
- Printemps : avril – mai - juin.
- Eté : juillet – août - septembre.

Le tableau suivant donne la répartition saisonnière des apports :

Tableau 1.10 : Répartition saisonnière des apports (barrage de la Cheffia)

Automne		Hiver		Printemps		Eté	
(Hm ³)	%	(Hm ³)	%	(Hm ³)	%	(Hm ³)	%
27.513	22.95	68.344	57.00	18.970	15.82	5.046	4.20

On peut dire que la plupart des affluents du barrage proviennent durant l'hiver, et que cette saison est la plus régulière en apports par rapport aux autres saisons. Par contre l'été est la saison qui se caractérise par les plus faibles apports et une grande irrégularité.

1.3.4 ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE :

a) Pluviométrie annuelle :

Le tableau suivant donne les valeurs de la pluviométrie annuelle mesurées à la station de la Cheffia :

Tableau 1.11 : Pluviométrie annuelle (barrage de la Cheffia)

Année	Pluie (mm)						
55/56	620.6	65/66	723.4	75/76	449.4	85/86	456.3
56/57	736.7	66/67	495	76/77	498.5	86/87	589.3
57/58	567.1	67/68	431.4	77/78	758.9	87/88	572.9
58/59	840.3	68/69	645.1	78/79	813.4	88/89	844.4
59/60	893.9	69/70	419.2	79/80	839.6	89/90	914.4
60/61	614.5	70/71	712.7	80/81	577.2	90/91	815.7
61/62	345.4	71/72	553	81/82	1054.9	91/92	691.0
62/63	485.8	72/73	569.9	82/83	970.4	92/93	658.1
63/64	658.4	73/74	789.7	83/84	598.3	93/94	1053.3
64/65	579.4	74/75	441.9	84/85	1261.3	94/95	439.2

- La valeur moyenne annuelle de la série d'observation est de 632.1 mm, et la valeur de l'écart type est de 161.7 mm.
- Les pluies annuelles s'ajustent bien à la loi normale (voir **Figure : 1.3** page 79).

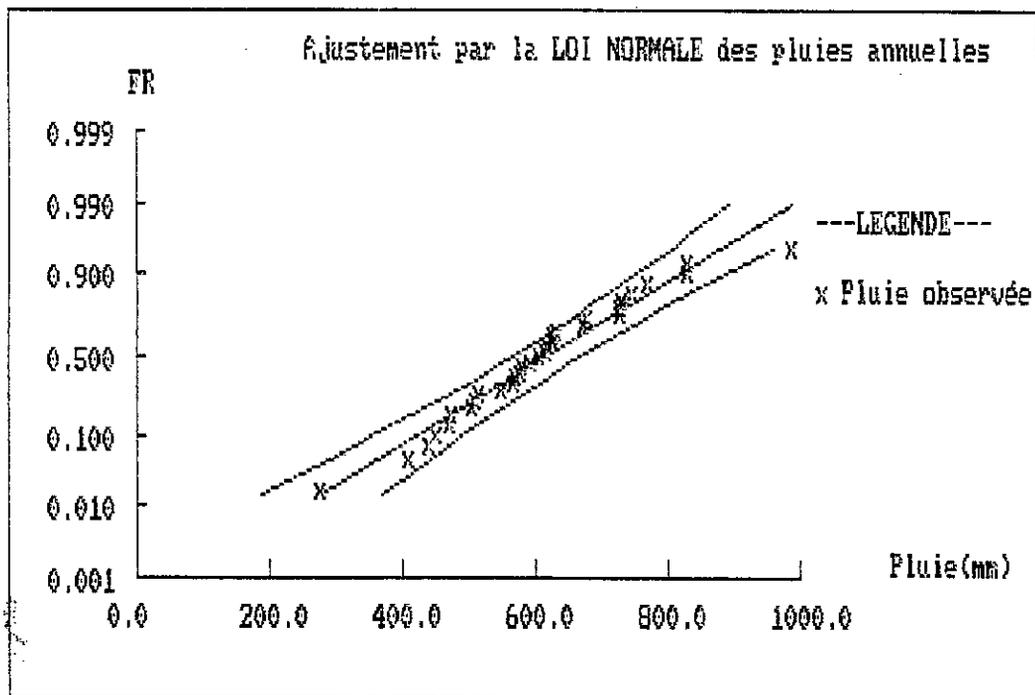


Figure 1.3 : Ajustement de la série historique des pluies par la loi Normale

b) **Pluviométrie mensuelle :**

Le tableau suivant donne les valeurs de la pluviométrie mensuelle interannuelle :

Tableau 1.12 : Pluviométrie mensuelle interannuelle (barrage de la Cheffia)

Mois	\bar{x} (mm)	σ (mm)	C_v
Septembre	34.4	23.6	0.686
Octobre	76.6	49.4	0.644
Novembre	89.2	65.0	0.736
Décembre	117.5	85.5	0.727
Janvier	124.4	94.2	0.757
Février	96.2	70.2	0.729
Mars	82.6	56.9	0.687
Avril	77.4	51.5	0.665
Mai	51.9	33.6	0.652
Juin	14.6	11.9	0.819
Juillet	7.3	5.6	0.768
Août	5.5	8.5	1.554

Les valeurs maximales sont observées en décembre – janvier – février, par contre les valeurs minimales sont observées en juillet – août, avec toutefois une légère augmentation au mois d'août par rapport au juillet, cette augmentation due le plus souvent aux orages qui ont lieu en cette période.

- La variation mensuelle interannuelle de l'écart type d'une année à autre est très importante, par contre la variation de la moyenne est négligeable, on peut voir ça clairement en mois de février.

c) Pluviométrie saisonnière :

Le tableau suivant donne la répartition saisonnière de la pluviométrie :

Tableau 1.13 : Répartition saisonnière de la pluie (barrage de la Cheffia)

Automne		Hiver		Printemps		Été	
(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
287.26	37.14	373.37	39.23	143.94	18.61	38.74	5.00

L'hiver est la saison la plus pluvieuse, l'automne est également marqué par une forte pluviosité, l'été est la saison la plus sèche et la plus irrégulière.

1.3.5 ETUDE DE L'EVAPORATION :

a) Evaporation annuelle :

- La valeur moyenne annuelle de la série d'observation est de 1059.9 mm, et la valeur de l'écart type est de 186.3 mm.
- Les évaporations annuelles s'ajustent bien à la loi normale (voir Figure : 1.4).

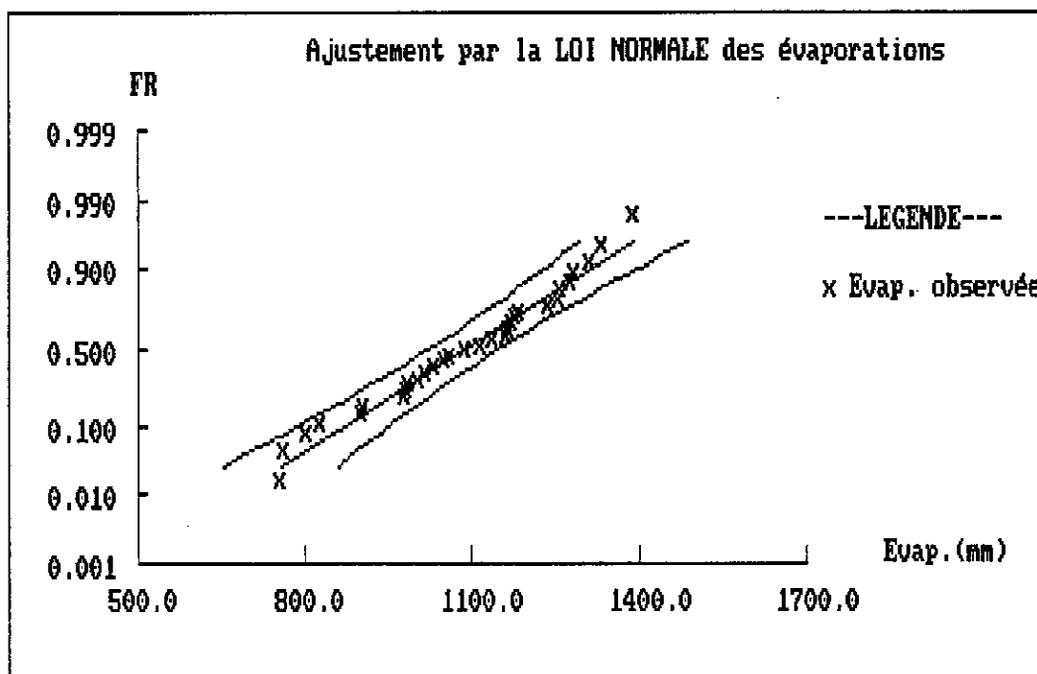


Figure 1.4 : Ajustement de la série historique des évaporations par la loi Normale

b) Evaporation mensuelle :

Le tableau suivant donne les valeurs de l'évaporation mensuelle interannuelle :

Tableau 1.14 : Evaporation mensuelle interannuelle (barrage de la Cheffia)

MOIS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV
Evaporation (mm)	125	61.6	29.6	21.1	14.0	21.6
MOIS	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
Evaporation (mm)	40.6	64.7	102.9	151.3	212.2	215.3

- Les valeurs maximales sont observées en juillet – août ;
- Les valeurs minimales sont observées en décembre – janvier – février

I.3.6 ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION :

a) Evapotranspiration annuelle :

- La valeur moyenne annuelle de la série d'observation est de 1198.9 mm, et la valeur de l'écart type est de 113.8 mm.
- Les ETP annuelles s'ajustent bien à la loi normale (voir **Figure : 1.5**).

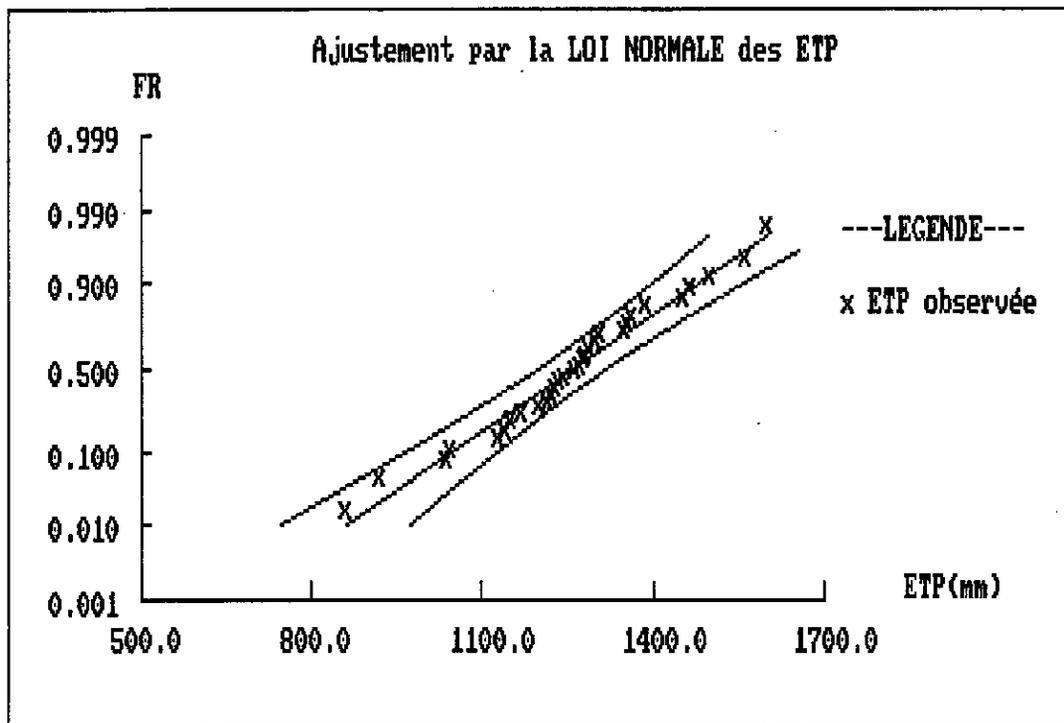


Figure 1.5 : Ajustement de la série historique des évapotranspirations par la loi Normale

1.4) Conclusion :

Ce qu'il y a de dire à propos de ces données, c'est qu'elles contiennent des mesures plus au moins anciennes, comme c'est le cas dans l'envasement et dans l'analyse de la salinité. Ainsi nous avons quelques valeurs tronquées c'est le cas des apports la principale grandeur entrant dans notre modélisation.

Pour éviter le problème de la chronologie, nous devons combler ces lacunes, si non travailler avec des modèles n'exigeant la chronologie, il se trouve justement que l'ACP est l'une de ces méthodes.

CHAPITRE II : LA SIMULATION PAR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.1 INTRODUCTION :

L'analyse des données regroupe un ensemble de méthodes qui permettent des analyses statistiques portant un grand nombre de variables simultanément.

L'outil mathématique qui les sous-tend est relativement complexe, mais les logiciels pour micro-ordinateur mettent aujourd'hui ces méthodes à la disposition de tous.

Il importe pour l'utilisateur gestionnaire :

- De connaître ce que peuvent lui apporter ces méthodes.
- De savoir en interpréter les résultats [6].

II.2 PRESENTATION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Le phénomène étudié apparaît sous forme de données numériques, il est possible de regrouper celles-ci dans un tableau et d'interpréter le tableau comme une matrice.[25].

Par exemple considérons la matrice X de format (p, q) :

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1q} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2q} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{iq} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p1} & \dots & \dots & x_{pj} & \dots & x_{pq} \end{pmatrix}$$

Il est possible de décomposer cette matrice en p lignes $L_i (i = 1, \dots, p)$ et en q colonnes $C_j (j = 1, \dots, q)$:

$$X = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_p \end{pmatrix} = (C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_q)$$

La matrice transposée X' de X est alors :

$$X' = (L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_p) = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_p \end{pmatrix}$$

On considère la colonne C_j comme les p observations de la variable j , et la ligne L_i comme les valeurs de q variables pour la $i^{\text{ème}}$ observation :

$$L_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{iq})$$

On peut ainsi représenter :

- La colonne C_j par un point dans un espace à p dimensions R^p .
- La ligne L_i par un point dans un espace à q dimensions R^q .

La matrice X forme alors un nuage de points et peut s'interpréter selon ces lignes ou ces colonnes.

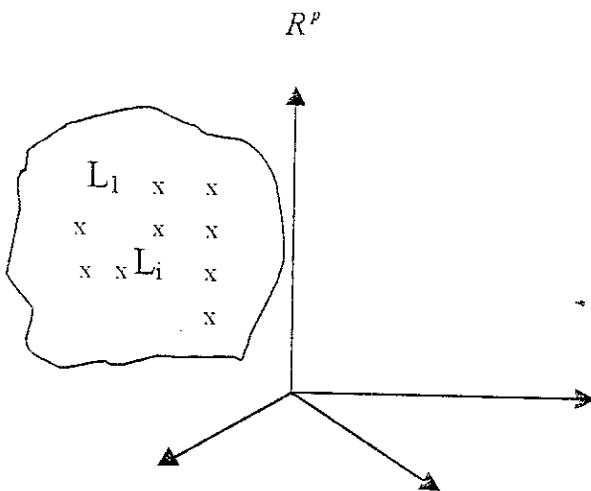


Figure 2.1 :
Ajustement du nuage de point L_i sur R^p

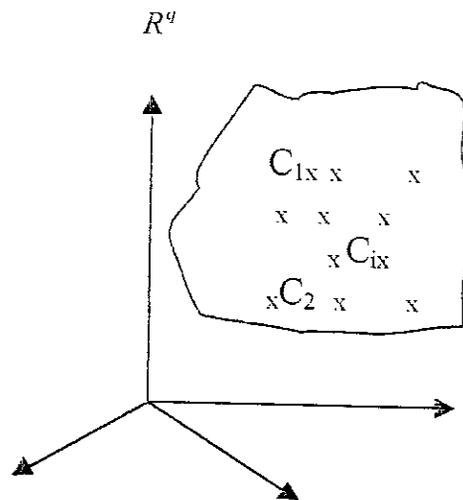


Figure 2.2 :
Ajustement du nuage de point C_j sur R^q

L'analyse en composantes principale consiste dans l'étude des projections des points du nuage par axe, un plan ou un hyperplan judicieusement déterminé mathématiquement, l'analyse en composantes principales revient à ajuster au mieux le nuage par sous-espace vectoriel dans R^q [15].

II.2.1 AJUSTEMENT DU NUAGE :

Notre but est de trouver la meilleure représentation de ce nuage, pour ce faire nous allons traiter trois cas.

Soit un axe Fu engendré par un vecteur colonne quelconque u de norme unité, c'est-à-dire :

$$\|u\| = \left(\sum_{i=1}^q u_i^2 \right)^{1/2} = u \cdot u = 1$$

l_i : est la projection de L_i sur F_u , comme il est montré dans la figure suivante :

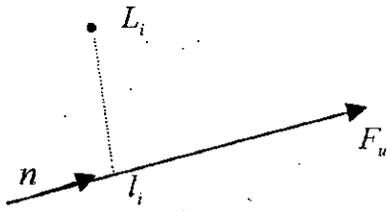


Figure 2.3 : Ajustement d'un point par un axe

a) Premier cas : Ajustement du nuage par un axe

Soit le nuage des p points $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_p$ dans R^q , soit l'axe F_u engendré par le vecteur unitaire u passant par l'origine des coordonnées :

$$\|u\| = u \cdot u = 1$$

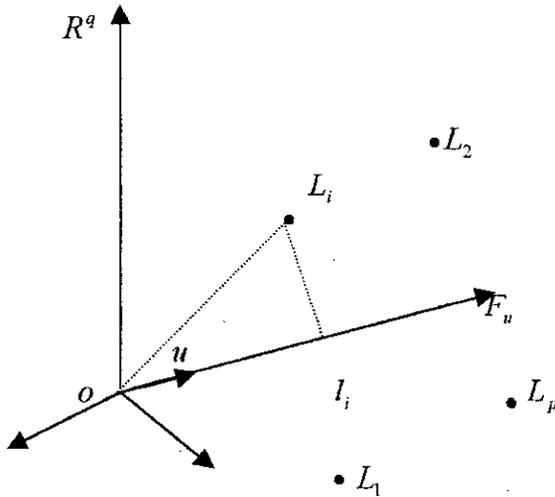


Figure 2.4 : Ajustement du nuage de point par un axe

La projection des points du nuage sur l'axe F_u , se fait de telle sorte que la somme des carrées des distances des points à l'axe soit minimale, c'est-à-dire que :

$$\sum_{i=1}^p \overline{L_i l_i}^2 \text{ Soit minimale.}$$

Or minimiser $\overline{L_i l_i}$ revient, dans le triangle rectangle $o l_i L_i$, à minimiser $\overline{o l_i}^2$

On sait que : $\overline{o l_i} = L_i \cdot u$; alors :

$$\overline{o l_i}^2 = (L_i \cdot u) (L_i \cdot u), \text{ soit encore :}$$

$$\overline{ol_i^2} = u' L_i' L_i u,$$

$$\text{et } \sum_{i=1}^p \overline{ol_i^2} = u' \left(\sum_{i=1}^p L_i' L_i \right) u ;$$

$$\text{or } \sum_{i=1}^p L_i' L_i = X' X$$

Finalement il s'agit de maximiser la quantité $u' X' X u$, sous la contrainte $u' u = 1$.
 Pour résoudre ce problème, on utilise le multiplicateur de LAGRANGE.
 Soit ϕ la forme de LAGRANGE où λ_1 est le multiplicateur de LAGRANGE :

$$\phi = u' X' X u - \lambda_1 (u' u - 1) ;$$

Dérivons ϕ par rapport à u :

$$\frac{\partial \phi}{\partial u} = 2X' X u - 2\lambda_1 u$$

En identifiant à zéro, il vient :

$$(X' X) u = \lambda_1 u$$

C'est-à-dire que u est un vecteur propre de la matrice $X' X$. De plus :

$$(u' X' X u) = u' \lambda_1 u = \lambda_1 u' u = \lambda_1 \cdot 1 = \lambda_1.$$

Ainsi le maximum de $u' X' X u$, sous la contrainte $u' u = 1$, correspond à la plus grande valeur propre de la matrice $X' X$ [15].

b) Deuxième cas : Ajustement du nuage par plan

Dans ce cas là, la présentation se fait selon la méthode des moindres carrées.
 On se propose d'ajuster le nuage par un plan, déterminé par l'axe F_u précédent et par un axe F_v , de vecteur unitaire v (c'est-à-dire $v' v = 1$), passant par l'origine des coordonnées et perpendiculaire à l'axe F_u (c'est-à-dire $v' u = 0$)

Projeter au mieux le nuage par un plan ainsi défini, revient désormais à maximiser la quantité $v' X' X v$, sous la contrainte $v' v = 1$, et sous la contrainte $v' u = 0$.

Soit Ψ la forme de LAGRANGE où λ_2 et μ_2 sont les multiplicateurs de LAGRANGE :

$$\Psi = v' X' X v - \lambda_2 (v' v - 1) - \mu_2 (v' u - 0)$$

Dérivons Ψ par rapport à v :

$$\frac{\partial \Psi}{\partial v} = 2X'Xv - 2\lambda_2 v - \mu_2 u$$

et identifions à zéro :

$$2X'Xv - 2\lambda_2 v - \mu_2 u = 0$$

Prémultiplions par u' :

$$2u'X'Xv - 2u'\lambda_2 v - \mu_2 u'u = 0$$

Nous avons vu que : $u'X'Xu = u'\lambda_2 u$

C'est-à-dire que : $u'X'X = u'\lambda_2$, et que : $u'u = 1$, il vient en remplaçant :

$$2u'X'Xv - 2u'\lambda_2 v - \mu_2 \cdot 1 = 0, \text{ soit : } \mu_2 = 0$$

Le multiplicateur de LAGRANGE est nul, alors :

$$2X'Xv - 2\lambda_2 v = 0, \text{ soit :}$$

$$X'Xv = \lambda_2 v,$$

C'est-à-dire que v est un vecteur propre de la matrice $X'X$.

Le maximum de $v'X'Xv$ correspond à la seconde valeur propre λ_2 de la matrice $X'X$.

L'axe F_u est le premier axe factoriel, l'axe F_v est le deuxième axe factoriel [15].

c) Troisième cas : Ajustement du nuage par un sous espace vectoriel

Les procédés précédents peuvent se généraliser à trois ou plus d'axes factoriels, on peut associer à chaque valeur propre la matrice $X'X$, un vecteur propre, c'est-à-dire un axe factoriel et les valeurs propres correspondant constituent ainsi une base orthonormée du sous-espace vectoriel correspondant, qui ajuste au mieux le nuage statistique.

II.2.2 SIGNIFICATION DES AXES FACTORIELS ET NOTION DE PROXIMITÉ :

La question qui se pose est : combien d'axes factoriels doit-on considérer ?

Pour répondre à cette question, il faut d'abord connaître la méthodologie qui permet de déterminer ces axes [15].

a) Détermination et signification des axes :

La détermination des axes factoriels revient à diagonaliser la matrice $X'X$:

$(X'X) = A \Lambda A'$ où Λ désigne la matrice des valeurs propres :

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \lambda_3 & \\ 0 & & & \lambda_q \end{pmatrix}$$

avec : $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots$ etc.

Or on sait que la trace de la matrice $X'X$ est égale à la trace Λ .

$$Tr(X'X) = Tr(\Lambda),$$

$$\text{Soit : } Tr(X'X) = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_q$$

En raison des valeurs numériques décroissantes de $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, la somme des premières valeurs propres représente, le plus souvent, une proportion notable de la matrice $X'X$, ainsi dans la pratique on peut se limiter à l'extraction de S premières valeurs propres $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_S$ avec S bien inférieur à q , l'information perdue est alors relativement faible.

Du point de vue général, le but de l'analyse factorielle est de traiter des données de façon à identifier un nombre relativement restreint des variables latentes.

Les procédés décrits ci-dessus déterminent les axes factoriels par des méthodes purement mathématiques.

En présence d'un problème concret, par exemple hydrologique, on peut se demander quelle est la signification ici hydrologique des axes factoriels ?

La signification de ce concept dépend des opérations par lesquelles il est élaboré et l'explication est spécifique au problème étudié.

La proximité de deux ou plusieurs points du nuage, plutôt que la position du nuage par rapport à un référentiel.

b) Notion de proximité :

Soit deux points L_m et L_n de R^q :

$$L_m = (x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mj}, \dots, x_{mq})$$

$$L_n = (x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nj}, \dots, x_{nq})$$

La distance euclidienne entre les points L_m et L_n de R^q est :

$$d(L_m, L_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^q (x_{mi} - x_{ni})^2}$$

$$\text{Soit encore : } d^2(L_m, L_n) = (x_{m1} - x_{n1})^2 + \dots + (x_{mj} - x_{nj})^2 + \dots + (x_{mq} - x_{nq})^2$$

Les points L_m et L_n sont d'autant plus proche que la somme précédente est plus petite.

Pour assurer que toutes les différentes coordonnées des points L seraient mesurées avec les mêmes unités, on doit centrer préalablement les vecteurs C_j , c'est-à-dire que l'on calcule la distance sur le vecteur $(C_j - \bar{x}_j)$ [15]:

C_j	$C_j - \bar{x}_j$
x_{1j}	$x_{1j} - \bar{x}_j$
x_{2j}	$x_{2j} - \bar{x}_j$
⋮	⋮
x_{mj}	$x_{mj} - \bar{x}_j$
⋮	⋮
x_{nj}	$x_{nj} - \bar{x}_j$
⋮	⋮
x_{pj}	$x_{pj} - \bar{x}_j$

Où : $\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^p x_{ij}}{p}$

La distance des projections sur un axe de deux points de R^q se mesure comme suit :

Soit un axe F_u de vecteur unitaire u

Soit f_m et f_n les projections respectives de L_m et L_n sur F_u .

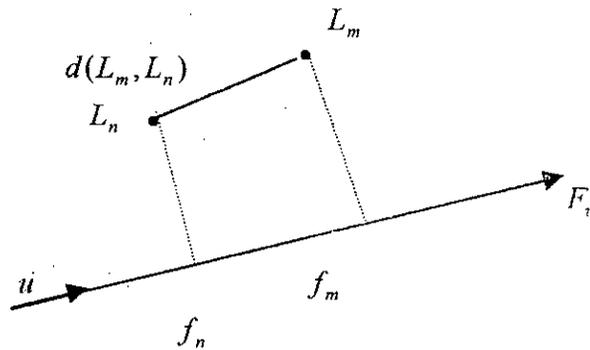


Figure 2.5 : Représentation de la distance entre deux points

Par définition, la grandeur du segment $\overline{f_m f_n}$, projection du vecteur $(L_m - L_n)$ sur F_u est le produit scalaire du vecteur $(L_m - L_n)$ avec le vecteur u :

$$d(L_m, L_n) = u'(L_m - L_n)$$

Et cela signifie que l'erreur produite par la projection des points L_i sur l'axe F_u et d'autant plus faible que la longueur de la projection est plus grande. Alors pour que l'erreur produite par la projection du nuage des points L_i sera minimale, il faut que les longueurs au carré des projections des distances des différents points du nuage soient maximales.

II.2.3 L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES NORMEES :

La méthodologie de l'ACP est [14]:

- 1) Centrer et normer les variables C_j , c'est-à-dire, pour tout indice j variant de 1 à q , effectuer la transformation :

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad \text{où :}$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^p x_{ij}}{p} \quad \text{et} \quad \sigma_j = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$$

On remplace le matrice x_{ij} par la matrice y , avec :

$$y = (y_{ij})_{pq} = \begin{pmatrix} L_1^* \\ L_2^* \\ \vdots \\ L_p^* \end{pmatrix} = (C_1^*, \dots, C_q^*)$$

- 2) Déterminer la matrice V des variances-covariances du nuage formé par les p points L_i^* dans R^q .

La matrice V est une matrice de format (q, q) , symétrique de terme général V_{kl} .

$$V_{kl} = \sum_{i=1}^p \frac{1}{p} (y_{ik} - \bar{y}_k)(y_{il} - \bar{y}_l), \quad \text{avec :}$$

$$\bar{y}_k = \frac{\sum_{i=1}^p y_{ik}}{p} \quad \text{et} \quad \bar{y}_l = \frac{\sum_{i=1}^p y_{il}}{p}$$

$$V = \frac{1}{p} (y' y) = \Gamma, \quad \text{avec } \Gamma : \text{ la matrice des corrélations des } q \text{ variables } C_j^*$$

- 3) On extrait les plus grandes valeurs propres $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, de la matrice Γ des corrélations. On diagonalise la matrice V des variances-covariances :

$$V = B \wedge B'$$

Où \wedge est la matrice diagonale des valeurs propres :

$$\wedge = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \lambda_3 & \\ 0 & & & \lambda_q \end{pmatrix}$$

Or on sait que : $Tr(V) = Tr(\wedge)$,

Pratiquement, on arrête l'extraction des valeurs propres quand la somme des S valeurs propres déjà déterminées, représente un pourcentage satisfaisant de la variance.

4) On détermine les vecteurs propres F_1, F_2, \dots, F_S , associés aux valeurs propres $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_S$.

Ce sont des axes factoriels. Et pratiquement on n'interprète que les deux, trois ou quatre premiers axes factoriels. Ces axes étant perpendiculaires, il n'y a pas de corrélation entre eux.

5) On projette les points de nuage sur plan formé par deux premiers axes factoriels.

6) On interprète les projections :

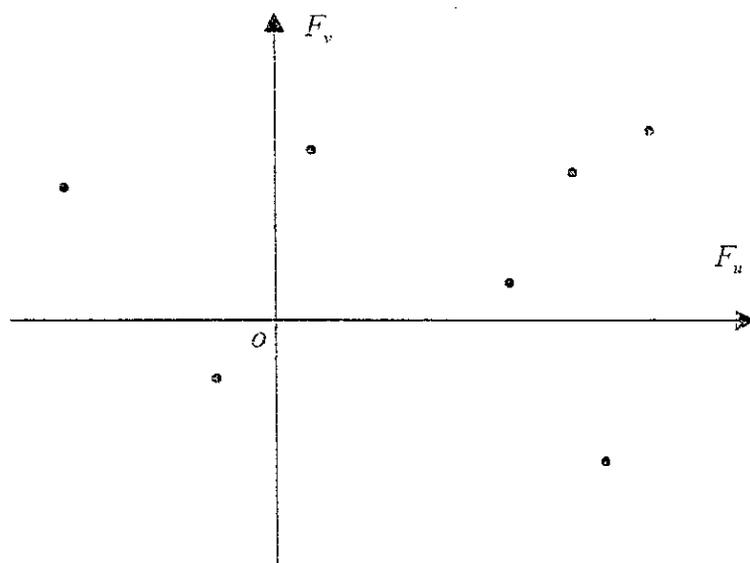


Figure 2.6 : Projection d'un nuage de points L_i (des individus) sur plan factoriel

Une proximité entre les projections des deux points d'observation s'interprète comme un comportement analogue envers les q variables.

7) On porte les q points variables sur le même graphique car les coordonnées des points variables s'interprètent en terme de corrélations.

Le coefficient de corrélation entre la variable A et l'axe F est proportionnel à la coordonnée a de A sur le même axe F :

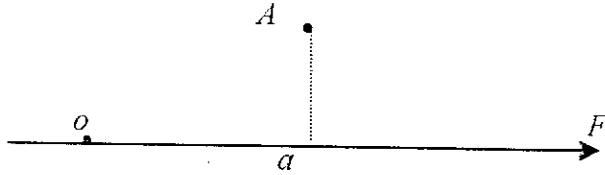


Figure 2.7 : Projection d'un point sur axe factoriel

Une proximité entre un point variable et un point observation signifie que la variable joue un rôle important pour l'observation considérée.

8) On trouve, si c'est possible une signification aux axes factoriels.

II.3 LA SIMULATION :

La simulation permet à l'hydrologue de créer à partir des séries d'observations, d'autres séries qui ont les mêmes caractéristiques statistiques, afin de les utiliser comme entrées aux modèles d'optimisations de la gestion des ressources en eau.

Parmi les modèles les plus connus, on peut citer :

- 1) Le modèle autoregressif de THOMAS et FIERING.
- 2) Le modèle du bruit Gaussien fractionnel
- 3) Le modèle de la ligne brisée
- 4) Le modèle autoregressif à moyen mobile
- 5) Le modèle de MARKOV
- 6) Les modèles de désagrégation

Dans notre étude, toutes les séries simulées à savoir : les débits, l'évaporation et l'évapotranspiration, ont été faits par le biais de l'analyse en composantes principales qui intervient dans l'analyse descriptive, et dans l'analyse opérationnelle où elle est la base du modèle de simulation.

II.3.1 LE MODELE DE SIMULATION GESTOP :

Les composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales [11] :

$$C_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot \frac{x_j - \bar{x}_j}{\sigma_j}$$

Soit la composante principale normée C_i' telle que :

$C_i = \frac{C_i}{\sqrt{\lambda_i}}$, la composante principale normée C_i' sera donnée par la relation suivante :

$$C_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} \sum_{j=1}^p a_{ij} \cdot \frac{x_j - \bar{x}_j}{\sigma_j}$$

Soit Y la variable centrée réduite, sous forme matricielle, l'expression donnant C_i' devient :

$$C_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} [A][Y] \text{ d'où :}$$

$$[Y] = \sqrt{\lambda_i} \cdot [A] \cdot [C_i']$$

Sachant qu'on ne considère que les N premières CP et qu'on ne néglige pas la variance non expliquée prise en compte par le terme résiduel ε_i

L'expression finale du modèle GESTOP est donnée par :

$$\bar{x}_j = \beta_{j0} + \sum_{i=1}^N \beta_{ji} C_i' + E_j$$

avec :

$$\beta_{j0} = \bar{x}_j$$

$$E_j = \alpha_j \varepsilon_j$$

Le diagramme suivant résume les étapes de la simulation par l'analyse en composantes principale (GESTOP) [11] :

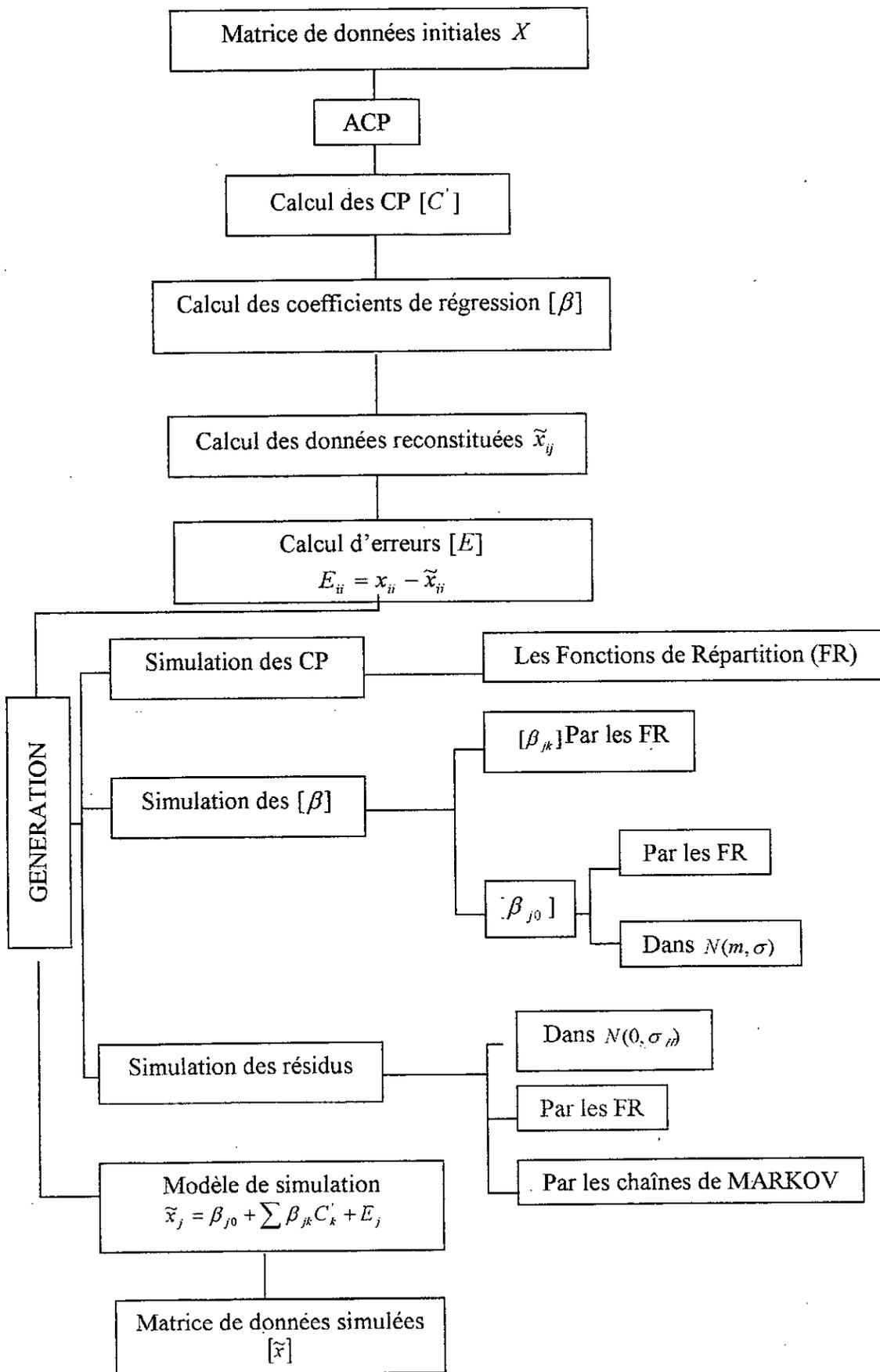


Figure 2.8 : Diagramme de simulation par le modèle GESTOP

II.3.2 SIMULATION DES DIFFERENTS PARAMETRES DU MODELE :

En se basant sur la structure de ce modèle, différentes possibilités de simulation sont envisagées :

La variable simulée x_j , est une combinaison linéaire des composantes principales qui sont indépendantes par construction :

Le modèle de simulation est constitué de trois paramètres :

- Les éléments de la matrice $[\beta]$: celle-ci, est constituée d'un premier vecteur β_0 , dont les éléments sont les moyennes mensuelles interannuelles de la série historique, les autres vecteurs de la matrice ont pour composantes les coefficients de régression entre les variables et CP.
- Les éléments de la matrice de CP : $[C']$
- Les éléments de la matrice $[E]$

La simulation de ces paramètres peut se faire de différentes manières :

- Simulation par les fonctions de répartition
- Simulation par les lois d'ajustement
- Simulation par les chaînes de MARKOV

A partir des différentes possibilités de génération offertes, nous avons diverses méthodes de simulation, qui fourniront par la suite plusieurs combinaisons possibles et donc une variété de scénarios possibles.

Vu la variété des combinaisons possibles, il est préférable de considérer trois catégories. Selon la simulation de la matrice $[\beta]$ [8].

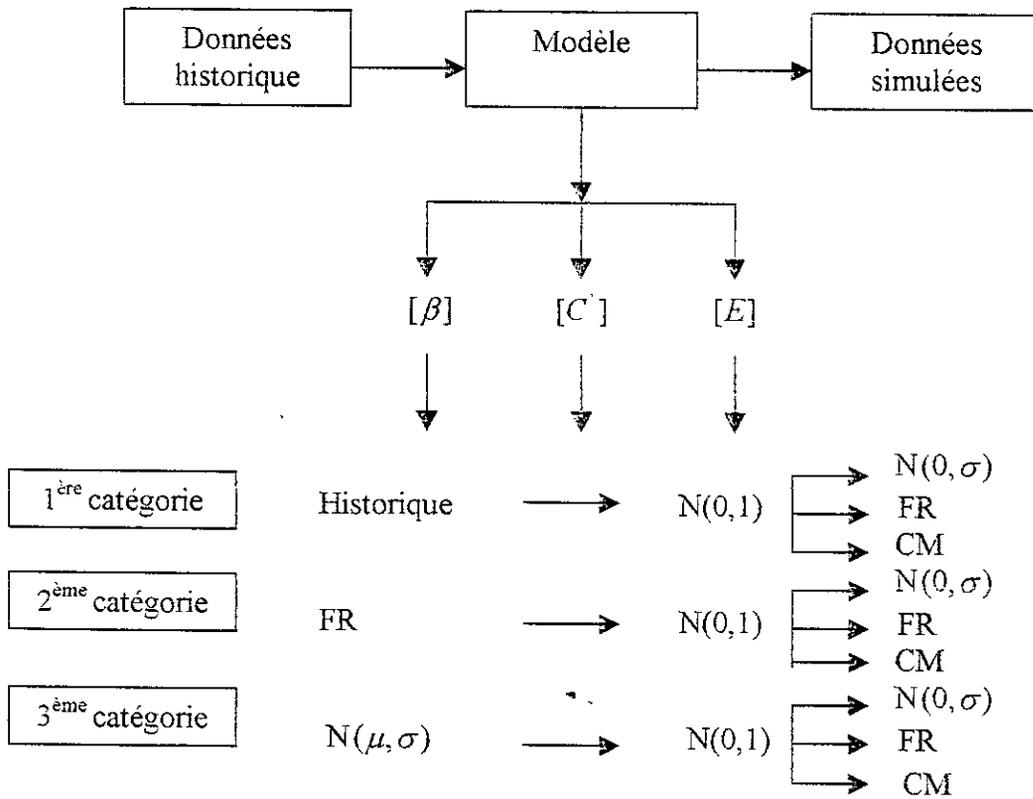


Figure 2.9 : Diagramme de simulation des différents paramètres du modèle GESTOP [8]

II.3.3 ETUDE DE RESULTATS DE SIMULATION :

Le choix du nombre des composantes doit se faire en fonction du pourcentage de la variance expliquée. Pour les douze (12) CP en totale représentant les mois, nous avons remarqué ce qui suit (voir annexe II):

- Pour cinq (05) CP le terme d'erreur est important.
- Il est pratiquement nul pour dix (10) CP
- Pour sept (07) CP le terme d'erreur est estimé à 20%

On prend donc sept (07) CP pour la génération tout en tenant compte de l'erreur dans le terme résiduel.

Les séries simulées appartiennent – elles à la même population que la série observée ?

Etant donné qu'on n'a pas les paramètres de la population, mais seulement un estimé à l'aide de la série observée. On va comparer les principaux paramètres statistiques des séries générées et de la série observée et juger l'ensemble. Sur cette base la comparaison sera faite par le biais :

- Moyennes et écarts types annuels;
- Moyenne et écarts types mensuels interannuels
- Ajustements des moyennes annuelles

a) Simulation des débits :

Nous disposons de trois séries simulées mensuelles de 300 ans chacune :

Moyennes et écarts types annuels :

Tableau 2.1 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des débits

	Série observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
\bar{x} (Hm ³)	119.32	115.09	114.92	118.30
σ (Hm ³)	79.33	76.19	74.16	80.53
C_v	0.660	0.662	0.645	0.680

L'intervalle de confiance :

Pour pouvoir confirmer l'hypothèse de l'homogénéité de la série observée avec les séries simulées, il suffit de voir si les moyennes et les écarts types des séries simulées appartiennent-elles aux intervalles de confiances de la moyenne et de l'écart type de la série observée.

- Pour la moyenne :

$$79.21 \leq \bar{x}_x \leq 159.42 \text{ (Hm}^3\text{)}$$

On constate que toutes les moyennes des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.

- Pour l'écart type :

$$51.15 \leq \sigma_x \leq 107.50 \text{ (Hm}^3\text{)}$$

Tous les écarts types des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est confirmée.

Moyennes et écart types mensuels interannuels :

Les résultats de simulation concernant les moyennes et écarts types mensuels interannuels des débits, donnés par (Hm³), sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau 2.2 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des débits

		S. Observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
Septembre	\bar{x}	1.286	1.574	1.319	1.231
	σ	1.697	1.354	0.911	1.136
Octobre	\bar{x}	2.258	2.987	2.001	2.278
	σ	2.902	2.875	2.597	2.935
Novembre	\bar{x}	4.932	4.978	4.254	4.447
	σ	7.360	6.456	6.869	6.203
Décembre	\bar{x}	20.323	21.020	20.778	19.978
	σ	28.714	26.874	26.972	25.993
Janvier	\bar{x}	26.409	27.590	25.490	25.840
	σ	23.723	23.950	23.271	22.600
Février	\bar{x}	23.262	24.373	23.291	23.421
	σ	26.724	24.526	23.760	26.013
Mars	\bar{x}	18.673	20.946	15.175	19.783
	σ	16.400	13.889	16.032	17.087
Avril	\bar{x}	11.793	10.995	13.072	12.559
	σ	14.349	15.117	12.412	14.562
Mai	\bar{x}	5.312	3.236	4.987	6.658
	σ	8.375	6.922	9.781	9.192
Juin	\bar{x}	1.865	2.333	1.084	1.921
	σ	2.826	2.519	2.933	2.321
Juillet	\bar{x}	1.521	1.689	1.498	2.341
	σ	2.827	2.875	2.005	2.654
Août	\bar{x}	1.678	1.919	1.760	1.169
	σ	2.914	2.772	2.456	3.028

Ajustement des débits annuels :

Afin d'affirmer la fiabilité de notre simulation, on a ajusté les débits annuels des séries simulées (voir annexe II). La droite d'Henry de la série simulée évolue presque de la même manière que celle de la série historique, ce qui confirme notre hypothèse pour l'homogénéité.

b) Simulation des ETP :

Nous disposons également de trois séries simulées mensuelles de 300 ans chacune :

Moyennes et écarts types annuels :

Tableau 2.3 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des ETP

	Série observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
\bar{x} (mm)	1198.9	1189.4	1175.1	1188.2
σ (mm)	113.8	111.0	107.6	102.9
C_v	0.094	0.093	0.091	0.086

L'intervalle de confiance :

- **Pour la moyenne :**

$$769.8 \leq \bar{x}_x \leq 1627.9 \text{ (mm)}$$

On constate que toutes les moyennes des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.

- **Pour l'écart type :**

$$85.0 \leq \sigma_x \leq 142.6 \text{ (mm)}$$

Tous les écarts types des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.

Moyenne et écarts types mensuels interannuels :

Les résultats de simulation concernant les moyennes et les écarts types mensuels interannuels des ETP, donnés par (mm/j) sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.4 : moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des ETP

		S. Observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
Septembre	\bar{x}	4.236	4.231	4.199	4.216
	σ	0.431	0.418	0.425	0.404
Octobre	\bar{x}	2.782	2.891	2.876	2.890
	σ	0.310	0.386	0.386	0.379
Novembre	\bar{x}	1.714	1.912	1.894	1.907
	σ	0.295	0.392	0.380	0.362
Décembre	\bar{x}	1.327	1.470	1.426	1.453
	σ	0.245	0.389	0.363	0.368
Janvier	\bar{x}	1.451	1.530	1.496	1.537
	σ	0.403	0.444	0.391	0.413
Février	\bar{x}	1.740	1.850	1.858	1.873
	σ	0.294	0.422	0.397	0.400
Mars	\bar{x}	2.389	2.440	2.422	2.437
	σ	0.248	0.388	0.377	0.401
Avril	\bar{x}	3.191	3.080	3.033	3.084
	σ	0.357	0.382	0.377	0.361
Mai	\bar{x}	3.901	3.877	3.795	3.837
	σ	0.380	0.409	0.398	0.391
Juin	\bar{x}	5.084	4.830	4.782	4.837
	σ	0.466	0.407	0.403	0.408
Juillet	\bar{x}	6.020	5.588	5.545	5.603
	σ	0.396	0.446	0.448	0.432
Août	\bar{x}	5.583	5.390	5.304	5.376
	σ	0.423	0.442	0.481	0.438

Ajustement des ETP annuelles :

De même, on a ajusté les ETP annuelles des séries simulées (voir annexe II). La droite d'Henry de la série simulée évolue presque de la même manière que celle de la série historique, d'où l'hypothèse de l'homogénéité est toujours acceptée.

c) Simulation des évaporations :

Trois séries simulées mensuelles de 300 ans chacune :

Moyennes et écarts types annuels :

Tableau 2.5 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des évaporations

	Série observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
\bar{x} (mm)	1059.9	1118.5	1110.7	1129.5
σ (mm)	186.3	194.5	205.1	221.9
C_v	0.156	0.173	0.184	0.196

L'intervalle de confiance :

- Pour la moyenne :

$$680.6 \leq \bar{x}_x \leq 1439.2$$

Toutes les moyennes des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.

- Pour l'écart type :

$$139.2 \leq \sigma_x \leq 233.4$$

Tous les écarts types des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est acceptée.

Moyenne et écarts types mensuels interannuels :

Les résultats de simulation concernant les moyennes et les écarts types mensuels interannuels des évaporations, donnés par (mm/j) sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 2.6 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des évaporations

		S. Observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
Septembre	\bar{x}	4.127	4.467	4.434	4.374
	σ	1.067	1.129	1.080	1.126
Octobre	\bar{x}	2.024	2.802	2.720	2.756
	σ	0.755	0.856	0.872	0.935
Novembre	\bar{x}	1.381	1.678	1.662	1.664
	σ	0.713	0.745	0.779	0.824
Décembre	\bar{x}	1.005	1.130	1.103	1.205
	σ	0.689	0.675	0.702	0.720
Janvier	\bar{x}	1.159	1.228	1.196	1.269
	σ	0.649	0.642	0.707	0.742
Février	\bar{x}	1.333	1.414	1.368	1.476
	σ	0.697	0.708	0.730	0.792
Mars	\bar{x}	1.784	1.764	1.771	1.828
	σ	0.711	0.652	0.712	0.759
Avril	\bar{x}	2.131	2.382	2.338	2.395
	σ	0.748	0.671	0.706	0.730
Mai	\bar{x}	3.350	3.210	3.240	3.264
	σ	0.815	0.815	0.796	0.899
Juin	\bar{x}	4.976	4.859	4.857	4.915
	σ	1.013	0.961	0.971	0.985
Juillet	\bar{x}	6.280	6.040	6.034	6.160
	σ	1.402	1.360	1.373	1.374
Août	\bar{x}	5.888	5.794	5.790	5.824
	σ	1.283	1.324	1.313	1.199

Ajustement des évaporations annuelles :

On a ajusté les évaporations annuelles des séries simulées (voir annexe II). La droite d'Henry de la série simulée évolue presque de la même manière que celle de la série historique, ce qui confirme notre hypothèse pour l'homogénéité.

d) Simulation des pluies :

Nous disposons de trois séries simulées mensuelles de 300 ans chacune :

Moyennes et écarts types annuels :

Tableau 2.7 : Moyennes et écarts types annuels des séries simulées des pluies

	Série observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
\bar{x} (mm)	632.1	621.8	557.9	630.6
σ (mm)	161.7	164.8	87.5	122.9
C_v	0.255	0.265	0.156	0.194

L'intervalle de confiance :

- Pour la moyenne :

$$436.21 \leq \bar{x}_x \leq 827.99 \text{ (mm)}$$

On constate que toutes les moyennes des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation, ce qui confirme notre hypothèse pour l'homogénéité.

- Pour l'écart type :

$$126.26 \leq \sigma_x \leq 197.13 \text{ (mm)}$$

Tous les écarts types des séries simulées appartiennent à l'intervalle de confiance de la série d'observation d'où l'hypothèse de l'homogénéité est confirmée.

Moyennes et écart types mensuels interannuels :

Les résultats de simulation concernant les moyennes et écarts types mensuels interannuels des pluies en (mm), sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau 2.8 : Moyennes et écarts types mensuels interannuels des séries simulées des pluies

		S. Observée	1 ^{ère} catégorie	2 ^{ème} catégorie	3 ^{ème} catégorie
Septembre	\bar{x}	34.4	31.6	30.4	36.5
	σ	23.6	26.9	24.7	25.1
Octobre	\bar{x}	76.6	78.2	79.3	73.0
	σ	49.3	43.2	44.2	52.2
Novembre	\bar{x}	89.2	90.8	80.8	82.0
	σ	65.0	67.1	59.6	62.0
Décembre	\bar{x}	117.5	110.0	119.7	122.4
	σ	85.5	87.1	86.6	88.5
Janvier	\bar{x}	124.4	129.7	112.3	120.6
	σ	94.2	86.6	90.7	99.7
Février	\bar{x}	96.2	92.3	92.4	88.0
	σ	70.2	67.7	70.8	79.0
Mars	\bar{x}	82.6	82.4	78.5	82.4
	σ	56.9	50.8	50.9	58.8
Avril	\bar{x}	77.4	82.4	73.2	80.9
	σ	51.5	50.8	50.0	58.4
Mai	\bar{x}	51.9	53.1	55.7	47.2
	σ	33.5	32.5	32.4	31.8
Juin	\bar{x}	14.6	12.8	12.3	16.9
	σ	11.9	12.5	10.9	12.3
Juillet	\bar{x}	7.3	9.3	8.9	8.2
	σ	5.6	6.2	7.1	6.8
Août	\bar{x}	5.5	5.3	7.4	8.4
	σ	8.5	7.6	7.2	9.2

Ajustement des pluies annuelles :

On a ajusté les pluies annuelles des séries simulées (voir annexe II). La droite d'Henry de la série simulée évolue presque de la même manière que celle de la série historique, ce qui confirme notre hypothèse pour l'homogénéité.

e) Conclusion :

D'après les tests que nous avons fait sur l'ensemble des séries simulées, nous remarquons : toutes les séries simulées sont de bonne qualité.

Ainsi pour mieux gérer notre barrage, le nombre de scénarios simulés doit être assez important pour explorer convenablement la diversité des situations futures possibles parce que chaque scénario conduit à la décision optimale, qui lui est propre. On va donc choisir une intervalle représentative (qui ressemble statistiquement le plus possible la série observée) pour toutes les grandeurs simulées (débits, pluies, ETP et évaporations).

CHAPITRE III : METHODES DE GESTION DES BARRAGES RESERVOIRS

III.1 GENERALITES :

Les notions de manque ou d'excès d'eau sont bien des notions sociales, car inséparables de l'utilisation de l'eau et/ou du milieu. On peut identifier des situations de manque ou d'excès d'eau. Il y aura manque d'eau si les prélèvements destinés aux usages domestiques, industriels ou agricoles ne peuvent atteindre un niveau suffisant, si les débits ne permettent pas la production d'hydroélectricité dans de bonnes conditions ou bien si la profondeur des cours d'eau interdit ou limite la navigation. Il y aura excès d'eau si les inondations accompagnant les crues perturbent la vie sociale (habitat, production, transport) ou si l'humidité de son sol empêche l'urbanisation ou l'utilisation agricole d'une surface.

Dans notre pays, les barrages sont exploités à des fins bien précises à savoir : l'irrigation, l'adduction en eau potable (AEP), l'industrie (AEI), la protection contre les crues et rarement la production hydroélectrique.

Les barrages réservoirs servent à atténuer les graves conséquences de pénuries dues aux sécheresses, ils emmagasinent l'eau en période d'abondance et la restituent en d'autres moments afin de couvrir les besoins, ils doivent avoir une taille suffisante qui leur permet de prévoir une tranche pour la dissipation des crues. L'exploitation des barrages réservoirs a pour but de choisir les prélèvements à effectuer au début de chaque période de décision, tout en essayant de servir le plus possible les différents usagers. En effet la stochasticité des apports naturels et de la demande imposent toujours un risque de défaillance lié aux décisions à prendre.

Une défaillance est liée à une mauvaise répartition des ressources entre les différents usagers [28]. Elle survient lorsque :

1. Le réservoir ne peut pas fournir la demande en eau ou en énergie.
2. Un résultat d'une inondation ou d'une sécheresse ne peut être évité.
3. Les prix de revient d'une politique ne coïncidera pas avec l'optimum économique... etc.

La procédure de décision est l'opération qui permet pour des conditions hydrologiques et économiques fixées de choisir une lâchure. Dans la mesure où l'on désire surmonter ces situations, la demande en eau ou aménagements du territoire étant imposés, il est nécessaire de modifier la répartition de l'eau dans le temps et/ou dans l'espace par le jeu d'importations, d'exportations, de stockages ou de déstockages d'eau. Le gestionnaire peut faire l'une ou l'autre opération liée à une réserve suivant l'effet qu'il désire produire. Devant l'étendue des possibilités qui lui sont offertes, le gestionnaire est évidemment amené à se poser une foule de questions pratiques, se résumant finalement et très concrètement à une seule : Quelle est le prélèvement optimal aujourd'hui ?[4].

L'ensemble de ces prélèvements sur les stocks sur un axe du temps constitue une « politique » de gestion, l'application d'une telle politique doit conduire à un compromis optimal entre les différents objectifs.

On distingue deux sortes de gestions [17] :

- Gestion à but unique
- Gestion à buts multiples

III.1.1 Gestion à but unique :

Cette gestion fait l'objet d'une attention plus particulière de satisfaire un seul objectif comme la production hydroélectrique. La particularité de cet objectif par rapport aux autres usages de barrages réservoirs est d'être parfaitement défini, puisqu'il s'agit de satisfaire la demande d'électricité au moindre coût en prenant en compte tous les aléas futurs. Un autre exemple est le soutien d'étiage, ces objectifs sont fondés le plus souvent sur des quantiles de certains débits caractéristiques de l'étiage, on considère comme une défaillance le passage de débit pendant un certain temps en dessous d'un seuil particulier.

III.1.2 Gestion à buts multiples :

La constitution d'un barrage à buts multiples est un problème dont les degrés de liberté sont innombrables pour un gestionnaire, car l'ouvrage doit satisfaire plusieurs objectifs à la fois comme par exemple la gestion hydroélectrique et l'écrêtement des crues. La question qui se pose est : comment peut-on faire le choix entre les objectifs non directement comparables ? Sans doute c'est la règle qui doit fixer le choix d'allocation des ressources, or on ne jugera pas avec les mêmes critères d'évaluation l'utilité de satisfaction des usagers. Une formulation hiérarchique donc est nécessaire pour simplifier le problème [19].

Pour établir une gestion on doit suivre les étapes de l'organigramme suivant [17] :

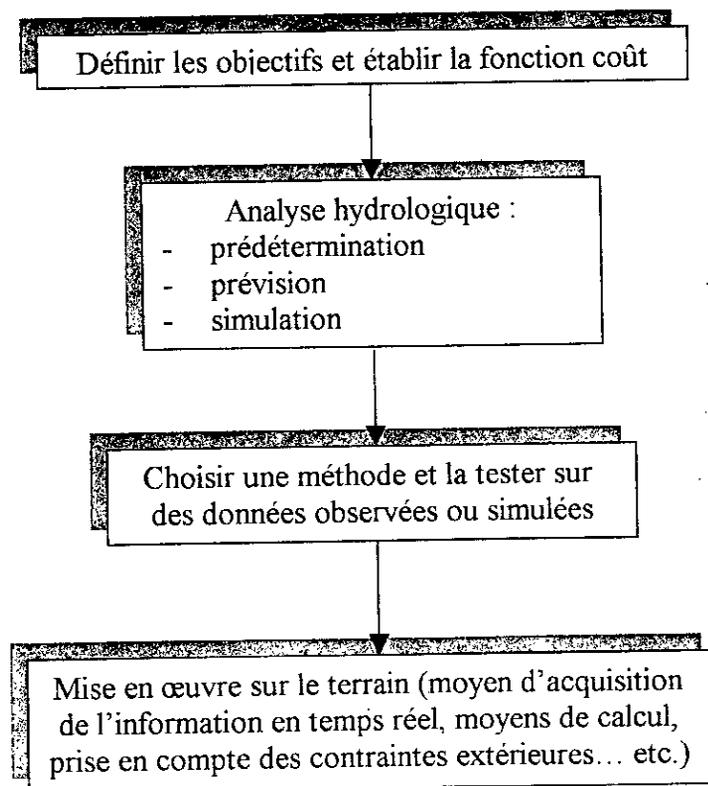


Figure 3.1 : Organigramme général de la gestion des barrages.

III.2 METHODES D'OPTIMISATION D'UN RESERVOIR :

La gestion de l'exploitation des retenues a pour but de rechercher comment peut-on satisfaire le plus possible tous les objectifs liés à un système hydrique tout en maximisant les bénéfices ? [28].

III.2.1 FONCTION ECONOMIQUE :

La fonction économique z , dépend des caractéristiques propres au système hydrique et la solution obtenue n'est pas optimale que pour le problème formulé.

La formulation de base s'écrit comme suit :

$$\text{Min}(z) = f(x)$$

Soumise à :

$$h(x) \geq c$$

$$x \geq 0 \quad \text{où :}$$

- x : le vecteur des variables de décisions ;
- $h(x)$: le vecteur des contraintes du système ;
- c : le vecteur des variables de chaque contrainte
- $f(x)$: la fonction économique décrivant les critères de décision.

Cette fonction doit inclure les bénéfices et les pertes susceptibles d'être engendrés et exprimés en valeurs monétaires. Une inondation par exemple cause des dégâts matériels des retombées politiques et sociales qui ne sont pas quantifiables en valeurs monétaires. Il faut exprimer ces retombées par des valeurs pseudo-économiques ou utiliser une technique d'optimisation multicritères permettant de mettre une comparaison entre les différents critères sans imposer une même unité de mesure.

III.2.2 LES CONTRAINTES :

Tous les problèmes d'exploitation des réservoirs se trouvent confronter à des contraintes d'ordre physique et opérationnelle.

Les contraintes physiques sont des limitations qui ne peuvent être transgressés, si elles ne sont pas respectées, il y aura bris du système. Parmi ces contraintes on citera par exemple : le volume maximal critique à la sortie et l'équation de continuité donnée par :

$$V_{t+1} = V_t + I_t - Q_t - E_t$$

V_t : l'état du réservoir au début de la période t ;

I_t : le volume des apports naturels parvenant au réservoir durant la période t ;

Q_t : le volume prélevé du réservoir durant cette période ;

E_t : le volume évaporé du réservoir durant cette période ;

Les contraintes sur le volume et sur les débits, données par :

$$V_{C \min} \leq V_t \leq V_{C \max} \quad t = 1, N$$

$$Q_{C \min} \leq Q_t \leq Q_{C \max} \quad t = 1, N$$

$V_{C \min}$: le volume minimal critique du réservoir ;

$V_{C \max}$: le volume maximal critique du réservoir ;

$Q_{C \min}$: le volume minimal critique à la sortie du réservoir ;

$Q_{C \max}$: le volume maximal critique à la sortie du réservoir ;

Les contraintes d'exploitation opérationnelles ne sont pas des contraintes absolues car, il n'est pas nécessaire toujours de les respecter lorsqu'il est impossible d'agir autrement ou lorsqu'une défaillance à une période permet d'en éviter de plus importantes à d'autres périodes. Le non-respect de ces contraintes engendre une pénalité prise en compte dans la fonction économique [28].

Durant ces dernières années, une des plus importante recherche élaborée dans le domaine d'énergie des ressources en eau est le développement et l'adoption des techniques d'optimisation pour la planification et la gestion des systèmes des ressources en eau. Une fois que les objectifs et les contraintes ont été déterminés, les problèmes sont résolus, dans la plupart des cas par des techniques développées dans le domaine de la recherche opérationnelle et des sciences de gestion. Le critère de performance devient explicitement un critère de choix (fonction objectif). De plus, il devient possible d'imposer des contraintes aux variables. On recherchera alors quelles sont les variables de décision permettant d'obtenir les meilleures performances possibles du système, relativement au critère retenu. Les paramètres et les entrées sont alors les données du problème, les sorties et les variables de décision étant inconnues. L'optimisation permet de répondre à une question que l'on peut formuler comme quelles décisions faut-il prendre pour maximiser (ou minimiser) tel ou tel critère de performance ? L'optimisation semble a priori très séduisante pour l'aménagement et la gestion, puisqu'elle permet de déterminer la meilleure solution. Cependant son utilisation se heurte à deux types de difficultés [29] :

1- Le premier type de difficultés est technique. Résoudre un problème d'optimisation consiste à obtenir une solution (ensemble de valeurs des inconnues) optimale, c'est-à-dire maximisant (ou minimisant) la fonction objectif. Selon la forme du problème d'optimisation (que l'on peut également appeler un programme) et les contraintes auxquelles sont soumises les solutions, il peut y avoir une ou plusieurs solutions maximisant la fonction objectif. Dans des problèmes très simples, le problème peut être résolu analytiquement. Dans la plupart des cas réels, il faut envisager une résolution numérique qui peut nécessiter un temps de calcul important, voire prohibitif. Tous les algorithmes d'optimisation procèdent en effet par itérations successives à partir d'une solution initiale, chaque itération doit améliorer la valeur de la fonction objectif. Lorsque les contraintes et la fonction objectif ne sont pas linéaires, il n'existe pas en général, d'algorithme permettant de trouver à coup sûr la solution optimale. Si les algorithmes de programmation linéaire (lorsque les contraintes et la fonction objectif sont linéaires par rapport aux inconnues, la programmation linéaire sera traitée plus loin) permettent de traiter des problèmes comportant plusieurs milliers de contraintes et d'inconnues dans un temps raisonnable, les algorithmes de programmation non linéaire ne permettent pas en général de traiter que des problèmes de taille beaucoup plus modeste.

2- Le second type de difficultés auxquelles on se heurte est beaucoup plus fondamental, car il a trait à la définition même de la fonction objectif, c'est-à-dire du critère de choix. Idéalement, ce critère devrait rendre compte de tous les aspects économiques, sociaux.

écologiques et autres, relatifs à un ensemble hydrologique. Mais ces différents aspects sont hétérogènes, ne se mesurent pas dans les mêmes unités, quand ils peuvent se mesurer ! Les méthodes classiques d'optimisation ne peuvent prendre en compte qu'une seule fonction objectif. Celle-ci aura donc souvent un caractère réducteur car il y a en général plusieurs points de vue s'exprimant selon plusieurs critères, relatifs à un même ensemble hydrologique. Ces points de vue peuvent refléter diverses préoccupations d'un même acteur social ou refléter les intérêts souvent contradictoires de plusieurs acteurs sociaux. Les méthodes prenant en compte plusieurs objectifs permettent seulement de limiter l'éventail des choix possibles. Un autre problème se pose quand à l'expression des performances d'un système hydrologique, c'est celui du temps. Les coûts directs (construction des aménagements) sont en général bien connus et sont supportés immédiatement. Mais certains coûts (entretien, dommages) et les bénéfices dus à l'aménagement d'un système hydrologique ne sont engagés ou perçus qu'au cours du temps, pendant une période qui peut durer plusieurs dizaines d'années. Il est donc nécessaire d'actualiser les coûts et les bénéfices.

III.2.3 L'ACTUALISATION :

L'actualisation est le procédé permettant de comparer des évaluations monétaires en différents moments du temps. Le calcul d'actualisation est toujours problématique et garde finalement un caractère subjectif traduisant la confiance (ou la défiance) en l'avenir de l'analyste. Fondamentalement le principe de l'actualisation consiste à dire que 1 Dinar aujourd'hui aura dans un an une valeur $(1+\tau)$ dinar, τ est le taux d'actualisation et on peut le rapprocher d'un taux d'intérêt. Actualiser un coût ou un bénéfice futur, c'est calculer la valeur d'aujourd'hui de ce coût ou de ce bénéfice futur. Ainsi, la valeur actuelle ϑ , d'un coût ζ qui sera supporté dans n années sera, pour un taux d'actualisation τ [5].

L'influence du taux d'actualisation sur le classement des différentes solutions d'aménagement peut être considérable. Un taux faible favorise les solutions capitalistiques, c'est-à-dire exigeant d'importants investissements. Un taux fort les décourage.

La tarification est la procédure qui entre en jeu pour déterminer le prix de revient d'un mètre cube d'eau. Les charges entrant dans la définition du coût sont [5] :

1. Les salaires et charges sociales correspondantes ;
2. Les dépenses relatives aux traitements chimiques de l'eau ;
3. Les dépenses d'énergie, notamment pour l'élévation de l'eau ;
4. Les dépenses de fonctionnement des usines ou des bureaux ;
5. Les frais divers de gestion ;
6. Des redevances de prélèvement à verser aux agences de bassins hydrologiques (AHB) ;
7. Intérêt des emprunts obtenus pour le financement des investissements ;
8. Enfin, amortissement des installations réalisées.

III.2.4 OPTIMISATION A OBJECTIFS MULTIPLES :

Nous avons déjà évoqué la difficulté de définir avec précision le but d'un ouvrage ou d'un programme d'aménagement hydraulique et plus encore de quantifier ce but. Pratiquement, les objectifs de l'aménagement et de la gestion des eaux sont multiples et souvent contradictoires. Par exemple, on peut espérer d'un barrage qu'il permettra de produire de l'électricité, d'irriguer des cultures, de soutenir des étiages, d'écarter des crues etc... Chacun de ces objectifs, chacune de ces utilisations de la retenue, s'exprime et se mesure dans des

termes particuliers et la gestion correspondante de l'ouvrage sera donc spécifique. Une retenue destinée à écrêter les crues devra évidemment être maintenue aussi vide que possible, alors qu'une retenue destinée à soutenir les étiages devra être maintenue aussi pleine que possible [29]. On peut donc être amené à placer en regard des contraintes qui expriment le modèle de l'ensemble hydrologique étudié non pas une, mais deux ou plusieurs fonctions objectifs.

Plusieurs applications de techniques d'optimisation appliquées dans l'étude des réservoirs, le choix d'une telle méthode dépend des caractéristiques des réservoirs à considérer, de la disponibilité des données, des objectifs et des contraintes spécifiées. En général, les méthodes utilisées sont : la programmation linéaire, la programmation non linéaire et la programmation dynamique [30].

a) La programmation linéaire :

C'est la méthode la plus adaptée pour l'élaboration des consignes de gestion d'un système de ressource en eau plus complexe.

Un phénomène économique ou d'organisation dans notre cas fait intervenir un certain nombre de variables soumises à la condition d'être non négatives où les contraintes de ce phénomène sont liées entre elles par des relations linéaires et formant un système d'équations ou de relations afin de maximiser ou minimiser une fonction économique z donnée par :

$$z = d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_nx_n$$

x_i : vecteurs de variables de décision ;

d_i : vecteurs de coefficients de la fonction économique

Cette méthode admet un très grand nombre de variables décisionnelles et gère des systèmes de ressources assez complexes. Son avantage principal réside dans la disponibilité des algorithmes généraux comme le simplexe.

b) La programmation dynamique :

Lorsqu'un programme est formé d'un ensemble séquentiel de décisions ayant pour but d'optimiser une fonction soumise à un certain nombre de contraintes, qui ne sont pas linéaires avec la fonction économique, on applique la programmation dynamique.

La technique de la programmation dynamique repose sur le principe de récursivité exprimé dans le contexte d'une retenue et l'instant considéré, afin que l'on soit sur le chemin optimal, il suffit de l'atteindre depuis l'instant précédent de manière optimale.

C'est une méthode d'optimisation des systèmes ou de leur représentation mathématique dans laquelle on opère par périodes ou séquences. Chaque période comprend un certain nombre d'états, cette méthode détermine la décision optimale qui devra être prise à chacune de ces phases. Ainsi on peut déterminer la décision optimale pour l'ensemble du problème. Elle permet de traiter des problèmes complexes de petite échelle.

La programmation dynamique consiste donc à chercher des sous-politiques optimales comprenant un nombre de plus en plus grand de phases jonctives, jusqu'à trouver la politique

optimale. On peut donc commencer par une extrémité ou par l'autre, on peut même procéder par parties.

La popularité et les succès de cette méthode sont dus au fait que la non-linéarité et la stochasticité qui caractérisent un grand nombre des systèmes de ressources en eau pouvant être multipliés dans une formulation de programmation dynamique. De plus l'avantage de décomposer efficacement des problèmes très complexes en sous-problèmes qui sont résolus par récursivité.

Selon la représentation de la séquence des apports naturels et la demande, on distingue deux approches de résolution du problème.

La programmation dynamique déterministe :

Dans ce cas là, le problème est simplifié par l'hypothèse que la séquence des apports naturels I_t et la demande en eau sont supposées connues. On peut établir une politique d'exploitation stable indépendante de la période terminale et de l'état atteint à cette période. L'avantage de cette procédure est qu'elle permet de ne pas fixer à priori un état à atteindre et d'initialiser arbitrairement la valeur numérique des bénéfices associés à chaque état à la période terminale.

La programmation dynamique stochastique :

Pour cette méthode les apports sont considérés comme des apports stochastiques, on fait donc intervenir des valeurs aléatoires et la formulation devient plus compliquée, mais plus représentative, elle représente mieux les apports qui sont des variables aléatoires.

c) Développement des méthodes d'optimisation d'un réservoir :

A l'aide de l'introduction des systèmes analytiques et de la recherche opérationnelle, le domaine de la gestion des barrages réservoirs a connu de nombreux développements et d'améliorations.

La littérature récente sur la régulation des réservoirs s'est concentrée sur les méthodes d'optimisation et de la simulation pour rapprocher le plus possible des solutions idéales. Parmi ces travaux on peut citer : H.VARLET (1923) qui a donné une méthode graphique "fil tendu" pour chercher l'optimum d'un réservoir hydroélectrique. En 1946 P.MASSE a démontré l'application à l'opération des réservoirs pour la production d'énergie hydroélectrique mathématiquement en termes économiques, puis G.DANTZIG (1947) a donné la solution de base pour la fonction économique d'une programmation linéaire (simplexe).

En 1957 la théorie de la programmation dynamique fut entrée par R.BELLMAN. HOWARD (1960) a utilisé la programmation dynamique stochastique en procédant par la méthode d'approximation successive Markovienne et l'algorithme d'itération d'une politique. Ensuite THOMAS et WATER-MAYER (1962) ont utilisé la PL pour maximiser la valeurs espérés et YOUNG (1967) a appliqué la PD pour déterminer les prélèvements minimisant une fonction de perte.

WINDSOR en 1973 a développé une méthodologie de la programmation linéaire récursive pour un système multi-réservoirs de contrôle d'inondation ensuite BECKER et YEH (1974) ont développé un algorithme pour l'exploitation mensuelle au temps réel d'un système complexe de ressources en eau. La procédure utilise les meilleurs caractéristiques de la PL et la PD.

TAUXE et AL (1979) ont développé une technique de PD à multi-objectives dans le cas des réservoirs où le nombre des objectifs est petit et le nombre de décisions est grand. Puis en 1980 DAGLI et MILES ont proposé une approche de résolution simple appelé le planning adopté pour un système de quatre barrages en série, la fonction objectif est maximiser la réserve des retenues après la linéarisation du problème par technique itératives.

Les recherches modernes sont en général orientées vers les techniques d'optimisation multicritères, cherchant le critère de performance du système permettant de faire une comparaison entre les différents critères sans imposer une même unité de mesure.

d) Critique de ces méthodes :

Il n'existe aucune preuve qu'un optimum existe, la qualité d'une gestion ne se juge pas à son optimalité vis à vis d'un certain nombre de critères et dans le cadre étroit des aléas par l'un des schémas hydrologiques. Elle se juge, à posteriori, sur une panoplie de critères et par un grand nombre d'années de travail.

L'attitude décisionnelle face aux risques liés aux aléas futurs n'est pas nécessairement bien représentée par l'espérance mathématique des coûts. Cela conduit à substituer aux coûts tels qu'ils peuvent être habituellement évaluer, le concept d'utilité et de fonction d'utilité or aujourd'hui en Algérie nous sommes loin de tous ça, car l'opération tarification n'a pas encore trouvé son chemin vers la pratique. En effet le prix de l'eau n'est pas réglé par l'offre et la demande, sa tarification étant plus souvent déterminée par des considérations d'ordre politique que des critères économiques.

Et si théoriquement tout problème décisionnel peut être ramené à la recherche de l'optimum de l'espérance d'une fonction d'utilité appropriée, la constitution des fonctions d'utilités pose des difficultés pratiques considérables. Or, il se trouve plusieurs facteurs, notamment les aléas hydrologiques sont complexes et n'ont pas étaient pris en compte que schématiquement dans les algorithmes utilisés jusqu'à présent.

Il n'est pas rare que la formulation à résoudre que se soit par programmation linéaire ou par programmation dynamique n'ait pas de solution, ce qui rend nécessaire de relaxer le système.

Certains objectifs ne se traduiront pas sous la forme numérique d'une fonction d'utilité additive. Les impacts sur l'écosystème ne se mesurent qu'à une échelle de temps importante où le pas de temps de gestion ne sont guère significatif.

CHAPITRE IV : MODELE DE GESTION

IV.1 DETERMINATION DES BESOINS EN EAU :

L'évaluation des besoins en eau permettra d'éliminer toute possibilité de confusion et de cerner tout éventuel déficit ou excédent. Le barrage est destiné à répondre aux besoins suivants :

- 1) L'alimentation en eau potable de la ville de Annaba et de Bouhajar.
- 2) Alimentation des complexes industriels et en particulier celui d'El Hadjar
- 3) L'irrigation du périmètre de Bou-Namoussa et le périmètre de la Cheffia

IV.1.1 BESOINS EN EAU POTABLE :

Ils sont fonction de deux paramètres :

- La démographie et ;
- L'aspect socio-économique

Le recensement de 1998 est pris comme base d'estimation des années futures, pour la détermination de la population future.

La population pour les n années à venir est estimée par la relation suivante :

$$N = N_0(1 + \alpha)^n$$

N : Nombre de population à l'année considérée ;

N_0 : Nombre de population à l'année de base (1998) ;

α : Taux d'accroissement ;

n : nombre d'années considérées.

Le taux d'accroissement pour la région de Annaba, est de : 3.13 %, d'après l'office nationale des statistiques (ONS) [24], cependant pour un horizon de long terme cette valeur ne sera pas la même, le tableau suivant montre l'évolution du taux d'accroissement pour la région de Annaba :

Tableau 4.1 : Evolution du taux d'accroissement pour la région de Annaba [24]

L'année	Le taux d'accroissement α (%)
1987	3.71
1998	3.13

Le taux d'accroissement de la population adopté pour la même région (d'après l'ONS) est :

- $\alpha = 3.0$ % : pour l'horizon : moyen terme (2001-2011) ;
- $\alpha = 2.8$ % : pour l'horizon : long terme (2012-2031).

La dotation est fixer par le ministère des ressources en eau :

- 150 l/hab/jour pour l'horizon moyen terme (2001-2011)
- 200 l/hab/jour pour l'horizon long terme (2012-2031)

Le nombre des habitants est de : 559 898 habitants (pour le recensement de 1998).

Tableau 4.2 : Evolution des besoins en eau potable pour la région de Annaba

Horizon	Population	Besoins (Hm ³)
Moyen terme (2011)	752456	41.196
Long terme (2031)	1307204	95.425

Vu le taux élevé des besoins en eau potable (95.425 Hm³, soit plus de la moitié du barrage pour une année), il est impossible pratiquement d'obtenir une politique qui permet de satisfaire les différents usagers. Pour cela, on a pris une dotation de 150 l/hab/jour pour l'horizon long terme, soit 71.569 Hm³ pour l'année (2031). La recherche d'autres ressources pour alimenter les usagers domestiques est indispensable du fait de l'accroissement significatif de la demande en se basant sur une dotation de 200 l/j/hab.

IV.1.2 BESOINS EN EAU INDUSTRIELLE :

Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. Elle peut être utilisée comme matière première, et peut être incorporée au produit fini, où intervenir comme auxiliaire au cours du processus de fabrication. Dans notre démarche nous nous intéressons à satisfaire la zone industrielle de Annaba y compris le complexe sidérurgique d'El Hadjar.

Pour l'évaluation des besoins industriels, on se base sur le fichier historique de l'Agence nationale des barrages (ANB), avec une majoration à cause du développement économique et l'ouverture sur les marchés libres. D'après une étude de l'ANB (1988), elle préconise qu'au dessous d'un volume annuel de 18.68 Hm³ conduit à des perturbations de fonctionnement dans le secteur industriel [2]. La moyenne des besoins du fichier historique donne une valeur de 18.91 Hm³/an, alors on adopte un volume de : 24.0 Hm³/an soit 2.0 Hm³/mois.

IV.1.3 BESOINS EN EAU AGRICOLE :

La spécificité du problème de l'eau pour l'agriculture est liée au rôle de l'eau dans la croissance et le développement des végétaux.

Les consommations d'eau en agriculture ont une double origine, l'évaporation du sol et la transpiration des cultures, et qui constituent l'évapotranspiration.

La transpiration des plantes dépend essentiellement des conditions climatiques et bien évidemment des disponibilités en eau. On admet généralement que cette transpiration ne peut dépasser une valeur limite.

La comparaison au niveau annuel des précipitations (PLU) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) permet de distinguer des zones de déficit et des zones de surplus, selon que la différence PLU-ETP est négative ou positive. Il y a bien entendu lieu de distinguer

si déficits ou surplus sont permanents ou saisonniers. Ces données brutes fixent certaines grandes lignes des capacités agricoles d'une région, mais doivent être complétées par des données pédologiques et agronomiques.

C'est en définitive l'humidité du sol qui devra être gérée, afin que ce réservoir alimenté de façon discontinue, voire aléatoire, puisse fournir à chaque instant l'eau dont les plantes ont besoin.

Les cultures sous pluies ne peuvent être pratiquées que si les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle pendant au moins quelques mois de leur développement

Pour évaluer les besoins en eau agricole, nous avons besoins des séries simulées de l'ETP et de la pluie, afin d'étudier le bilan PLU-ETP.

Les besoins en eau agricole estimés dans notre cas sont de l'ordre de 30 Hm³ à 50 Hm³ par année pour un périmètre de 16500 hectares.

La situation préoccupante du barrage a obligé les décideurs à prendre certaines décisions pour faire face à la pénurie de l'eau, parmi ces décisions : l'application des restrictions pour le périmètre irrigué et d'après l'agence nationale des barrages (ANB), 7300 hectares sont réellement souscrits sur les 16500 hectares depuis 1988 [2].

IV.2 MODELE DE GESTION BASÉ SUR L'ACP :

A partir de l'analyse en composantes principales, on peut identifier la manière dont le barrage réservoir de la Cheffia était géré par le passé. L'analyse de cette gestion antérieure permettra de dégager une politique de gestion future. La mise en œuvre de cette méthode nécessite un certain nombre de données historiques permettant une connaissance approfondie du système de gestion par le biais des composantes principales.

Nous disposons de dix-sept (17) années d'observations, et de quatorze (14) (composantes) mentionnées sur le tableau ci-dessous, et représenter schématiquement (annexe III) par leurs abréviations.

Tableau 4.3 : Les composantes principales entrant à la gestion du barrage

La composante	Présentation	La composante	Présentation
Les affluents	AFF	L'irrigation	IRR
Les défluent	DEF	L'alimentation en eau industrielle	AEI
Les fuites	FUI	La consommation totale	C_TOT
La vidange de fond	VID	La pluie	PLU
Les déversements	DEV	Le volume au début du mois	V_IM
L'évaporation	EVA	Le volume à la fin du mois	V_FM
L'alimentation en eau potable	AEP	Le taux de remplissage	T_REM

IV.2.1 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES MENSUELLES :

Nous avons calculé les valeurs mensuelles de 14 grandeurs (composantes) pendant une période de temps égale à 17 ans.

L'analyse des résultats nous à donné le tableau suivant :

Tableau 4.4 : Les valeurs propres mensuelles et leur contribution

Composantes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	5.331	3.250	1.541	1.247	0.983
Contribution (%)	38.1	23.2	11.0	8.9	7.0
Contribution cumulée (%)	38.1	61.3	72.4	81.3	88.3

Les deux premières composantes accaparent plus de la moitié de la variance totale (61.3 %), alors avec trois composantes la variance expliquée est de (72.4 %).

Le choix du nombre de composantes principales, nous oblige à faire une analyse profonde sur les corrélations entre celles-ci.

a) Analyse du cercle des corrélations : (voir annexe III)

La figure suivante montre la corrélation entre différents grandeurs

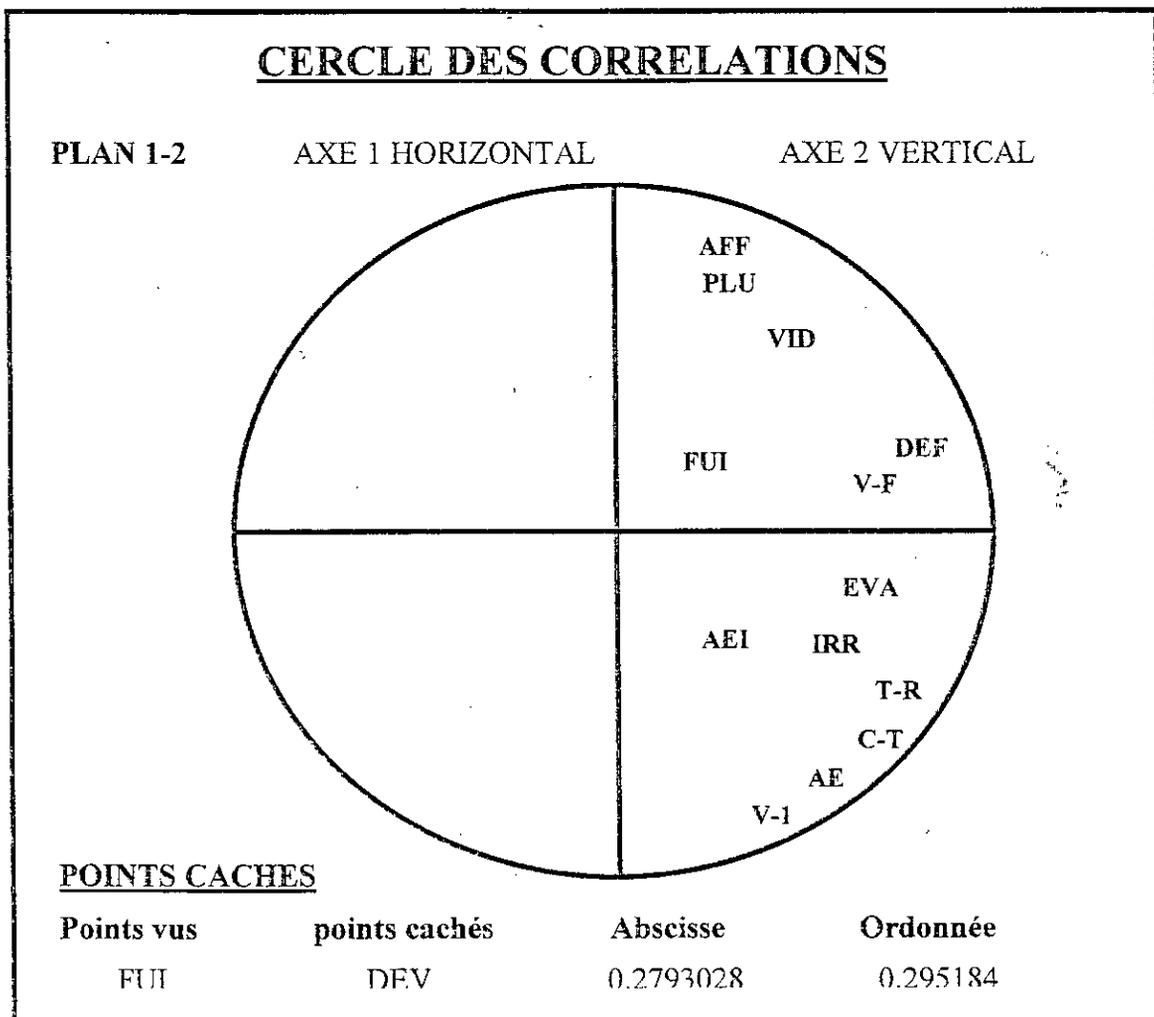


Figure 4.1 : Cercle des corrélations entre la première et la deuxième CP

1. Le cercle des corrélations *CIXC2* est la projection des variables sur la première et la deuxième composante principale, il montre l'existence de deux groupes de composantes l'une est corrélée positivement avec le premier axe à savoir : Les défluent, l'évaporation, le volume à la fin du mois et l'irrigation. L'autre est corrélée positivement avec le deuxième axe à savoir : les affluents, la pluie et la vidange de fond.

Remarque : L'AEP, la consommation totale et le taux de remplissage sont légèrement corrélés avec cet axe.

2. Dans le cercle des corrélations *CIXC3* qui est la projection des variables sur la première et la troisième composante principale, on constate que : les défluent, la consommation totale, le taux de remplissage et le volume à la fin du mois sont corrélés avec le premier axe. L'évaporation est légèrement corrélée avec cet axe. Les autres composantes ne sont pas corrélées à un axe précis.

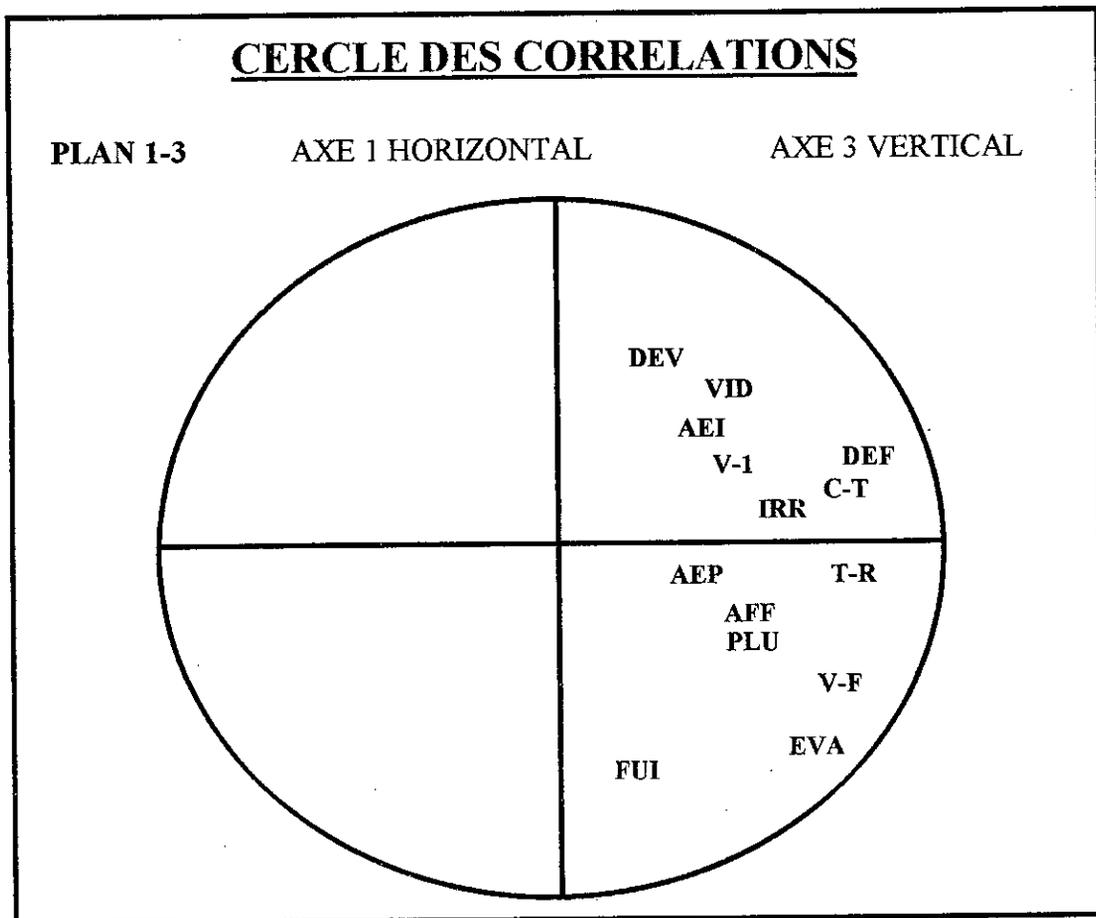


Figure 4.2 : Cercle des corrélations entre la première et la troisième CP

3. Dans le cercle de corrélations $C2XC3$ qui est la projection des variables sur la deuxième et la troisième composante principale : les affluents et la pluie sont corrélés avec le deuxième axe, cependant les composantes ne sont pas corrélées à un axe précis.

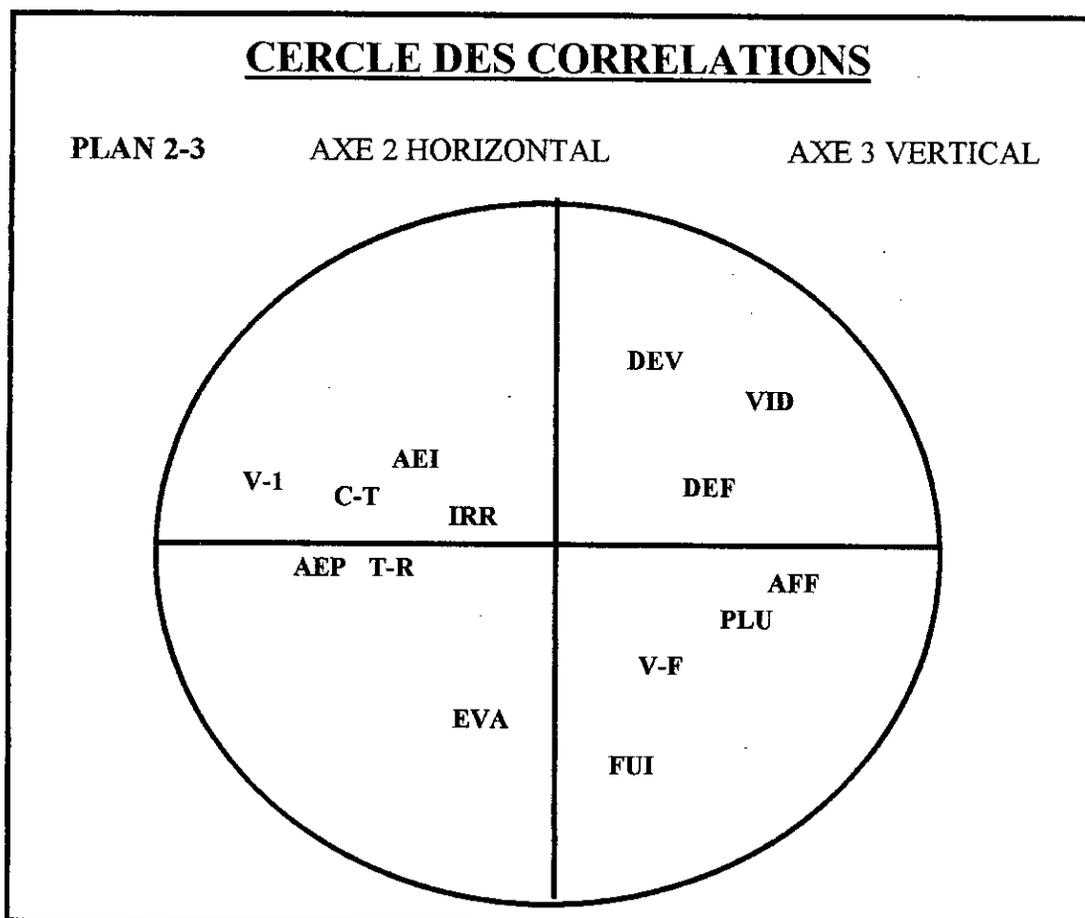


Figure 4.3 : Cercle des corrélations entre la deuxième et la troisième CP

b) Conclusion :

1. Le deuxième axe représente les apports liquides au barrage.
2. Certains paramètres n'interviennent ni au niveau du premier axe ni au niveau du deuxième axe, du fait qu'ils sont à l'intersection des deux axes. En général le premier axe représente plus précisément la demande avale.
3. Le troisième axe n'a pas une influence prépondérante, même si la troisième composante a une contribution de 11.0 % de variance.

c) Synthèse :

- La première composante principale —————> la demande avale
- La deuxième composante principale —————> les apports liquides

Pour étudier l'effet saisonnier sur la gestion, nous avons analysé les composantes principales saisonnières.

IV.2.2 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES SAISONNIERES :

Afin d'étudier l'influence (saison) sur notre gestion, nous avons appliqué cette analyse (ACP) sur la même période (période d'observation) avec un pas de temps différent (saison). Le fichier historique est subdivisé en quatre sous-fichiers qui représentent les quatre saisons avec :

Tableau 4.5 : Le découpage des saisons

1^{ère} saison	Octobre	Novembre	Décembre
2^{ème} saison	Janvier	Février	Mars
3^{ème} saison	Avril	Mai	Juin
4^{ème} saison	Juillet	Août	Septembre

Certaines saisons possèdent une matrice où le nombre de variables est inférieur à 14, pour éviter la division par zéro (le nombre de variables n'est pas constant par rapport au temps, par exemple : ni les fuites, ni la vidange de fond n'interviennent dans la première saison).

Première saison (l'automne) : (12 variables : sans fuites et sans vidange de fond)

L'analyse des résultats nous donne le tableau suivant :

Tableau 4.6 : Les valeurs propres saisonnières de la première CP et leur contribution

Composantes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	5.950	1.880	1.437	1.030	0.595
Contribution (%)	49.6	15.7	12.0	8.6	5.0
Contribution cumulée (%)	49.6	65.3	77.3	85.9	90.9

Deuxième saison (l'hiver) : (13 variables : sans irrigation).

L'analyse des résultats, nous donne le tableau suivant :

Tableau 4.7 : Les valeurs propres saisonnières de la deuxième CP et leur contribution

Composantes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	4.892	3.466	1.649	0.984	0.776
Contribution (%)	37.6	26.7	12.7	7.6	6.0
Contribution cumulée (%)	37.6	64.3	77.0	84.6	90.6

Troisième saison (le printemps) : (14 variables : tous les paramètres sont considérés).

L'analyse donne le tableau suivant :

Tableau 4.8 : Les valeurs propres saisonnières de la troisième CP et leur contribution

Composantes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	4.580	3.281	1.721	1.299	1.023
Contribution (%)	32.7	23.4	12.3	9.3	7.3
Contribution cumulée (%)	32.7	56.1	68.4	75.7	83.0

Quatrième saison : (13 variables : sans irrigation).

L'analyse des résultats donne le tableau suivant :

Tableau 4.9 : Les valeurs propres saisonnières de la quatrième CP et leur contribution

Composantes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	6.311	1.859	1.814	0.635	0.508
Contribution (%)	52.6	15.5	15.1	5.3	4.2
Contribution cumulée (%)	52.6	68.1	83.2	88.5	92.7

Les deux premières composantes accaparent toujours plus de la moitié de la variance totale :

- 65.3 % pour l'automne
- 64.3 % pour l'hiver
- 56.1 % pour le printemps
- 68.1 % pour l'été

a) Analyse du cercle de corrélations :

Nous avons testé cette analyse sur les cercles de corrélations, dans tous les graphes et nous avons fait la même remarque qui se résume comme suit :

- Les demandes sont corrélées positivement avec le premier axe ;
- Les apports sont corrélés positivement avec le deuxième axe ;
- Le troisième axe n'a pas une signification considérée ;

b) Conclusion :

D'après la contribution des composantes principales et après avoir analysé les graphes, notre choix pour la modélisation s'est fixé sur deux composantes principales qui sont :

- Première CP : la demande
- Deuxième CP : les affluents

L'approche à partir de l'analyse en composantes principales basée sur des données saisonnières (4 saisons) n'a pas permis de ressortir des liaisons significatives entre les affluents et la demande.

IV.2.3 ETUDE DE CORRÉLATION :

Les deux composantes principales affluents – demande mensuelles ont été corrélées entre elles, le tracé de corrélation entre les composantes affluents – demande mensuelles représente un nuage de points (en forme d'ellipse), se répartissent le long d'une droite, ce qui montre une dépendance fonctionnelle assez élevée entre affluents – demande mensuelles. Dans ce cas ($r = 0.815$).

Les coefficients de régression calculés par la méthode des moindres carrés sont :

$$a = 0.3943$$

$$b = 5.0266$$

IV.2.4 ORGANIGRAMME GÉNÉRAL DU MODÈLE BASÉ SUR L'ACP :

Ce modèle vise à satisfaire la demande dans la mesure du possible, sinon les lâchés sont une relation linéaire avec les affluents du barrage.

L'organigramme suivant représente l'enchaînement des différentes procédures du modèle de gestion (basé sur l'ACP) :

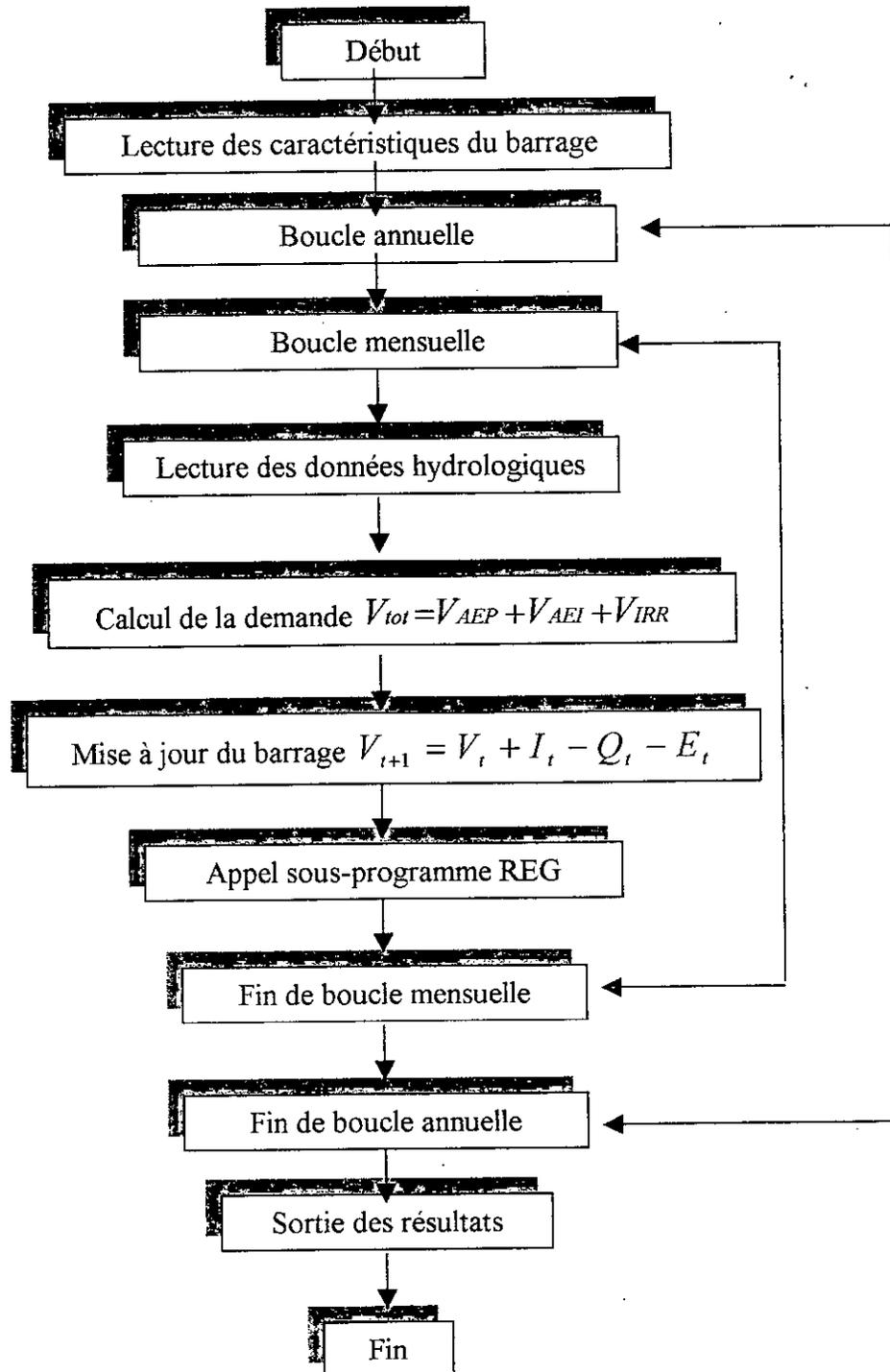


Figure 4.4 : Organigramme général du modèle de gestion basé sur l'ACP

Lecture des caractéristiques du barrage :

$$V_0 = 0$$

$$V_{\min} = 13.582 \text{ Hm}^3$$

$$V_{\max} = 168.482 \text{ Hm}^3$$

avec :

V_0 : volume du barrage vide ;

V_{\min} : volume mort du barrage ;

V_{\max} : volume maximal du barrage ;

Lecture des données hydrologiques :

Nous avons cherché dans la séquence des séries simulées les scénarios représentatifs c'est-à-dire le scénario qui ressemble statistiquement le plus possible le scénario observé pour les appliquer à notre modèle.

Calcul de la demande :

Le calcul de la demande a déjà été étudié (cf. Détermination des besoins en eau).

La mise à jour du barrage :

Se fait par l'équation de continuité mentionnée au chapitre III

Le sous-programme REG :

Le calcul des lâchées est obtenu à partir de l'équation linéaire liant les deux composantes demande-affluents mensuelles.

Sortie des résultats :

Permet d'obtenir les fournitures, le volume du barrage, les défaillances et le taux de satisfaction en chaque mois futur de la politique.

IV.3 MODELE DE GESTION OPTIMISE :

Dans notre étude la priorité d'alimentation en eau est réservée à l'AEP et l'AEI.

Le terme optimisation dans ce contexte, ne prend pas le sens solution, mais il est le fait de représenter le plus fidèlement possible la conception du comportement le plus avantageux (qui vise à satisfaire le plus possible les différents usagers), car la première conception (solution), nécessite au moins une forme analytique.

Pour optimiser notre gestion, nous avons élaboré un modèle de gestion, sur lequel nous avons appliqué deux techniques :

- La restriction à l'irrigation
- Le lissage suivant la courbe objectif de la demande.

IV.3.1 LA RESTRICTION A L'IRRIGATION :

En irrigation un certain niveau de restriction (déficit hydrique) est tolérable, la production des cultures vis-à-vis de l'eau utilisée suit une loi de rendements décroissants.

Il ne serait donc pas réaliste de concevoir des moyens d'irrigation capables de satisfaire l'intégralité des besoins, y compris les pointes tout à fait exceptionnelles.

On peut même ajouter que pour certaines cultures, la satisfaction des besoins en eau au niveau des consommations potentielles (évapotranspiration maximale ETM) ne permet pas d'atteindre les meilleurs rendements. Cependant, pour de nombreuses cultures, il existe des périodes pendant lesquelles toute restriction au-dessous d'un certain seuil entraîne une perte de potentiel de production irrécupérable quelle que soit l'alimentation hydrique ultérieure.

Ces périodes critiques dépendent de la culture et son stade végétatif (par exemple le maïs est beaucoup plus sensible à certains déficits temporaires que le soja et surtout le tournesol et le sargo)[9]. Ces cas doivent donc être pris en compte pour l'exploitant agricole ce qui n'est pas possible, car c'est le gestionnaire qui décide.

Pour cette raison nous avons pris une autre conception pour la restriction, celle qui repose sur la superficie.

L'introduction de cette technique (restriction) dans notre modèle est faite par le sous-programme DEM- COR (demande corrigée), ainsi l'organigramme du modèle est le suivant :

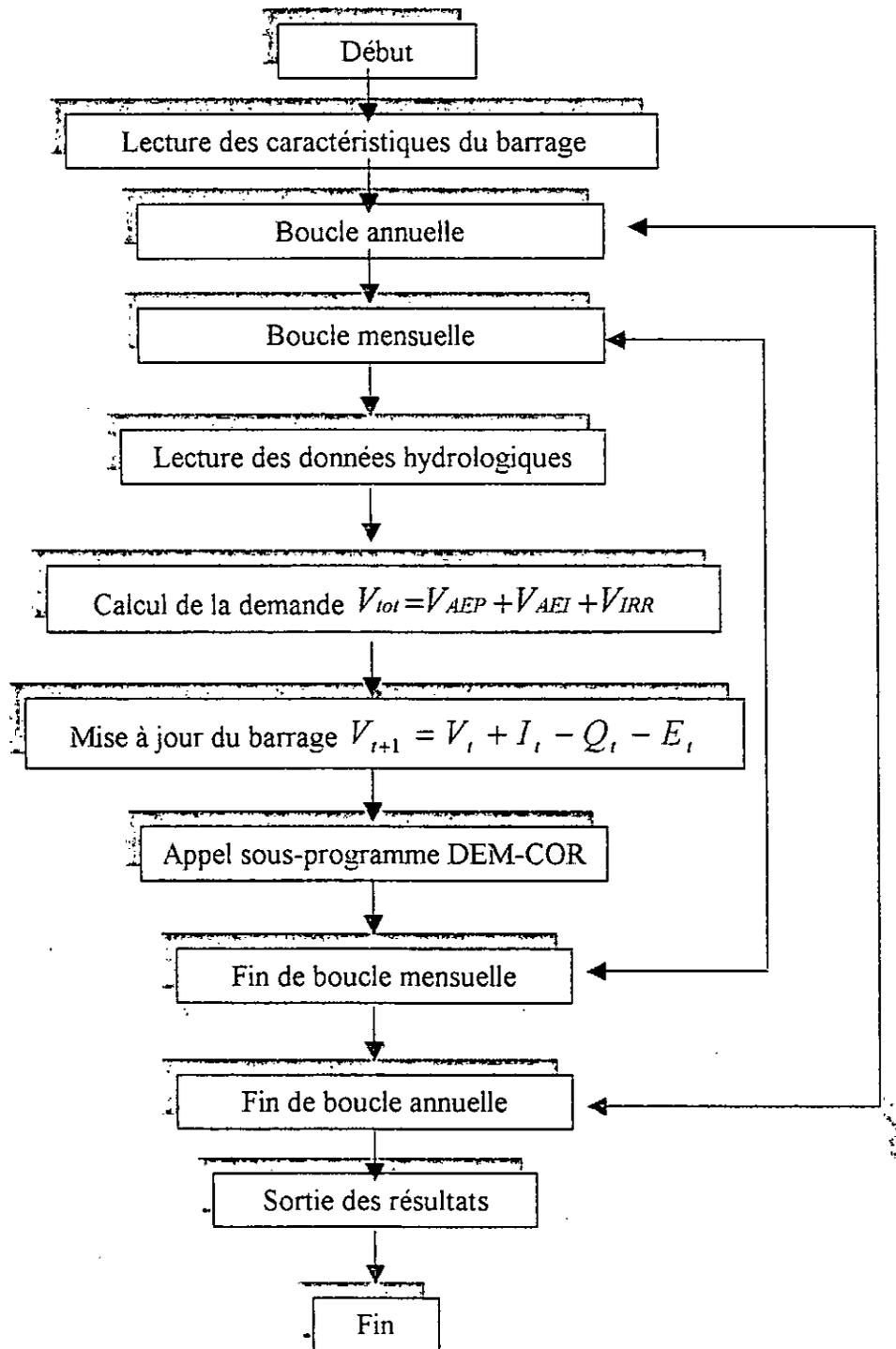


Figure 4.5 : Organigramme général du modèle de gestion par la restriction à l'irrigation

La lecture des caractéristiques du barrage et la lecture des données hydrologiques sont les mêmes que le modèle basé sur l'ACP (c'est-à-dire on travaille toujours avec les scénarios extrêmes), ainsi que l'affichage des résultats (les fournitures, le volume du barrage, les défaillances et le taux de satisfaction).

Calcul de la demande :

Le calcul de la demande est déjà étudié (cf. Détermination des besoins en eau).

Le sous-programme DEM-COR :

Ce sous-programme consiste à corriger les demandes. On essaye en premier lieu de couvrir les besoins de 16500 hectares (la surface totale), si la réserve dans le barrage ne le permet pas, on remplacera la surface irriguée de 16500 hectares par une surface inférieure et qui pourrait être irriguée, sinon on satisfait les demandes d'AEP et D'AEI sans irrigation.

IV.3.2 LE LISSAGE SUIVANT LA COURBE OBJECTIF DE LA DEMANDE :

On choisit (par calcul) une stratégie à priori, c'est-à-dire une évolution imposée de la demande au cours de l'année et on essaie de s'en tenir malgré les événements hydrologiques [17].

La gestion consiste ensuite à se rapprocher dans la mesure du possible de cette courbe moyenne tout en respectant les contraintes (voir Figure 4.3).

L'avantage principal de cette méthode est elle est simple, robuste et facile à appliquer.

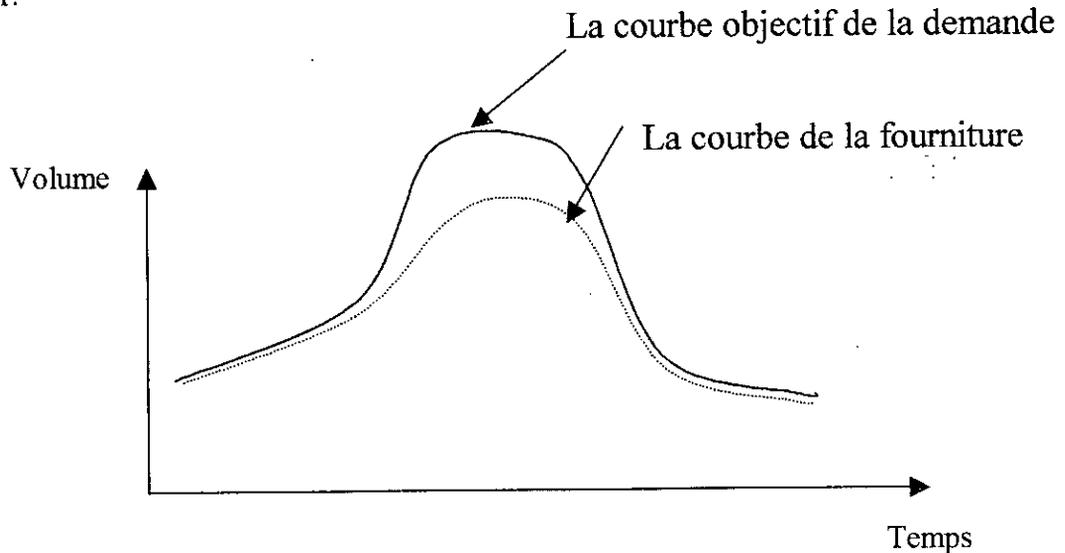


Figure 4.6 : Courbe objectif de la demande

L'introduction de cette technique (le lissage suivant la courbe objectif) dans notre modèle est faite par le sous-programme REPART (répartition des fournitures mensuelles de la même année) soumise à l'équation :

$$V_{fi} = a \cdot V_{di} \quad a < 1 \quad \text{avec :}$$

V_{fi} : volume lâché qui correspond le mois i

V_{di} : volume Demandé qui correspond le mois i

$$a = \frac{\sum_{j=1}^{12} v_{fj}}{\sum_{j=1}^{12} v_{dj}} \quad \text{avec} \quad \sum_{j=1}^{12} v_{fj} \quad \text{et} \quad \sum_{j=1}^{12} v_{dj} \quad \text{sont respectivement les lâches et les}$$

demandes annuels, calculés par le modèle de simulation avec lissage .

Ainsi l'organigramme du modèle est le suivant :

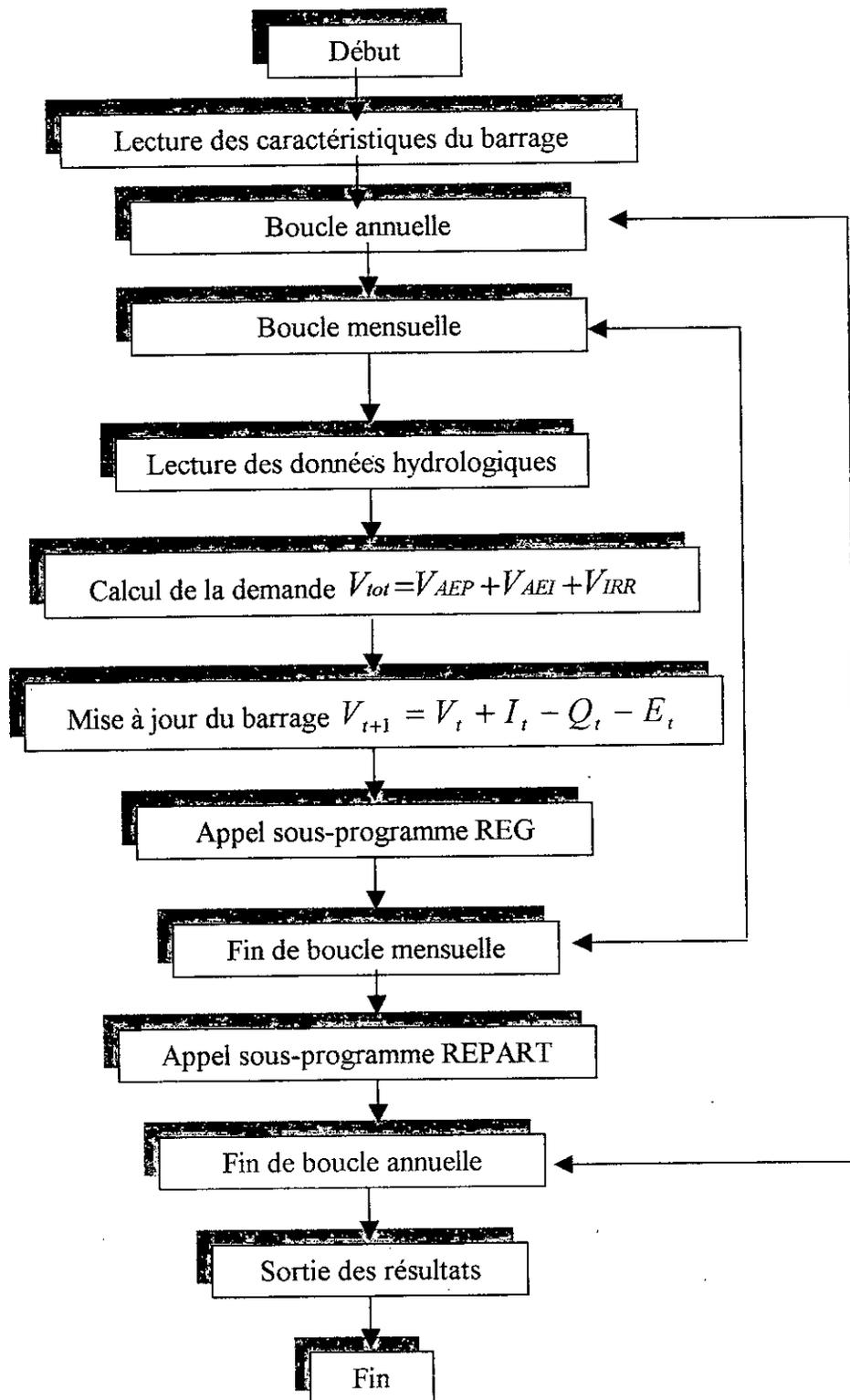


Figure 4.7 : Organigramme général du modèle de gestion optimisé
Le sous-programme REPART :

Ce sous-programme consiste à corriger les fournitures et à les répartir suivant la courbe objectif de la demande après avoir été calculées par le modèle de gestion de simulation. La seule difficulté rencontrée c'est le respect des contraintes.

IV.4 INTERPRETATION DES RESULTATS :

Le problème de la gestion d'un barrage réservoir dépasse le simple fait d'optimiser un modèle, l'approche développée dans ce travail permet de mieux représenter le plus fidèlement possible la conception du comportement le plus avantageux de point de vue quantitative. Cette démarche ignore ainsi l'aspect économique, ce qui veut dire qu'elle ne requiert pas d'optimisation.

Les données qui sont à notre disposition sont échantillonnées à des pas de temps différents (journalier, mensuel, hebdomadaire). Pour les apports, par exemple nous disposons d'une série d'observation de 34 ans avec une interruption de 1955/56 à 1966/67 période durant laquelle le barrage de la Cheffia a été construit dont 17 années sont au pas de temps mensuel et 17 années au pas de temps journalier.

Pour l'évaporation et l'évapotranspiration nous disposons d'une série de données de 30 ans c'est-à-dire de 1967 à 1996, certaines valeurs sont échantillonnées avec un pas de temps hebdomadaires, les autres à partir de 1978 sont échantillonnées avec un pas de temps journalier. La série d'évapotranspiration a été calculée par la formule de PENMAN à partir des données météorologiques suivantes :

- Température moyenne de l'air ;
- Humidité relative de l'air ;
- Insolation ;
- Vitesse du vent.

Concernant la pluie, Nous disposons d'une série d'observation de 40 années, c'est-à-dire de 1955/56 à 1994/95 donnée par un pas de temps journalier. Nous disposons également d'un certain nombre de données étalées sur 17 ans qui renseignent sur les paramètres qui entrent dans la modélisation et qui sont échantillonnées par un pas de temps mensuel. Ces données sont :

- Défluent (débits sortant du barrage)
- Volume de fuites
- Volume de la vidange de fond
- Volume déversé
- Volume donné à l'AEP
- Volume donné à l'irrigation
- Volume donné à l'AEI
- Volume de la consommation totale
- Volume d'eau dans le barrage à la fin du mois
- Volume d'eau dans le barrage au début du mois
- Taux de remplissage de barrage

Puisque d'une part la plupart des données sont échantillonnées mensuellement, on a été contraint de travailler avec ce pas de temps et d'autre part nous avons quelques échantillons tronqués, on a été obligé de simuler ces échantillons avec des modèles n'exigeant pas la chronologie, il se trouve justement que la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) est l'une de ces méthodes.

Dans une seconde étape, une étude critique des données collectées a été entreprise car toute entrée fautive génère une sortie fautive. En effet pour confirmer la fiabilité de nos données l'utilisation de quelques tests (FISHER, STUDENT...) a été d'un grand apport.

La simulation des séries hydro-météorologique apporte une information nouvelle du fait que les séries générées forment la population du phénomène étudié dont les caractéristiques statistiques sont conformes à celles de l'historique, pour cela on a utilisé le modèle GESTOP, ce dernier est fondé sur l'analyse en composantes principales (ACP) et s'écrit :

$$\bar{x}_j = \beta_{j_0} + \sum_{i=1}^N \beta_{j_i} C_i + E_j$$

avec :

$$\beta_{j_0} = \bar{x}_j$$

$$E_j = \sigma x_j \varepsilon_j$$

La variable simulée est une combinaison linéaire des composantes principales qui sont indépendantes par construction. A partir des différentes possibilités de génération offertes, nous avons diverses méthodes de simulation (fonction de répartition, loi d'ajustement, chaînes de Markov), qui fourniront par la suite plusieurs combinaisons et donc une variété de scénarios possibles.

L'analyse des séries simulées de l'évapotranspiration (ETP) permet d'affiner la détection d'éventuelles périodes sèches ou humides de longue durée, la détection de ces périodes est effectuée en comparant les séries simulées avec celles de l'historique par rapport à la moyenne interannuelle des données historiques.

Sur la base d'une dotation de 200 l/j/hab pour l'horizon long terme le volume destiné à l'usage domestique donne une valeur de 95.425 Hm³ ce qui rend pratiquement impossible une politique de gestion permettant la satisfaction des différents usagers, la solution proposée est de prendre comme dotation 150 l/j/hab pour le même horizon, soit un volume de 71.569 Hm³ pour la dernière année cet horizon (2031). La recherche d'autres ressources pour alimenter les usages domestiques est indispensable du fait de l'accroissement significatif de la demande en se basant sur une dotation de 200 l/j/hab.

Pour les demandes industrielles nous avons estimé un volume annuel de 24 Hm³ soit 2 Hm³ par mois.

La comparaison (au niveau annuel) des précipitations (PLU) et l'évapotranspiration (ETP) permet de distinguer la quantité de déficit selon la différence (PLU-ETP). Pour évaluer les besoins en eau agricole, nous avons besoin des séries simulées de l'évapotranspiration et de la pluie afin d'étudier le bilan (PLU-ETP).

A partir de l'analyse en composantes principales, nous avons élaboré un modèle de gestion afin d'identifier (simuler) la manière dont le barrage réservoir de la Cheffia était gérer par le passé, pour mettre en évidence la fiabilité de notre modèle optimisé. La mise en œuvre de cette méthodologie a nécessité un certain nombres de données historiques permettant une connaissance approfondie de système de gestion par le biais de la composante principale.

L'analyse des cercles de corrélations des composantes principales basées sur des données saisonnières, montre l'existence de deux groupes principales, l'une est corrélée positivement avec le premier axe qui représente les demandes, l'autre est corrélée positivement avec le deuxième axe qui représente les apports. Le troisième axe n'a pas une influence prépondérante, même si cette composante a une contribution plus au moins

importante de la variance (12 % pour l'automne, 12.7 % pour l'hiver, 12.3 % pour le printemps et 15.1 % pour l'été).

L'approche à partir de l'analyse en composantes principales basée sur des données saisonnières (4 saisons) n'a pas permis de ressortir des liaisons significatives entre les apports et les demandes, c'est pour cela qu'une étude basée sur des données mensuelles a été développée. Sur cette dernière étude nous avons trouvé les mêmes résultats dans les cercles de corrélations des composantes principales basées sur des données saisonnières et qui sont résumé comme suit :

- Les demandes sont corrélées positivement avec le premier axe ;
- Les apports sont corrélés positivement avec le deuxième axe ;
- Le troisième axe n'a pas une signification considérée.

Le premier axe a été interprété par les demandes et le deuxième par les défluent (apports). Ces deux composantes principales affluants – demandes ont été corrélées entre elles. Le tracé de corrélation entre ces deux composantes (données historiques) représente un nuage de points se répartissant le long d'une droite, ce qui montre une dépendance fonctionnelle assez élevée où r (coefficient de corrélation) = 0.815.

Les coefficients de régression calculés par la méthode de moindres carrés sont :

$$A = 0.3943 \text{ et } B = 5.0266$$

Notre programmation est faite en langage pascal. Nous avons choisi comme pas de temps : le mois. Ainsi pour que notre résultat représente les conditions réelles du barrage, nous avons fixé un volume initial pour le barrage qui correspond à la moitié de la retenu, soit $V=84.24 \text{ Hm}^3$.

Nous pouvons donc, facilement lire les résultats donnés sous forme numérique dans un tableau qui affiche (le volume du barrage, les demandes, les fournitures, la défaillance et le taux de satisfaction) pour tous les mois futurs de la politique de gestion fixée (choisie) dans notre cas de 30 années. Cependant pour mieux représenter ces résultats, nous avons projeté (tracé) les demandes et les fournitures sous forme d'histogrammes afin de faciliter la comparaison entre ces deux grandeurs.

L'analyse des résultats montre une différence assez sensible entre les résultats obtenus à partir de différents modèles de gestion.

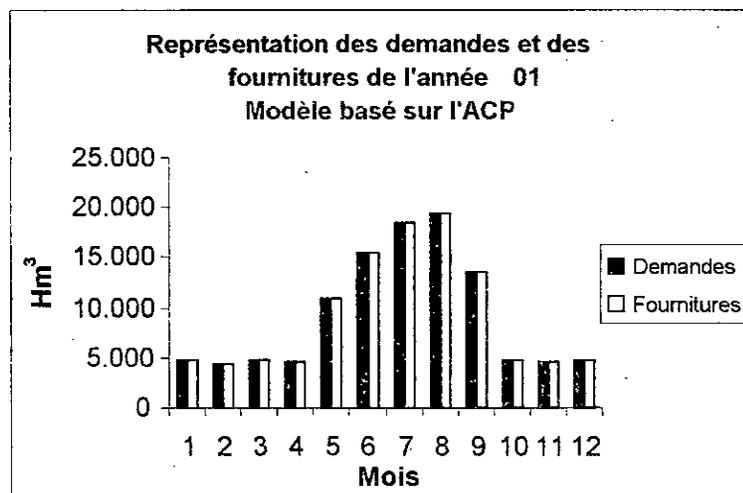


Figure 4.8 : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP)

Les fournitures données par le modèle basé sur l'ACP montrent quelques défaillances qui commencent à paraître dès la deuxième année. Ces défaillances surviennent grâce à l'augmentation successive de la demande et surtout durant la période allant de juin à septembre où les fortes demandes en eau agricole commencent à influencer sur la réserve et sur les fournitures destinées à l'AEP et l'AEI (on peut voir ça clairement dans l'histogramme représentant les années 1, 10, 20 et 30).

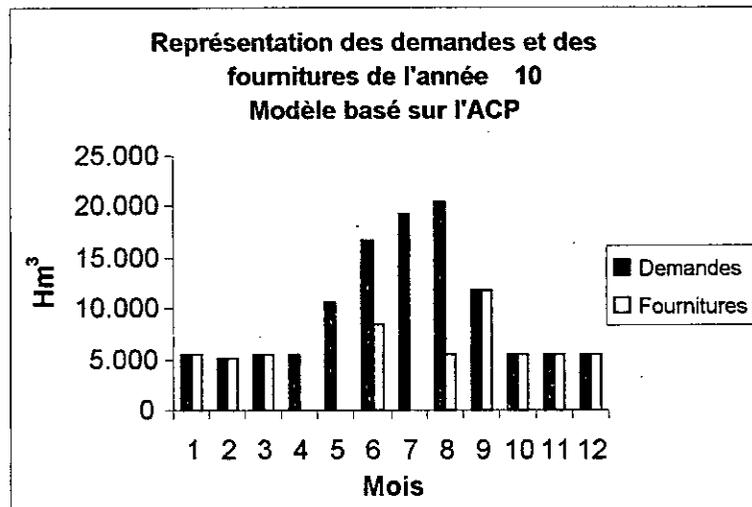


Figure 4.9 : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP)

A partir de certaine année (Avril de la deuxième année)le taux de satisfaction nul commence à apparaître (pénurie), cet inconvénient est le produit d'une gestion chaotique, étant donné que ce modèle reflète la gestion passée du barrage.

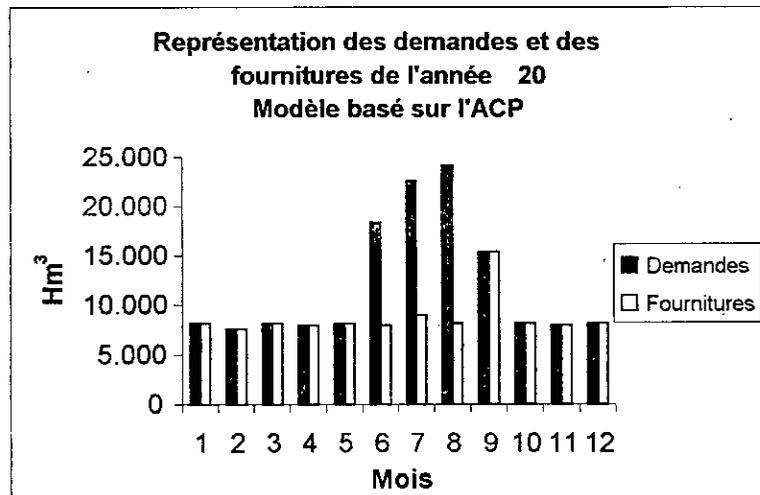


Figure 4.10 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP)

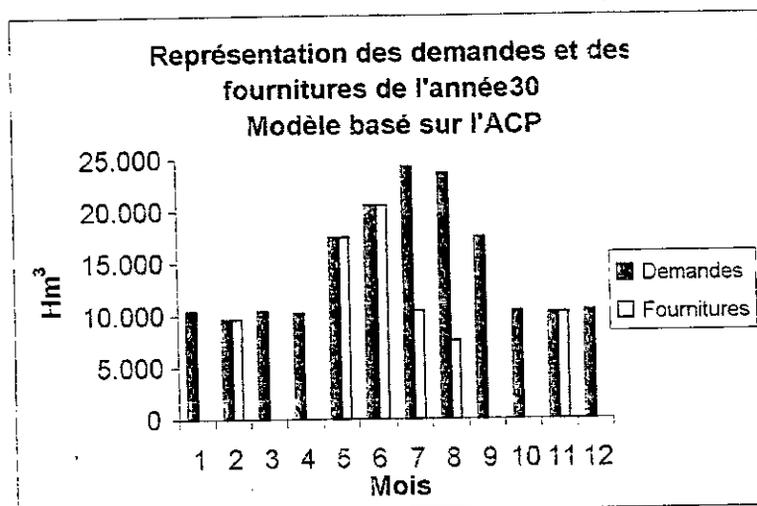


Figure 4.11 : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle basé sur l'ACP)

L'introduction de la restriction à l'irrigation dans un modèle de gestion est une approche meilleur, cela est due à la diminution de la demande destinée à l'irrigation.

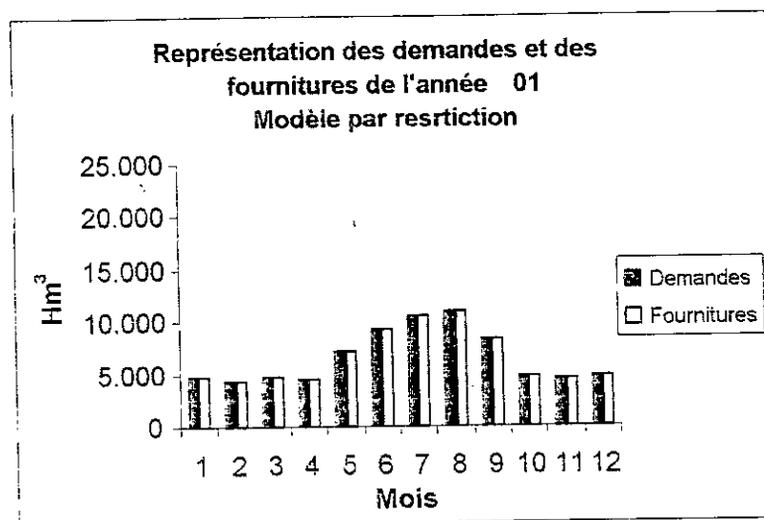


Figure 4.12 : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation)

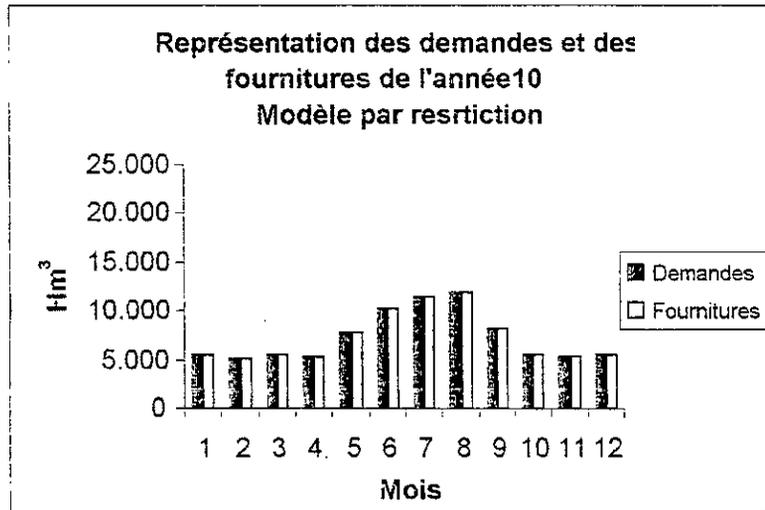


Figure 4.13 : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation)

Les défaillances et les manques totaux des fournitures (taux de satisfaction nul) persistent encore (on peut voir ça clairement dans les histogrammes représentant l'année : 20 et l'année : 30 de la politique).

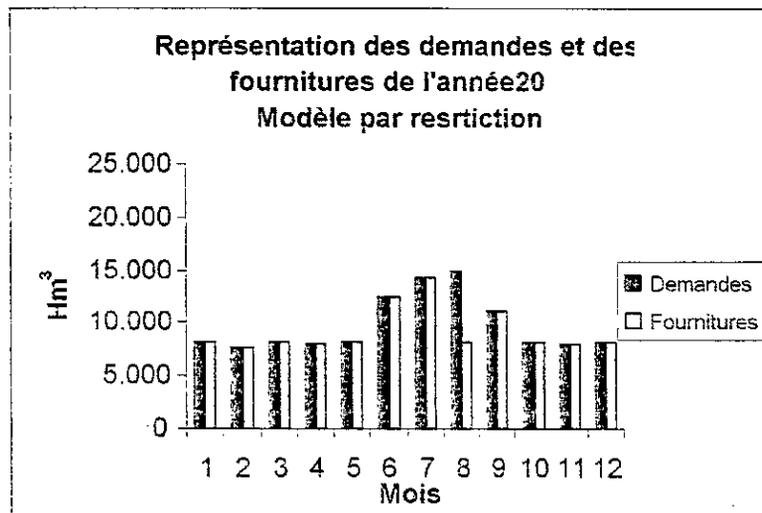


Figure 4.14 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation)

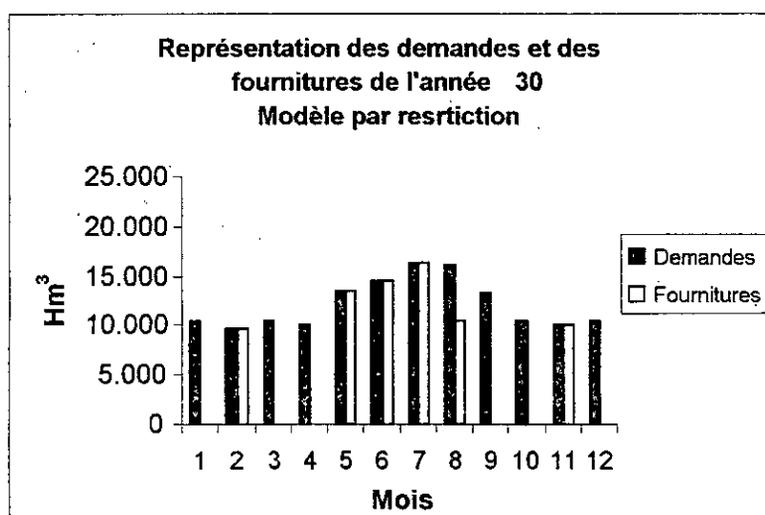


Figure 4.15 : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle par restriction à l'irrigation)

La technique du lissage suivant la courbe objectif de la demande a apporté une amélioration concrète envers le manque total de fourniture (taux de satisfaction nul), ce dernier n'est jamais apparu durant toutes les années de la politique (voir histogramme pour l'année : 30).

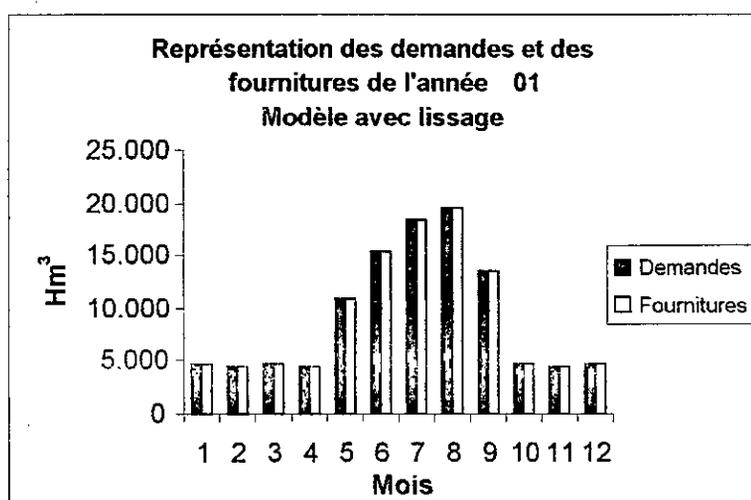


Figure 4.16 : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle avec lissage)

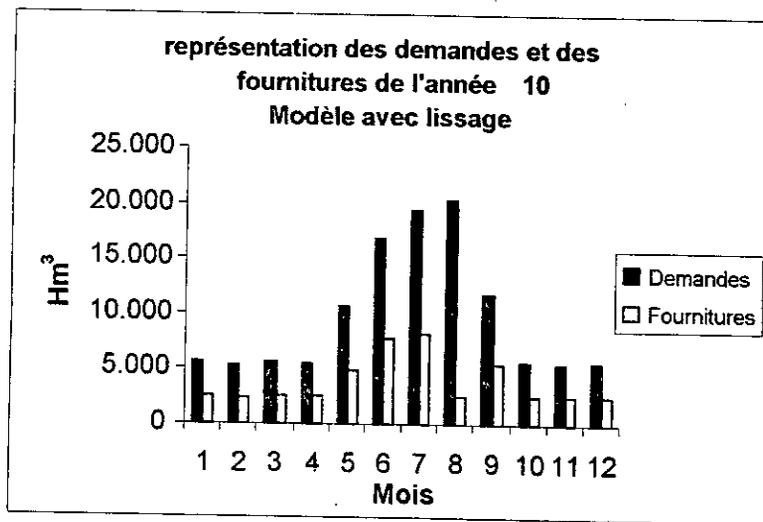


Figure 4.17 : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage)

Par contre au taux de satisfaction nul, le nombre de défaillances a augmenté et à partir de la deuxième année toutes les années de la politique ont subit des défaillances à part la sixième année, ce lissage rend le taux de satisfaction presque égal dans les différents années de la politique.

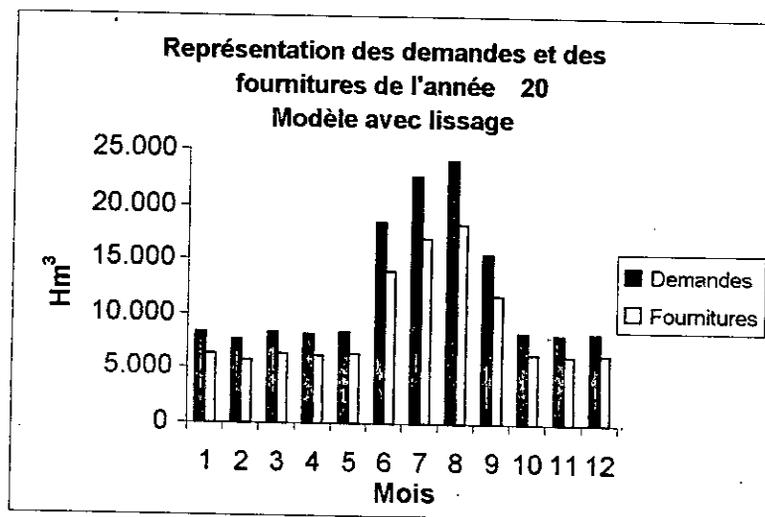


Figure 4.18 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage)

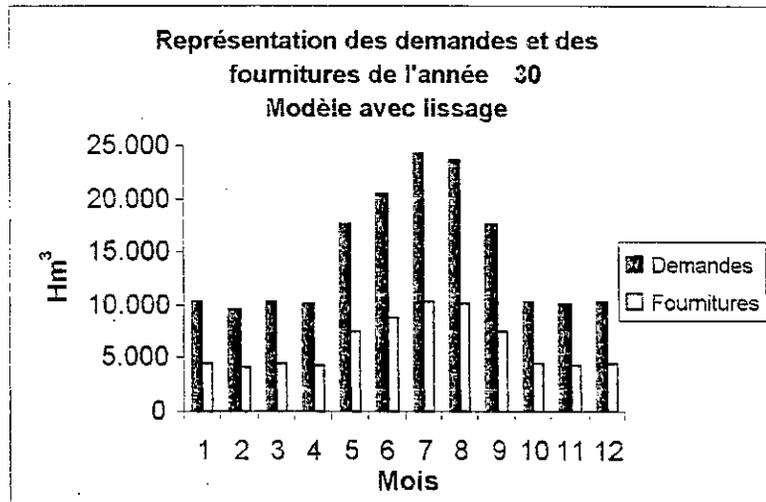


Figure 4.19 : Représentation des demandes et des fournitures de la 30^{ème} année de la politique de gestion (modèle avec lissage)

La combinaison des deux techniques (la restriction à l'irrigation et le lissage selon la courbe objectif de la demande) nous donne un modèle optimisé.

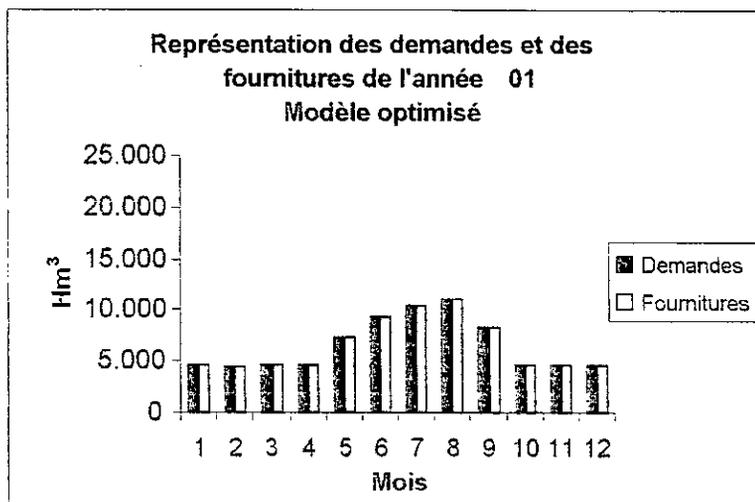


Figure 4.20 : Représentation des demandes et des fournitures de la 1^{ère} année de la politique de gestion (modèle optimisé)

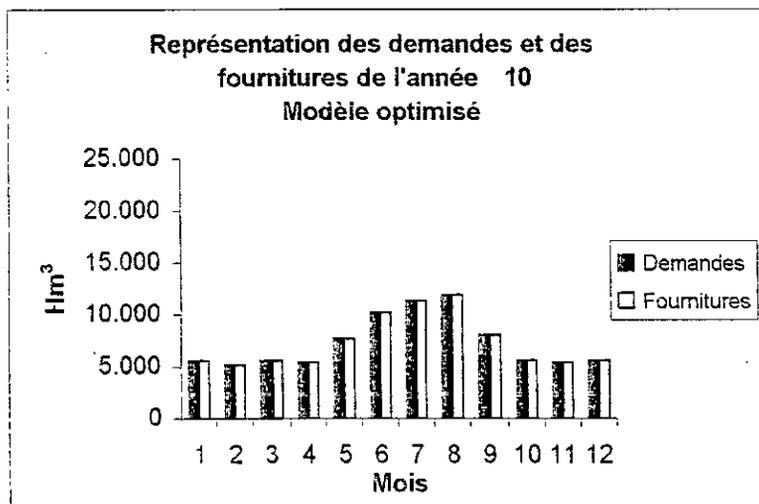


Figure 4.21 : Représentation des demandes et des fournitures de la 10^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé)

Ses résultats sont meilleurs car, d'une part il est censé couvrir un volume moins des besoins et d'autre part, il ne présente pas de la manque total des fournitures (taux de satisfaction nul).

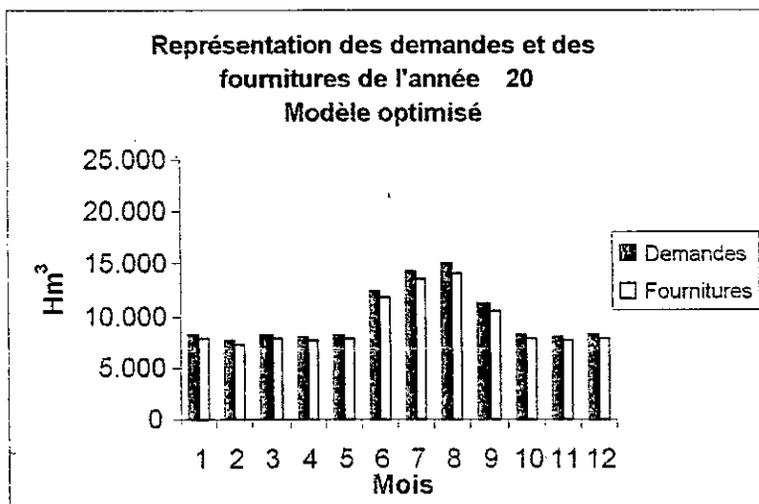


Figure 4.22 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé)

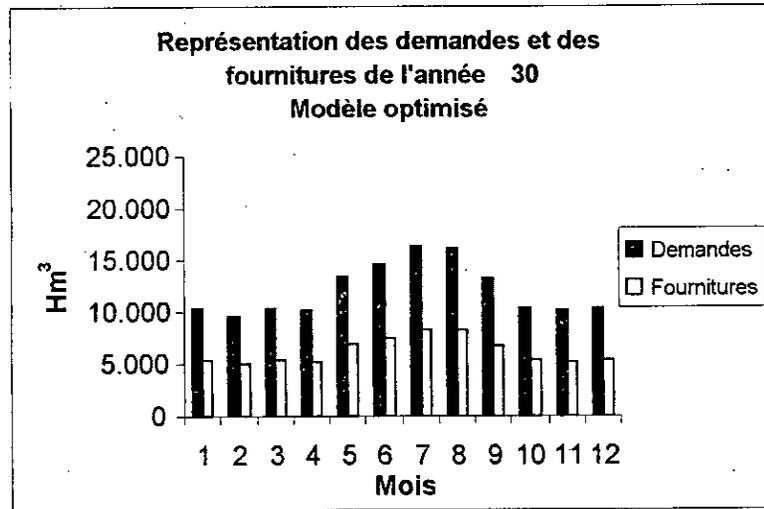


Figure 4.23 : Représentation des demandes et des fournitures de la 20^{ème} année de la politique de gestion (modèle optimisé)

Ce modèle (optimisé) peut également nous indiquer de l'année à partir de laquelle nous serons obligés de disposer des ressources supplémentaires (mobilisation, nappes, centres de dessalement), puisque et face aux demandes croissantes le barrage de la Cheffia ne permettra pas la satisfaction des besoins pour les différents usagers au cours des années futures (cette année est l'année 13 de la politique).

CONCLUSION GENERALE

Dans la présente étude, nous avons proposé une méthodologie simple pour la gestion d'un barrage réservoir destinée à sa régularisation. Dans cette approche la dimension économique n'est pas directement introduite comme facteur d'optimisation, mais une recherche d'une bonne gestion quantitative de l'eau contribue nécessairement à cette objectif.

Pour arriver à un partage rationnel des ressources, il sera nécessaire de disposer des données plus précise, c'est pour cela qu'une étude critique a été entreprise dans le premier chapitre.

La recherche d'une politique de gestion des barrage réservoirs destinée à satisfaire les besoins des différents usagers implique de simuler des séries synthétiques qui par la suite seront appliquées à des politiques de gestion. En effet la génération des ces séries synthétiques (débits, pluies, évaporations, évapotranspirations) est faite à l'aide du modèle GESTOP où les variables simulées se trouvent en combinaison linéaire indépendantes (composantes principales).

Il ressort de l'application de l'analyse en composantes principales sur l'ensemble des paramètres de gestion mensuelle (du cas étudié) qu'il y a seulement deux paramètres (composantes principales) prépondérantes à savoir : les affluants et la demande en eau. Ces deux paramètres se trouvent en bonne corrélation entre eux, la loi de corrélation ainsi établie constitue la base d'un modèle de gestion qui reflète la gestion antérieure du barrage et sera un repère pour notre modèle optimisé. Ce dernier est le résultat de la combinaison des deux techniques : la restriction à l'irrigation et le lissage suivant la courbe objectif de la demande.

L'introduction de la première technique (la restriction à l'irrigation) sur le modèle dit optimisé a pour effet la diminution des demandes en eau quand la lame d'eau atteint des niveaux inférieurs dans le barrage ce qui permet chaque fois (chaque mois) de stocker un volume supplémentaire, en effet les demandes en eau augmentent annuellement d'une façon continue, les demandes estimées en première année de la politique de gestion est de 52.768 Hm³ pour les besoins domestiques et industriels et 26 Hm³ pour les besoins agricoles soit en total 78.768 Hm³. Par contre l'année 30 (la dernière année de la politique) on a estimé une demande de 125.308 Hm³ pour les besoins domestiques et industriels et 21.449 Hm³ pour les

besoins agricoles soit en total 145.308 Hm³, cependant le modèle donne un volume de 74.504 Hm³ pour les besoins domestiques et industriels et ne donne qu'un volume de 11.28 Hm³ pour les besoins agricoles soit en total une fourniture de 74.504 Hm³.

La deuxième technique (lissage suivant la courbe objectif de la demande) a apporté une amélioration concrète vis à vis au manque total des fournitures (taux de satisfaction nul). Quand le barrage n'arrive pas à satisfaire tous les besoins au niveau annuel cette procédure entraîne nécessairement une restriction à l'AEP et à la l'AEI, mais d'une manière équivalente ce qui permet de partager ce déficit sur tous les usagers.

L'interprétation des résultats montre que la satisfaction des besoins à long terme n'est pas possible par les moyens actuels. Cependant si on dispose d'une part, des ressources supplémentaires (mobilisation, nappes, dessalement et surtout la réutilisation des eaux usées afin de satisfaire la demande en irrigation) et d'autre part des outils puissants d'aide à la décision, on pourrait satisfaire les besoins de différents usagers, commençant par la fiabilité des données et la performance de la simulation des séries hydro-météorologique et aboutissant à des solutions optimales prises par les décideurs.

Pour améliorer ce modèle on propose :

- d'améliorer la qualité de la simulation par :
 - 1- L'élargissement et la critique des séries des données d'observation
 - 2- La réduction du pas de temps (pas de temps journaliers le plus souvent)
 - 3- L'intégration de la prévision par la mise à jour du modèle
 - 4- La recherche des relations entre les paramètres physiques des bassins versants
 - 5- L'étude des relations (pluie – débit, pluie – ETP).
- D'intégrer les facteurs économiques et d'utiliser un modèle analytique d'optimisation comme la programmation dynamique.
- De généraliser la gestion d'un barrage à un système hydrique (avec d'autres barrages, nappes, dessalement des eaux de mer et réutilisation des eaux usées).

Les difficultés rencontrées lors de la gestion des barrages réservoirs nous ont amenés à utiliser des méthodes plus ou moins simples, mais efficaces, car la gestion classique ne prend pas en considération la satisfaction des demandes comme facteur principal. Ces méthodes qui

peuvent prêter parfois à certaines critique théoriques, trouvent leurs justifications dans la nécessité et la facilité théorique de l'étude.

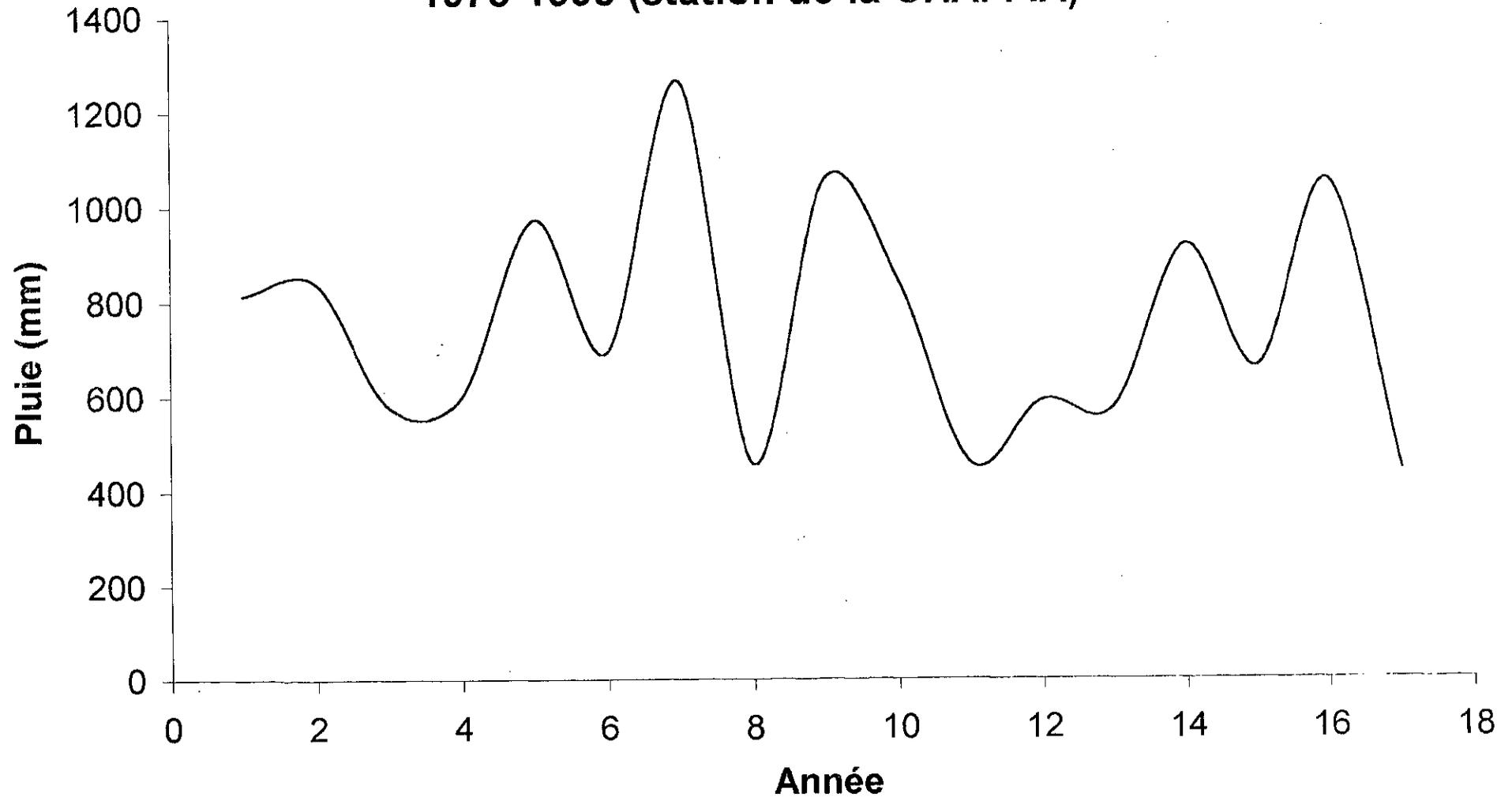
Nous nous sommes attachées à laisser ouvert le maximum des possibilités et les techniques qui peuvent conduire à améliorer la gestion. Néanmoins nous pouvons citer, comme même quelques recommandations qui seront des perspectives de notre étude et qui sont :

- Une étude développée des plans culturaux
- Une développement approfondie du bilan hydrique, pour déterminer avec exactitude les besoins en eaux des cultures.
- Une développement du modèle de gestion en étudiant en amont la relation pluie-débit à un pas de temps mensuel, qui permettra de faire une prévision sur les débits entrant en barrage et par-delà d'anticiper sur les décisions de satisfaire des demandes avalées.

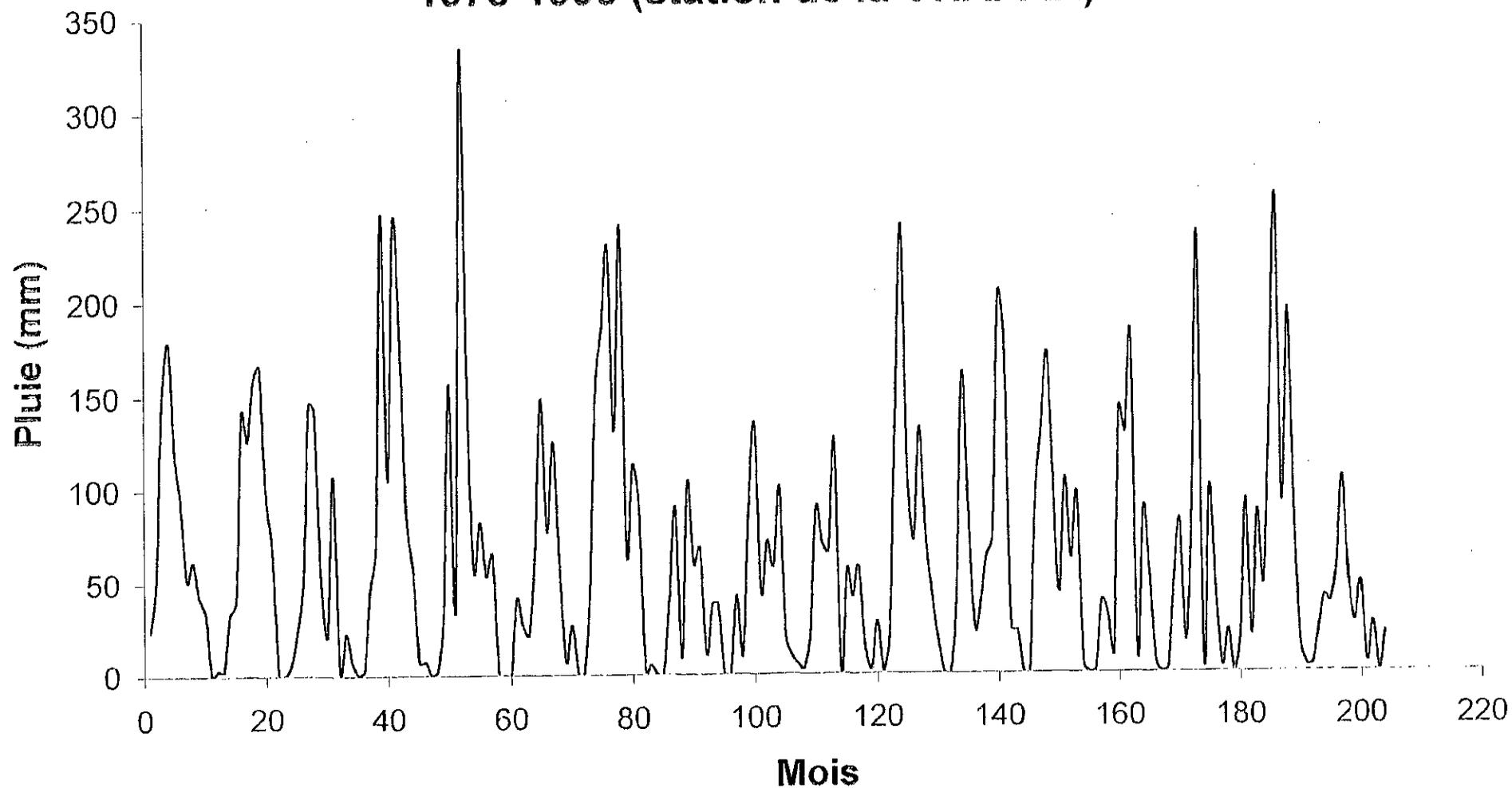
Finalement, toutes ces méthodes ne substituent pas en réalité aux décideurs : elles sont des aides à la décision.

ANNEXE I

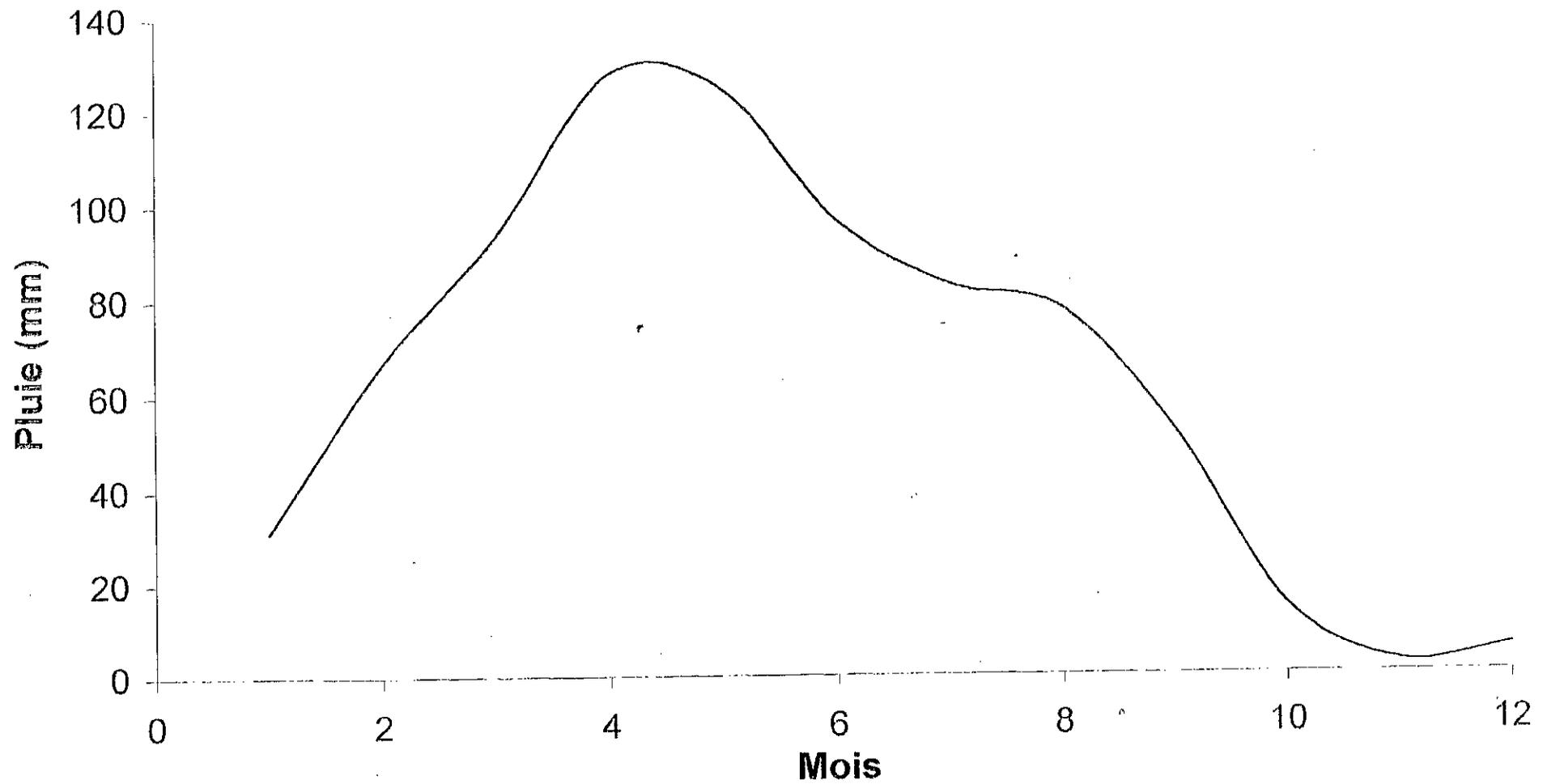
Pluviométrie annuelle 1978-1995 (station de la CHAFFIA)



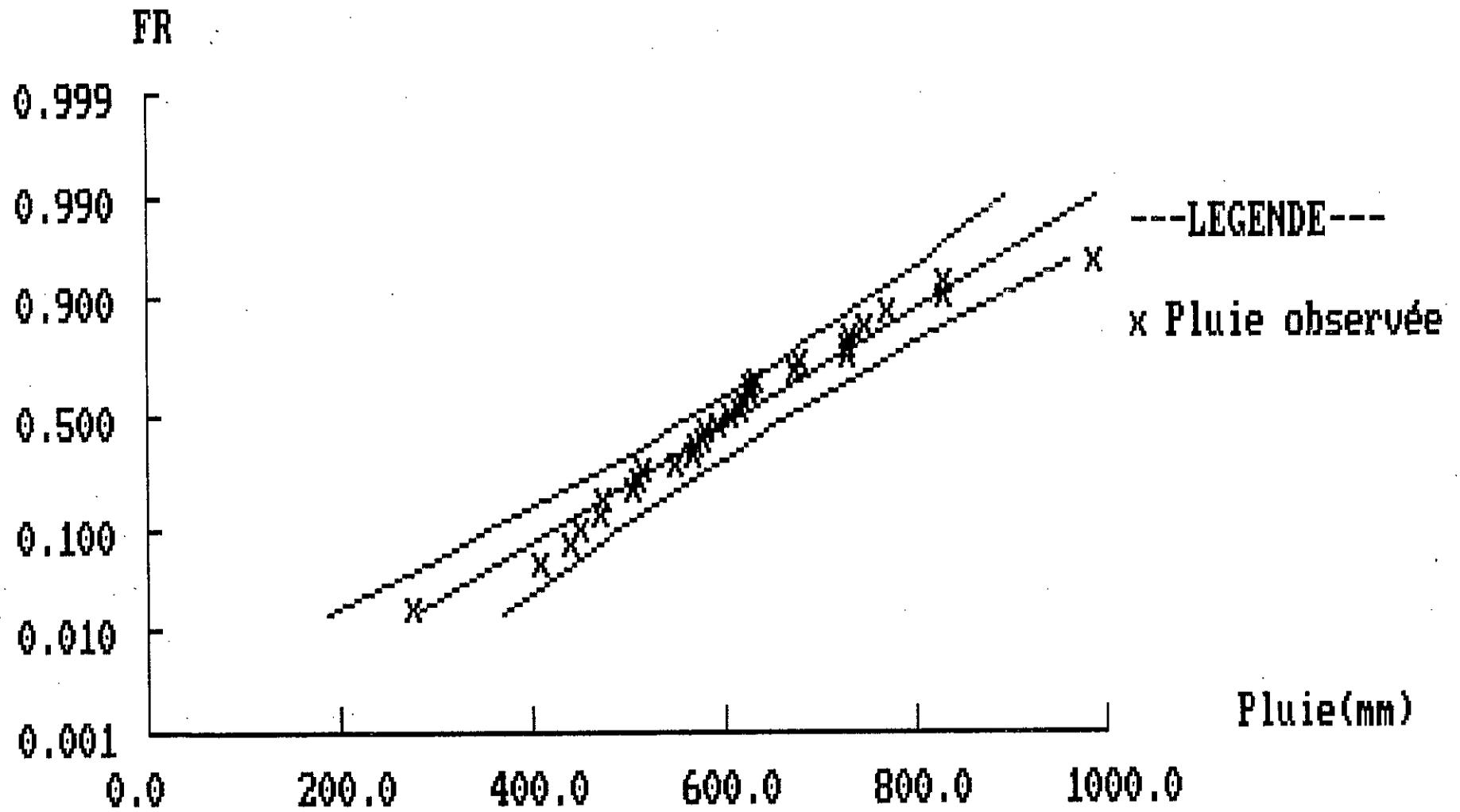
Pluviométrie mensuelle 1978-1995 (station de la CHAFFIA)



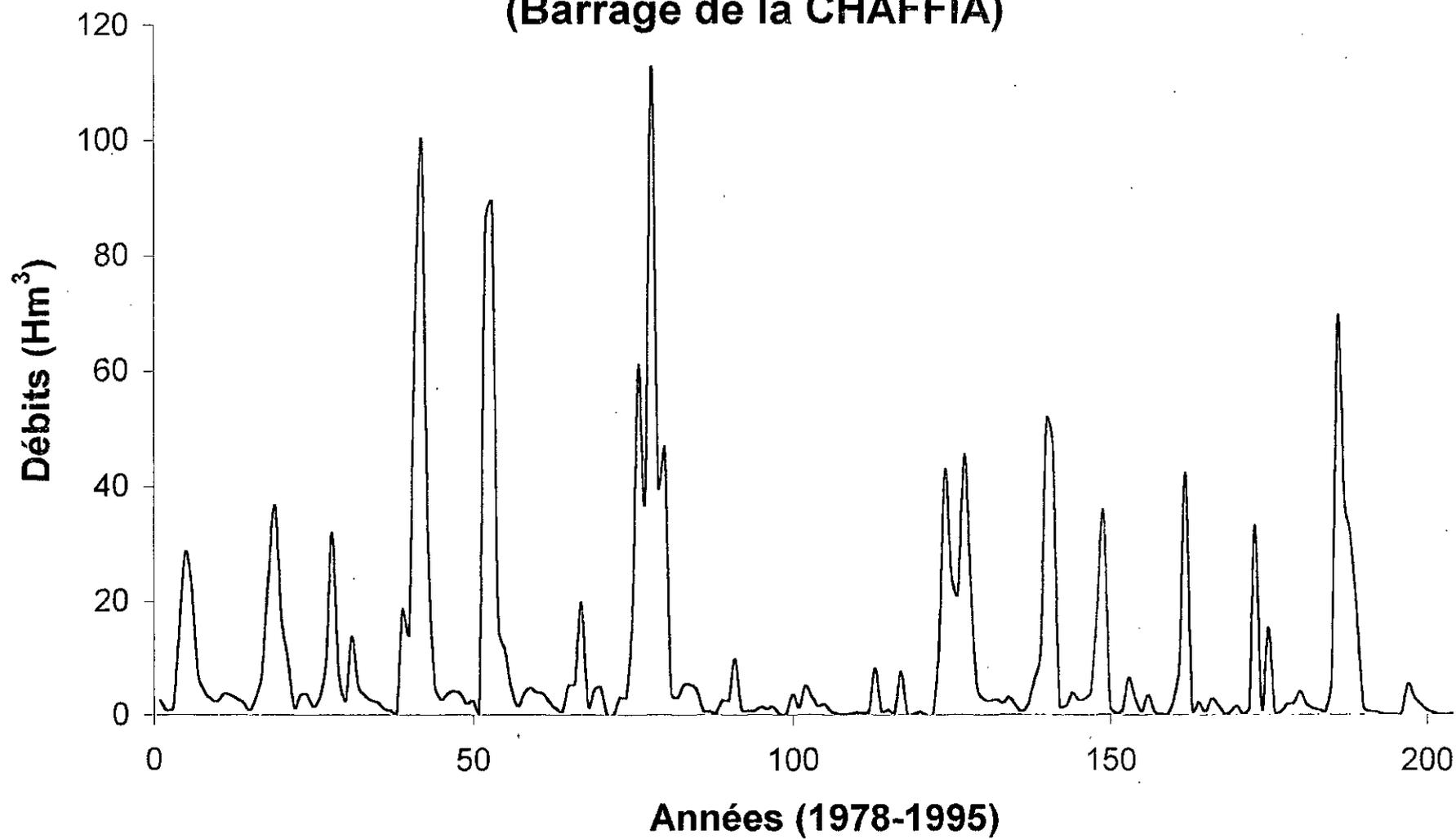
Pluie mensuelle interannuelle 1978-1995 (station de la CHAFFIA)



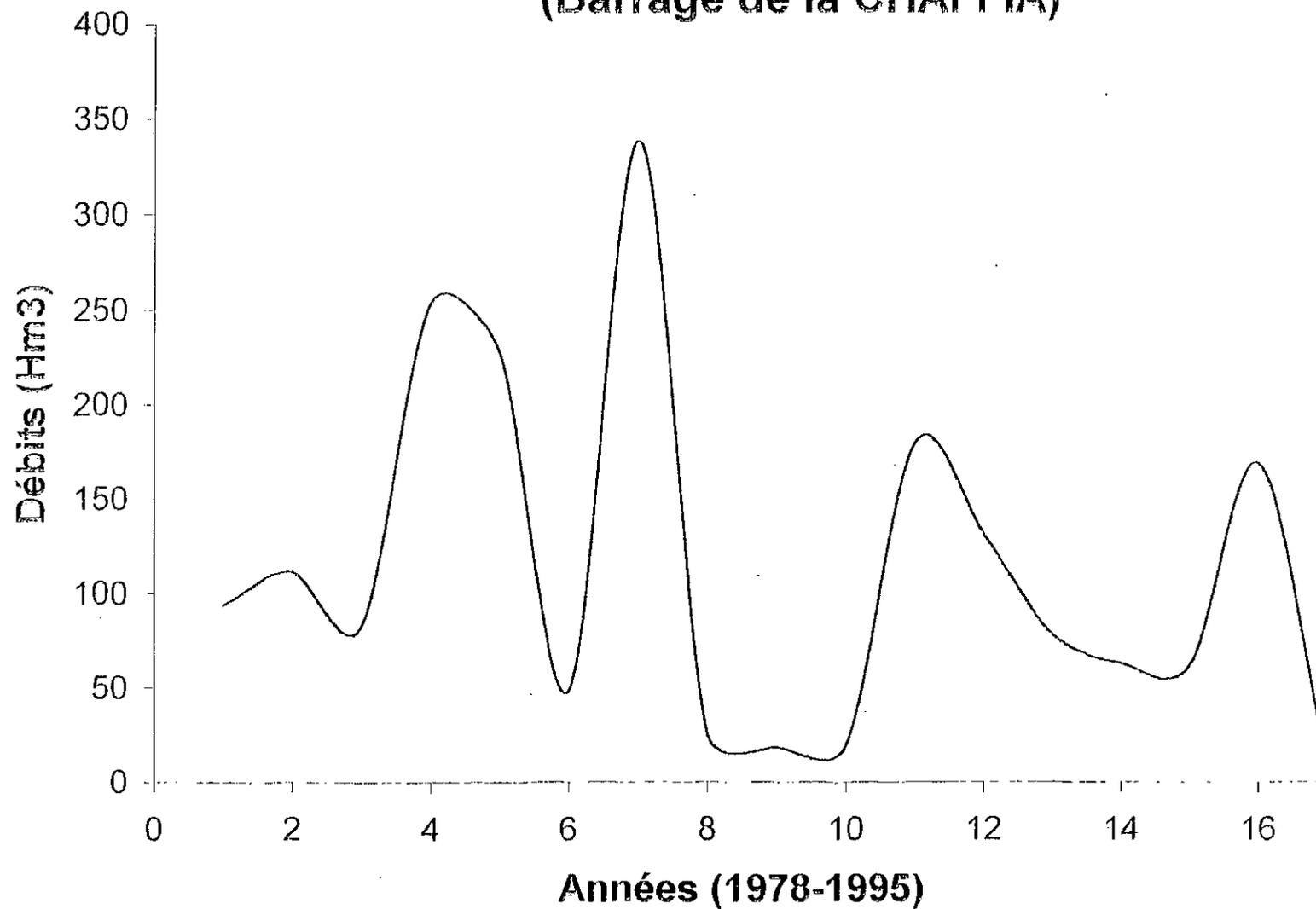
Ajustement par la LOI NORMALE des pluies annuelles



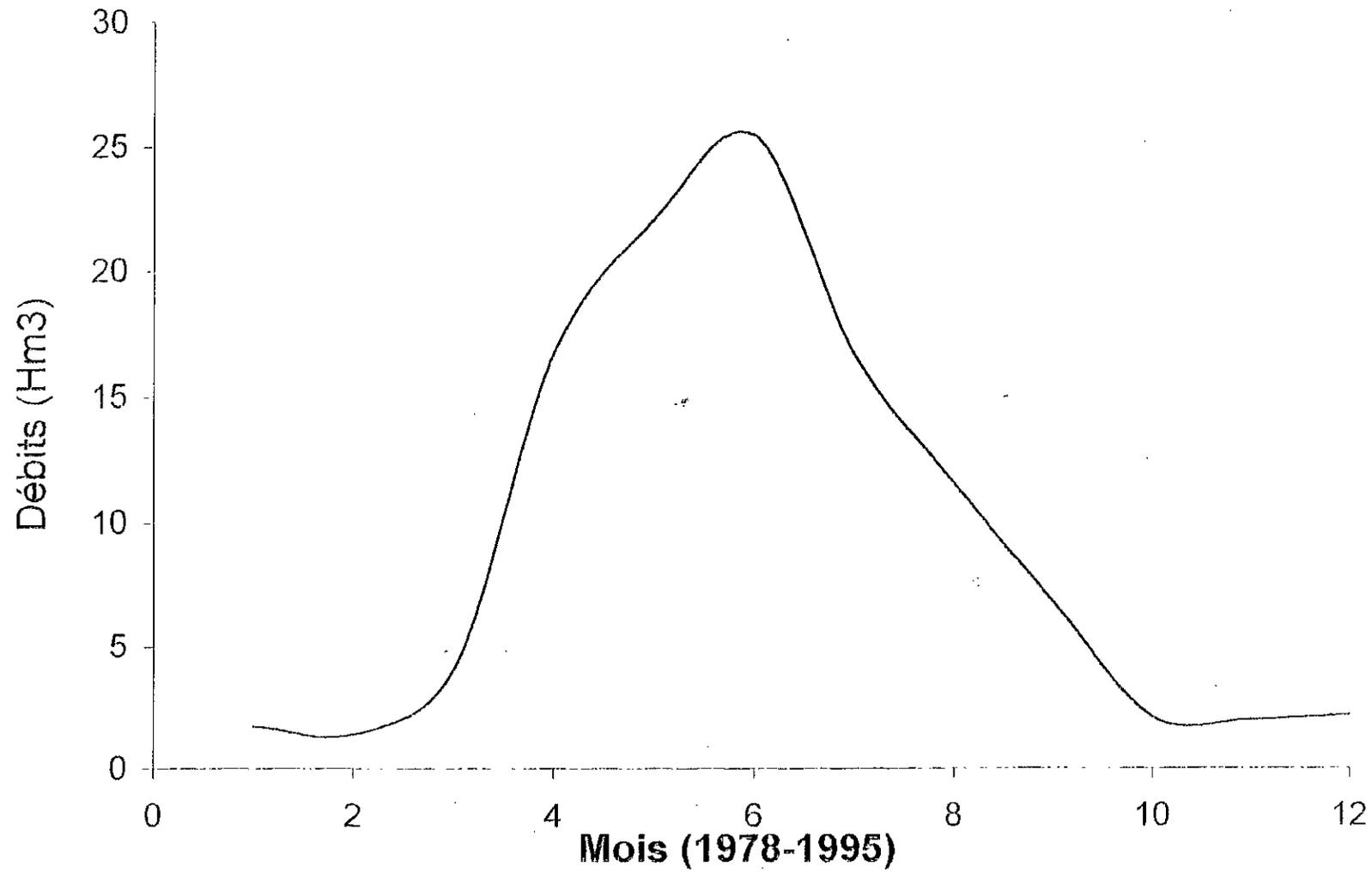
Variation des débits mensuels (Barrage de la CHAFFIA)



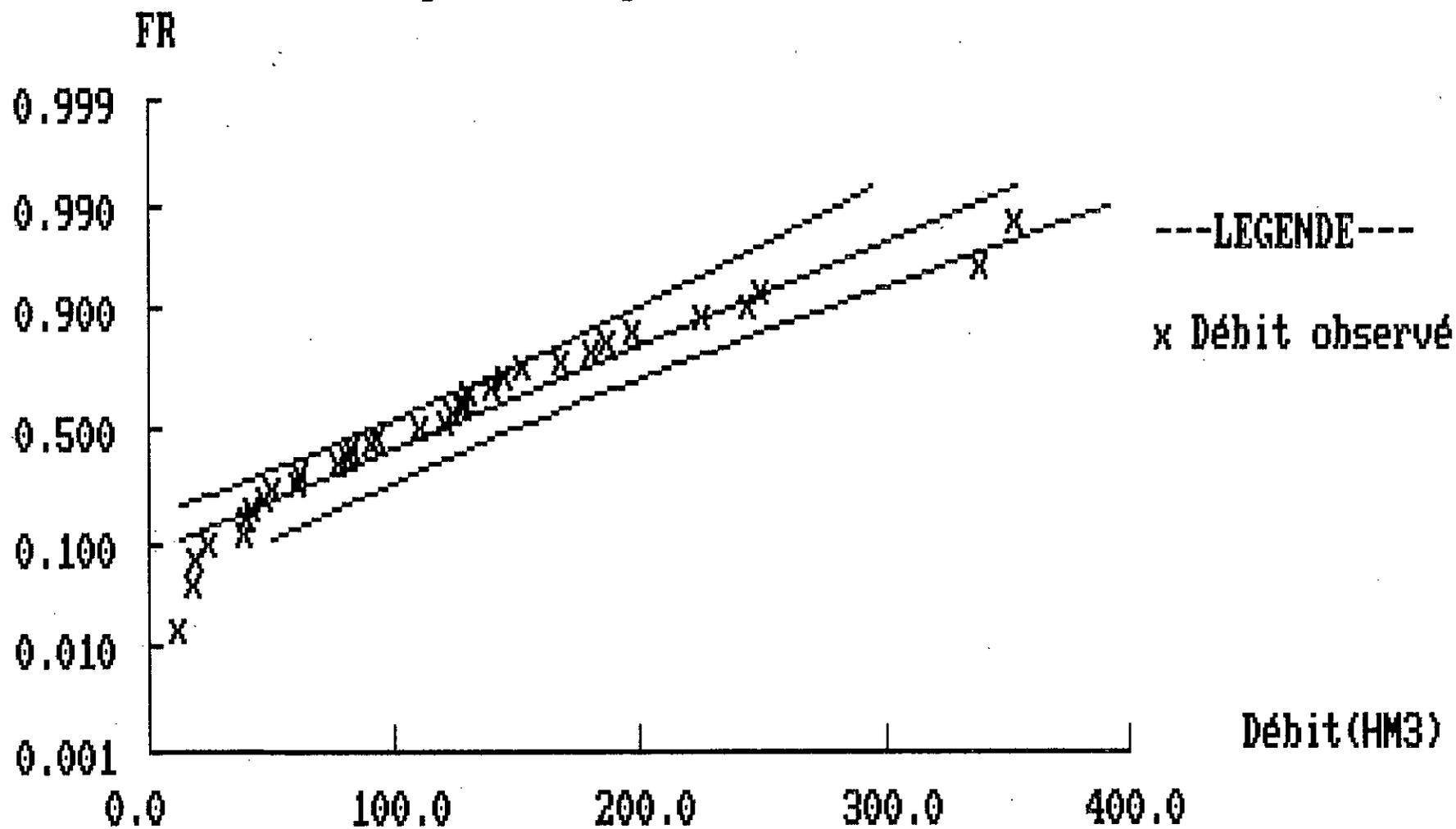
Variation annuelle des débits (Barrage de la CHAFFIA)



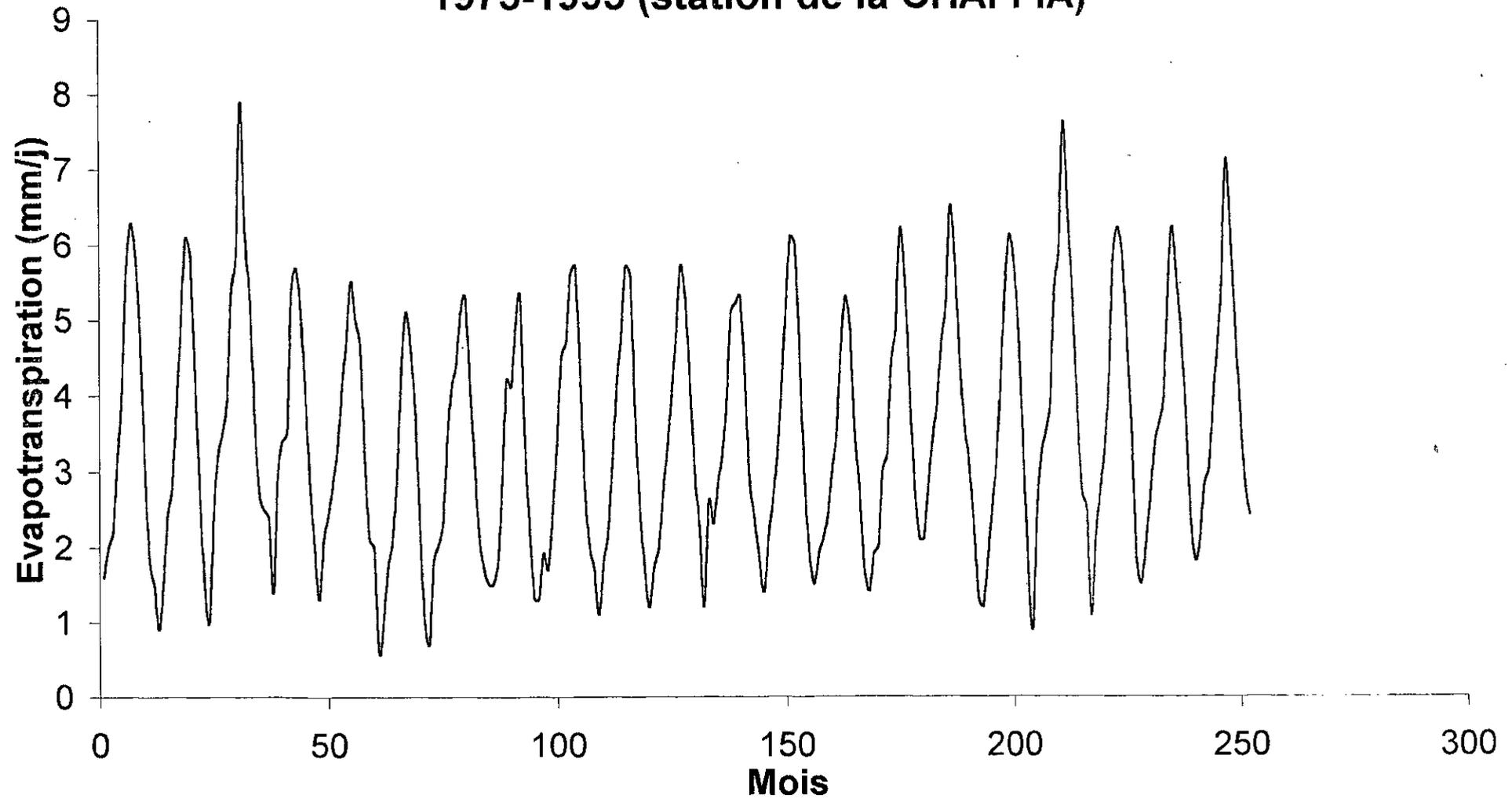
Débits moyens mensuels interannuels (Barrage de la CHAFFIA)¹⁶



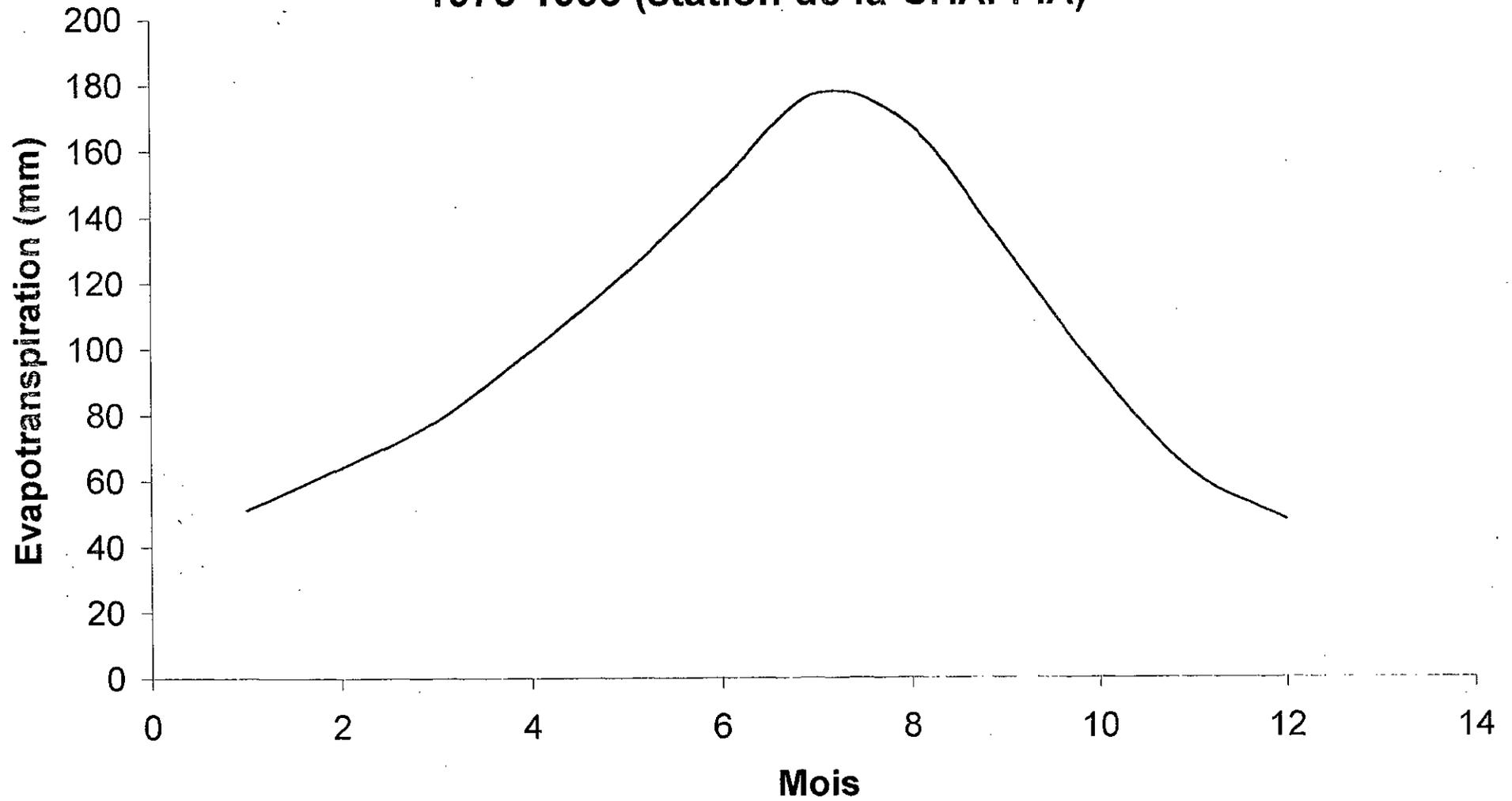
Ajustement par la LOI NORMALE des Débits annuels



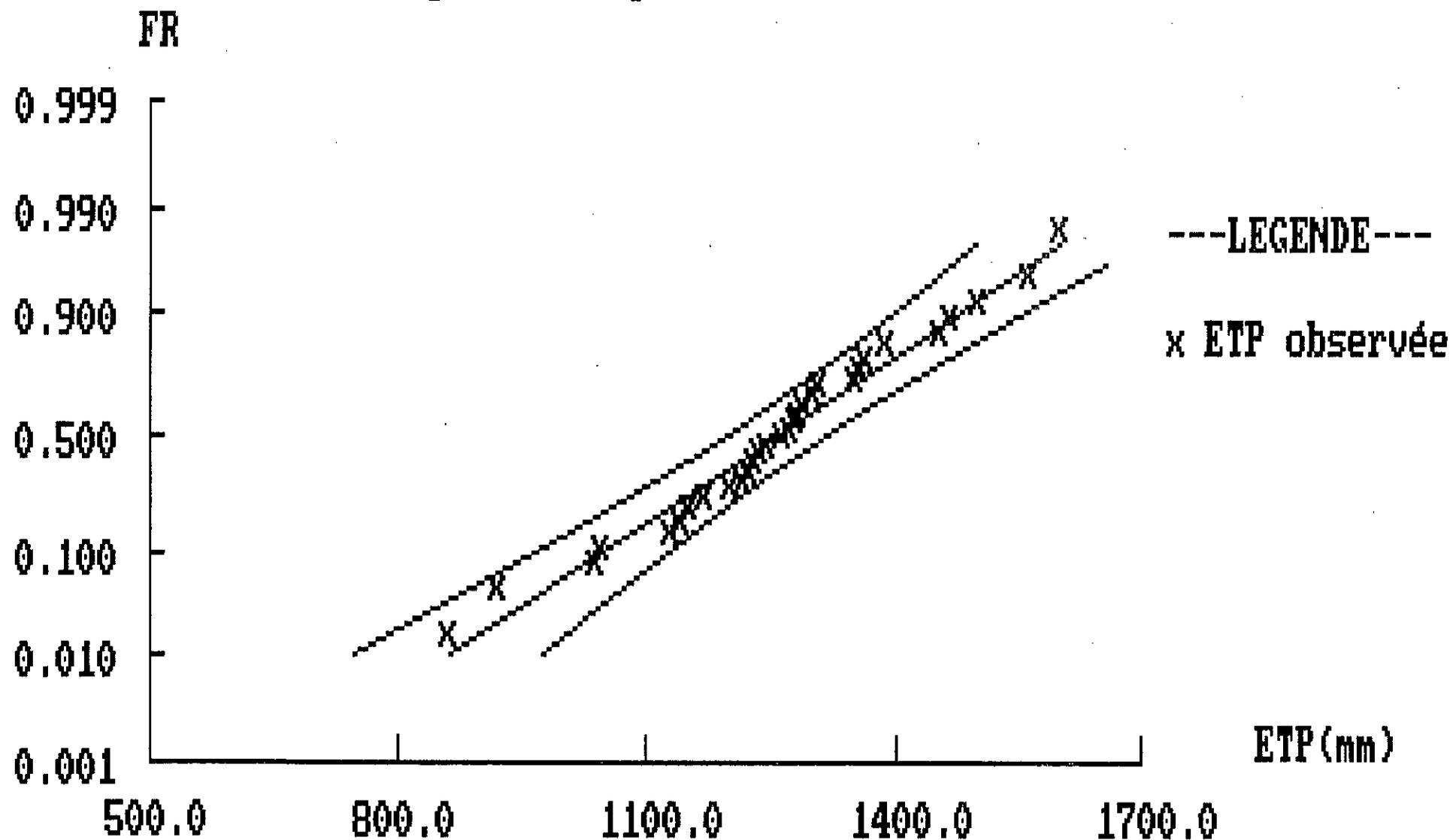
Variation mensuelle de l'évapotranspiration 1975-1995 (station de la CHAFFIA)



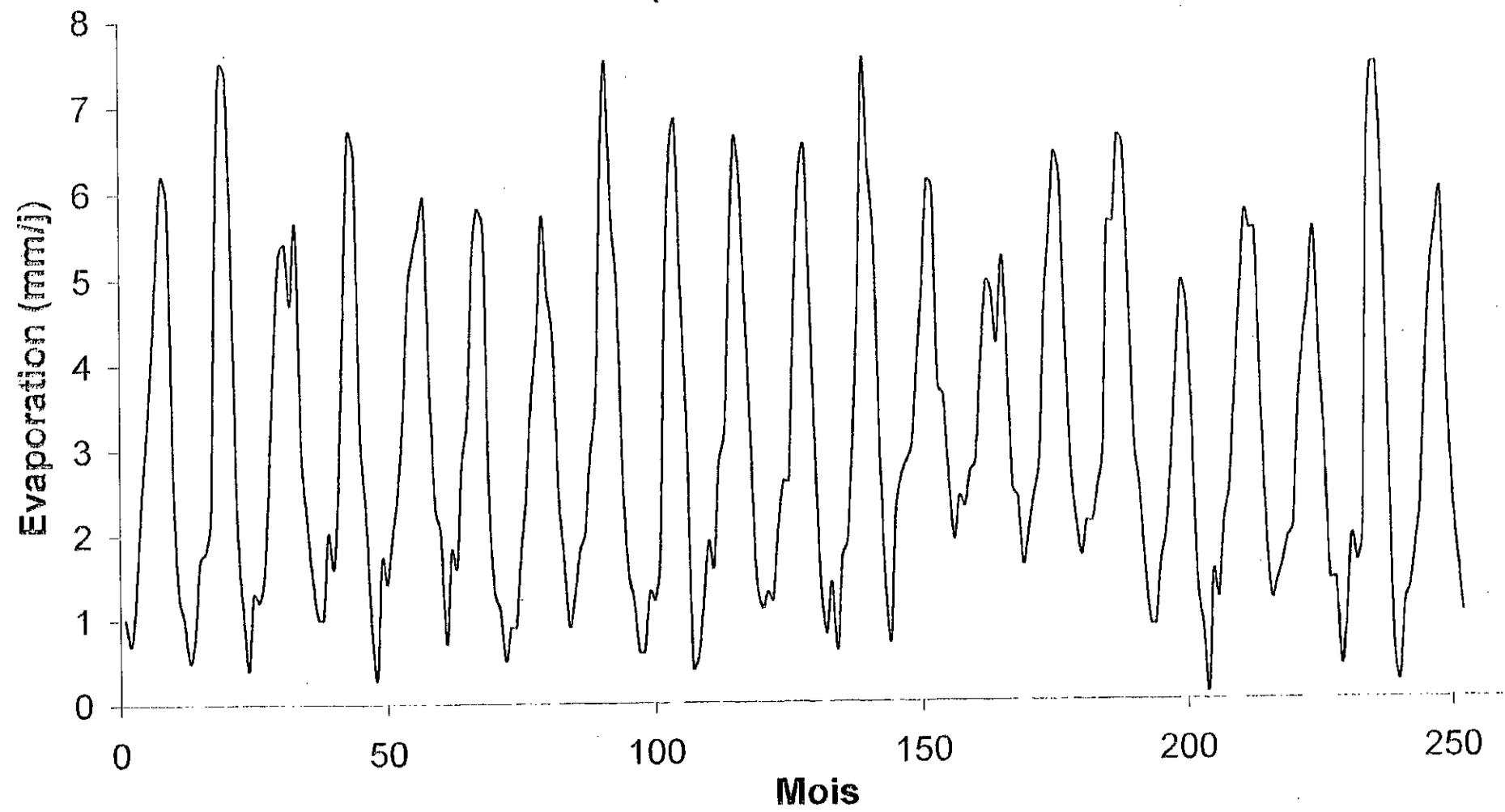
Evapotranspiration mensuelle interannuelle 1975-1995 (station de la CHAFFIA)



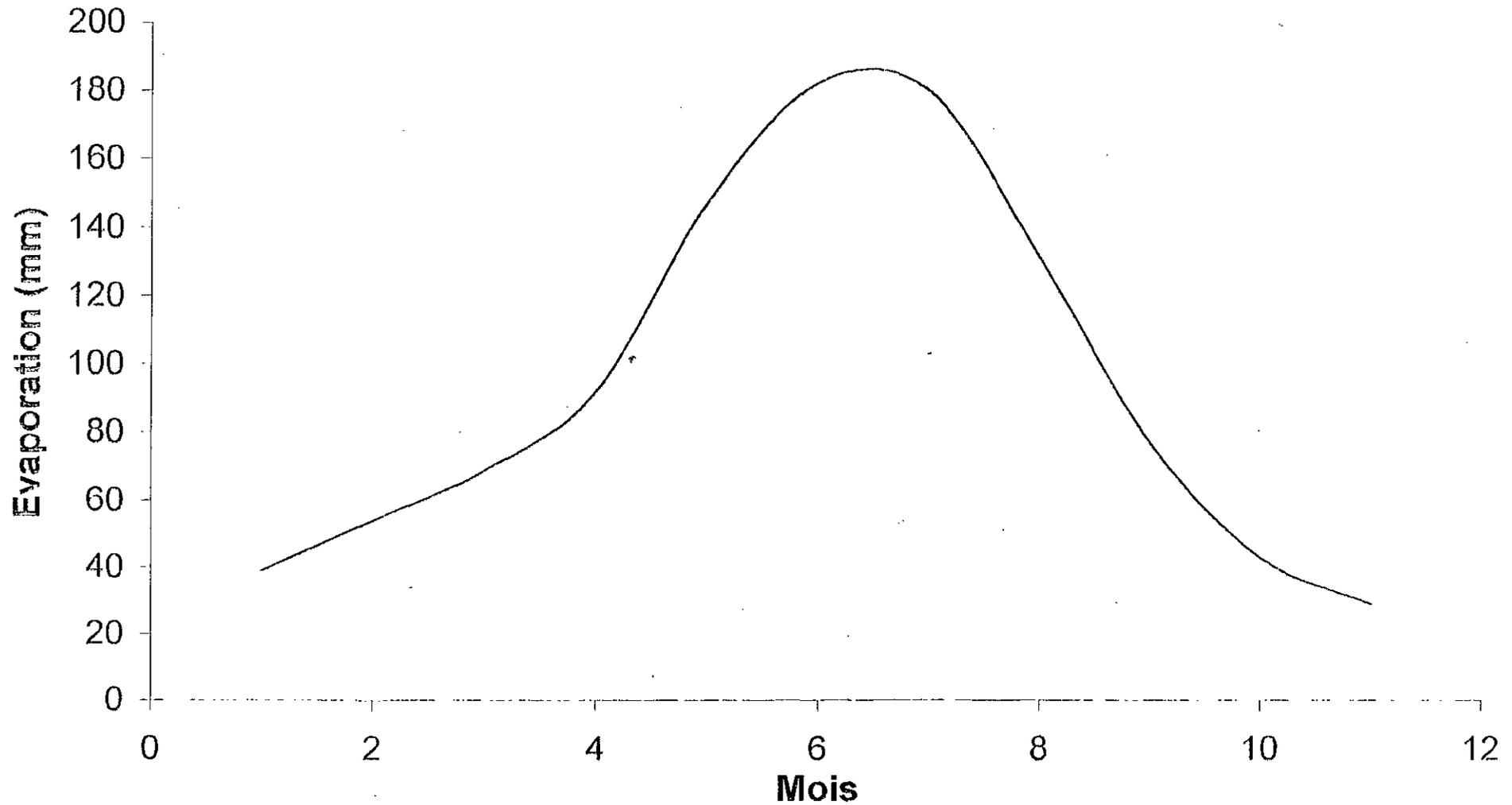
Ajustement par la LOI NORMALE des ETP



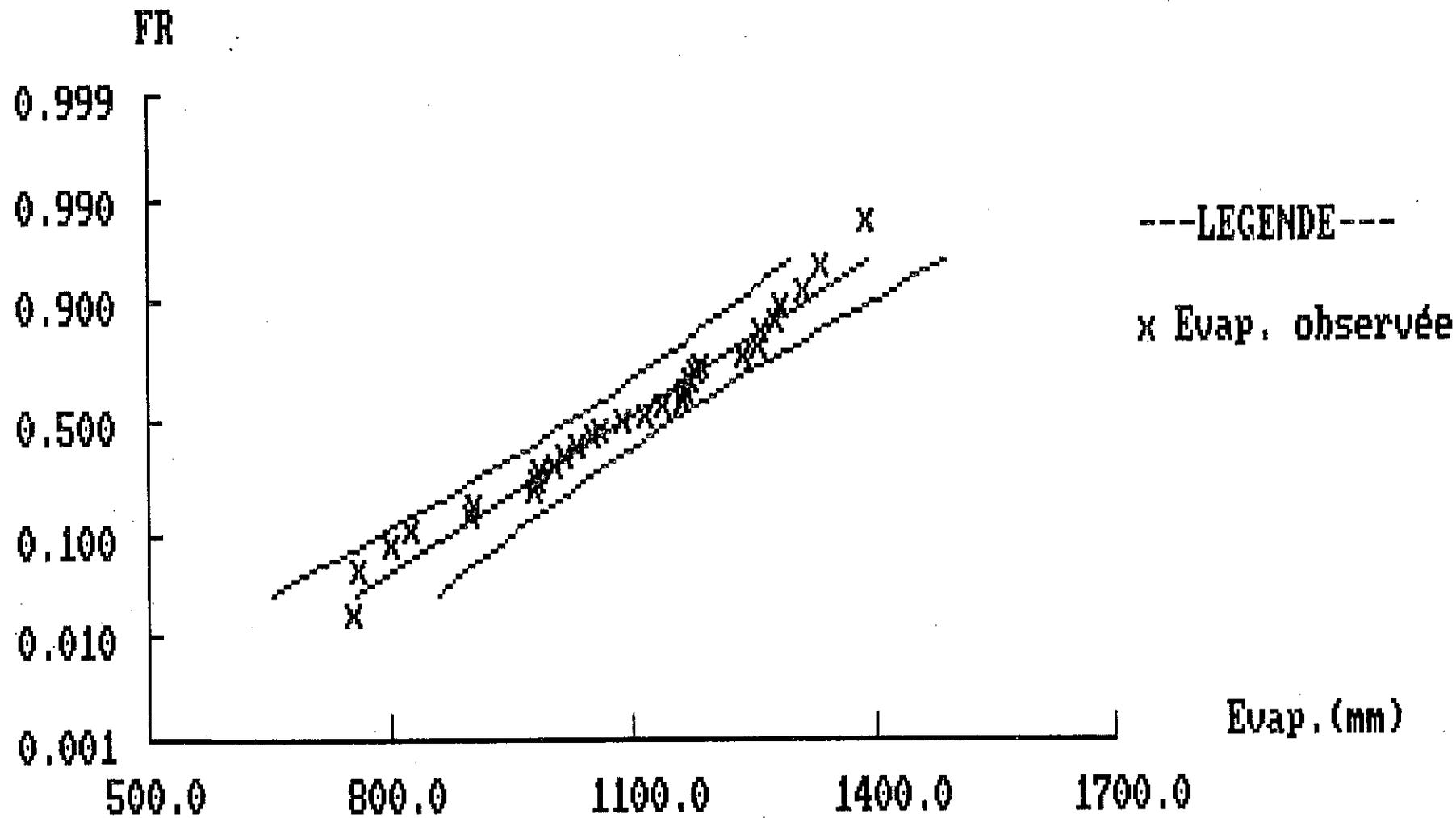
Variation mensuelle de l'évaporation 1975-1995 (station de la CHAFFIA)



Evaporation mensuelle interannuelle 1975-1995 (station de la CHAFFIA)

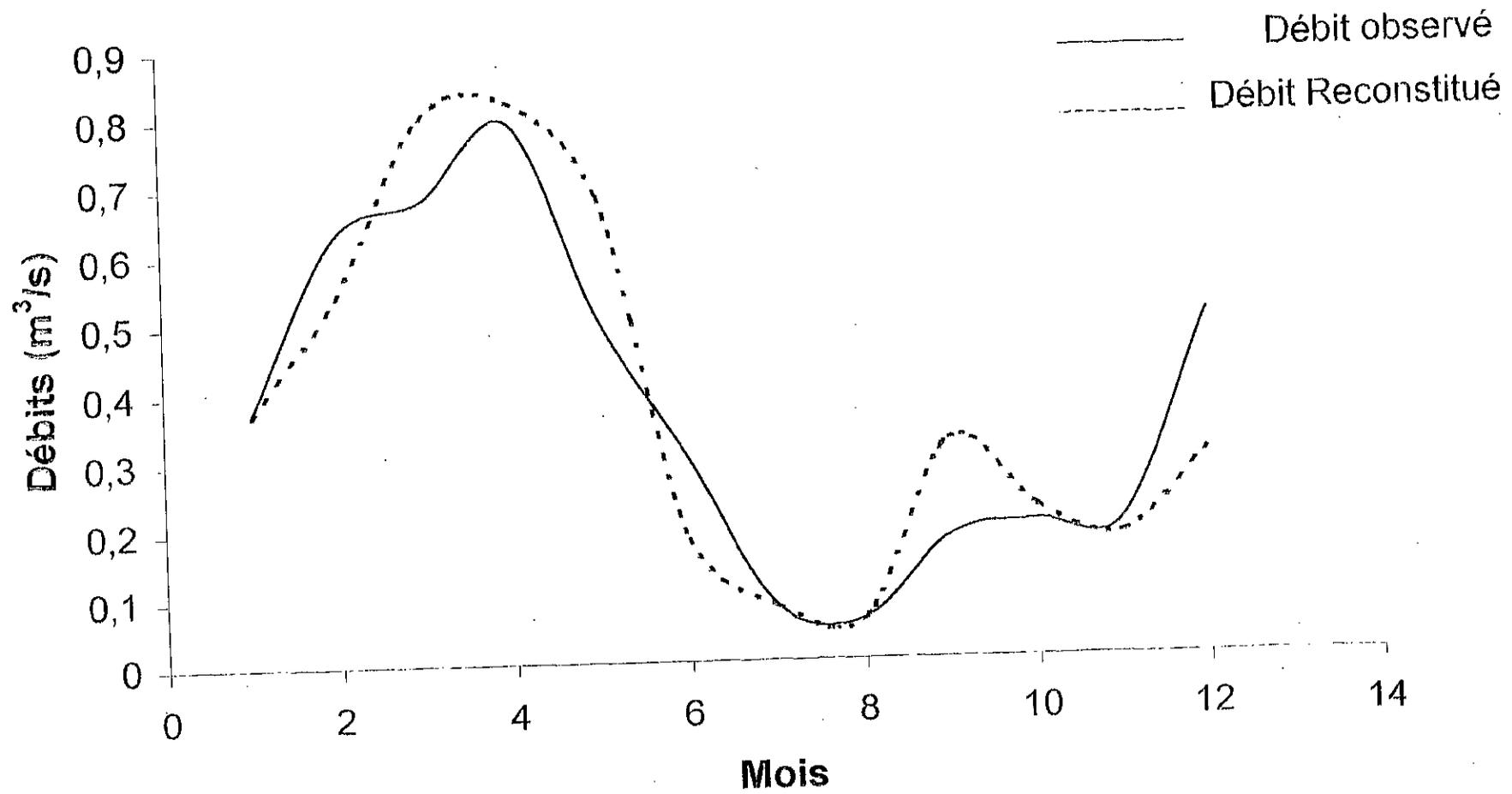


Ajustement par la LOI NORMALE des évaporations

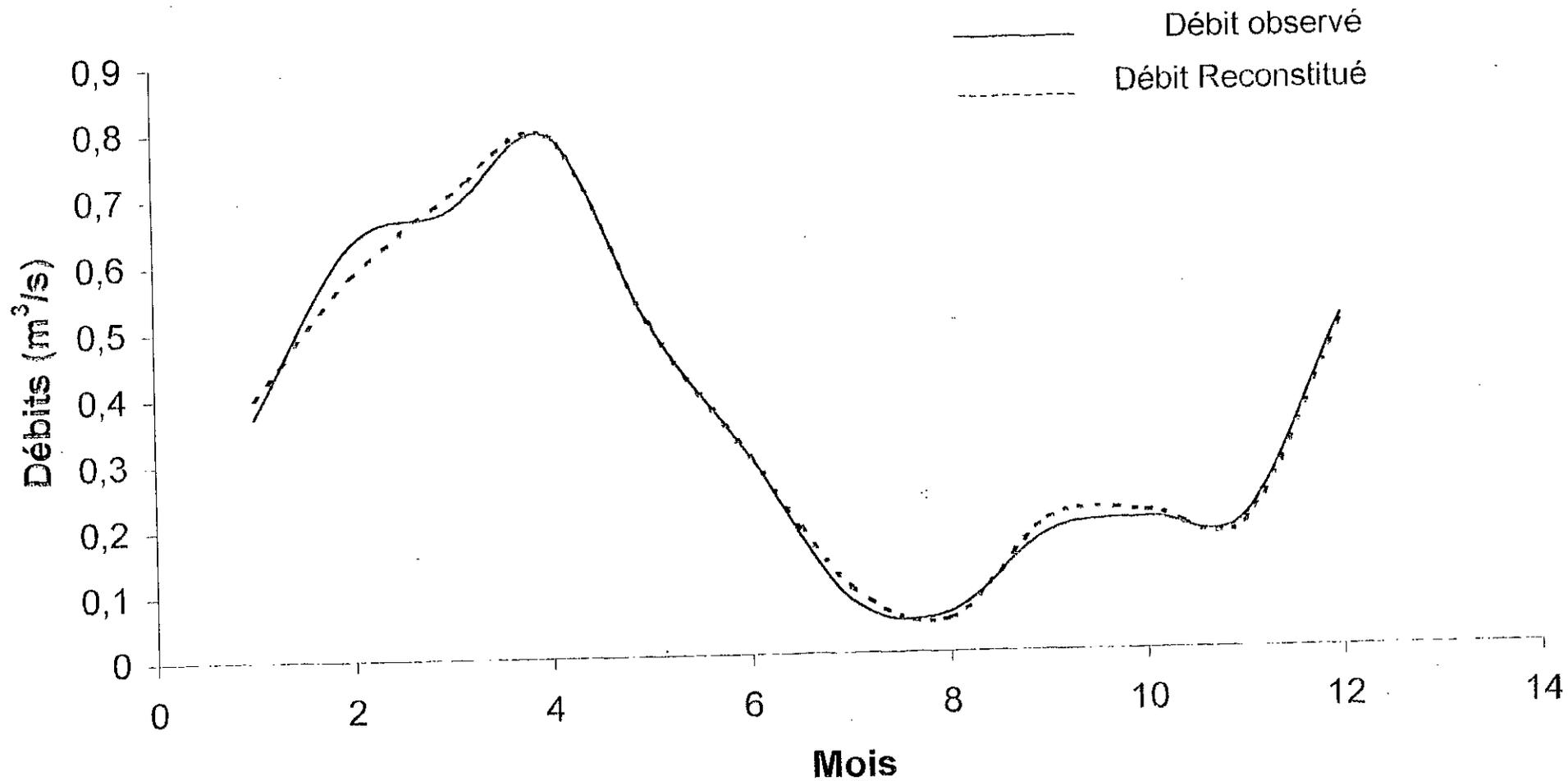


ANNEXE II

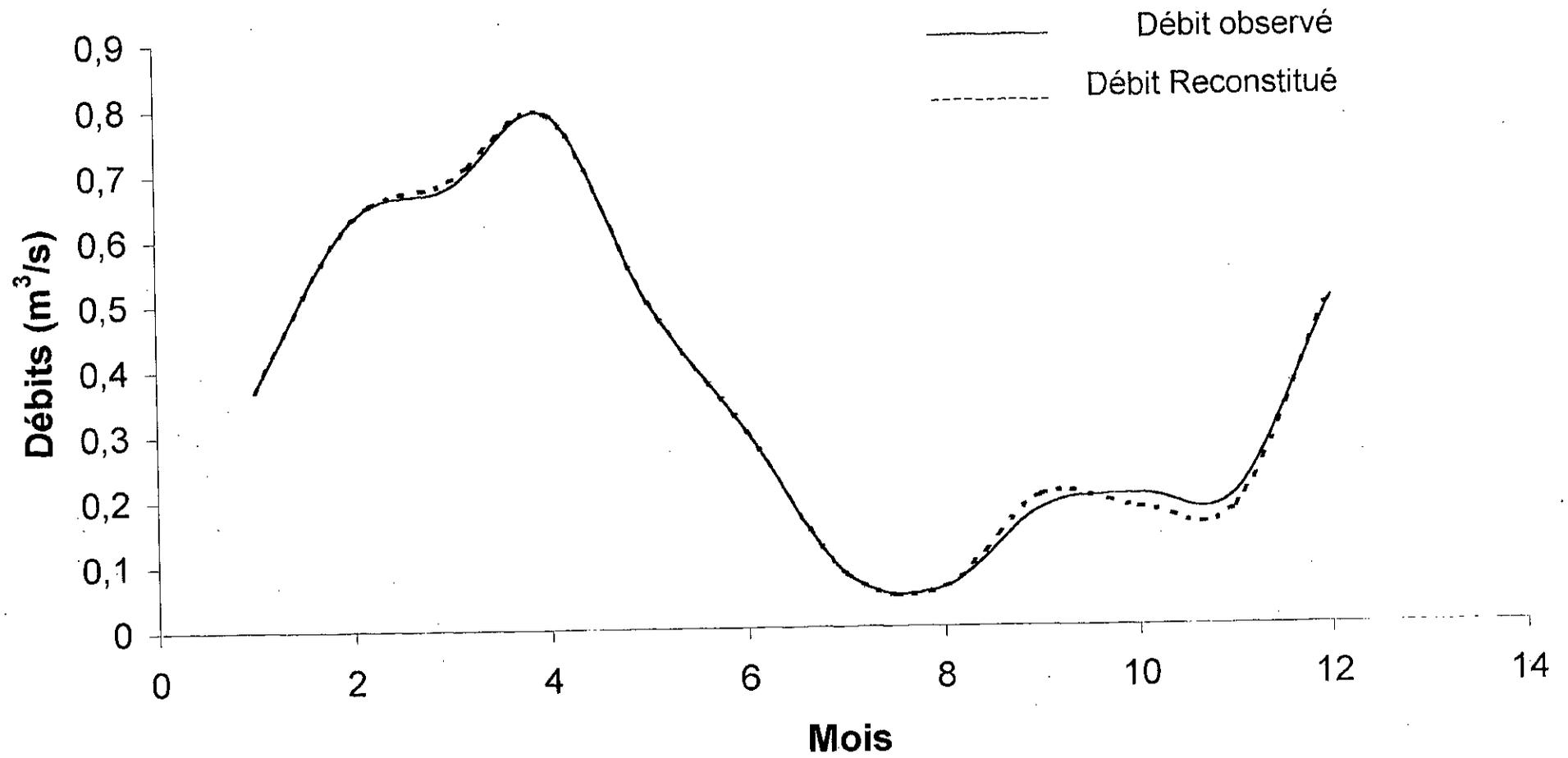
Reconstitution de l'année 1988/1989 Avec 5 CP



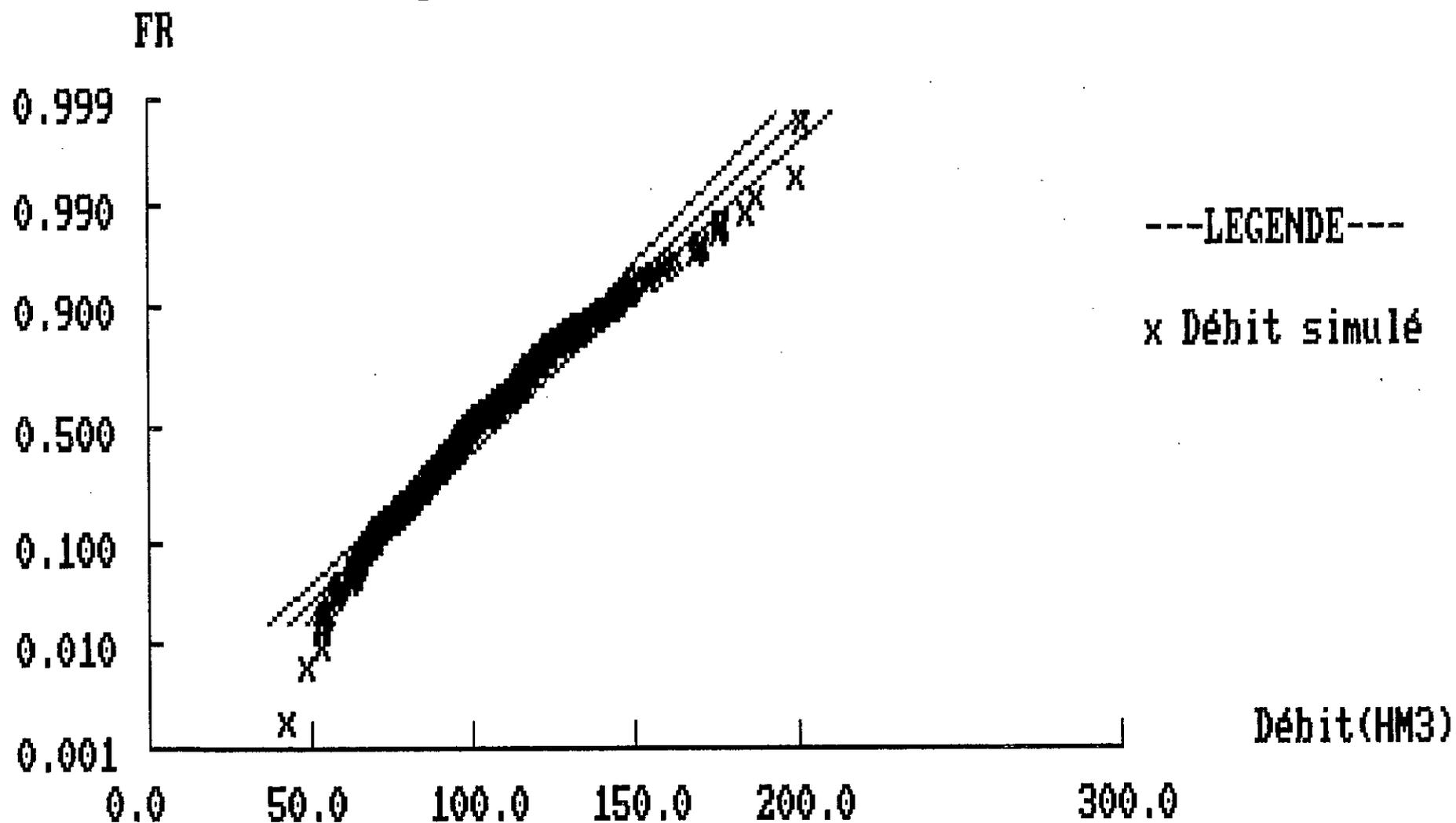
Reconstitution de l'année 1988/1989 Avec 7 CP



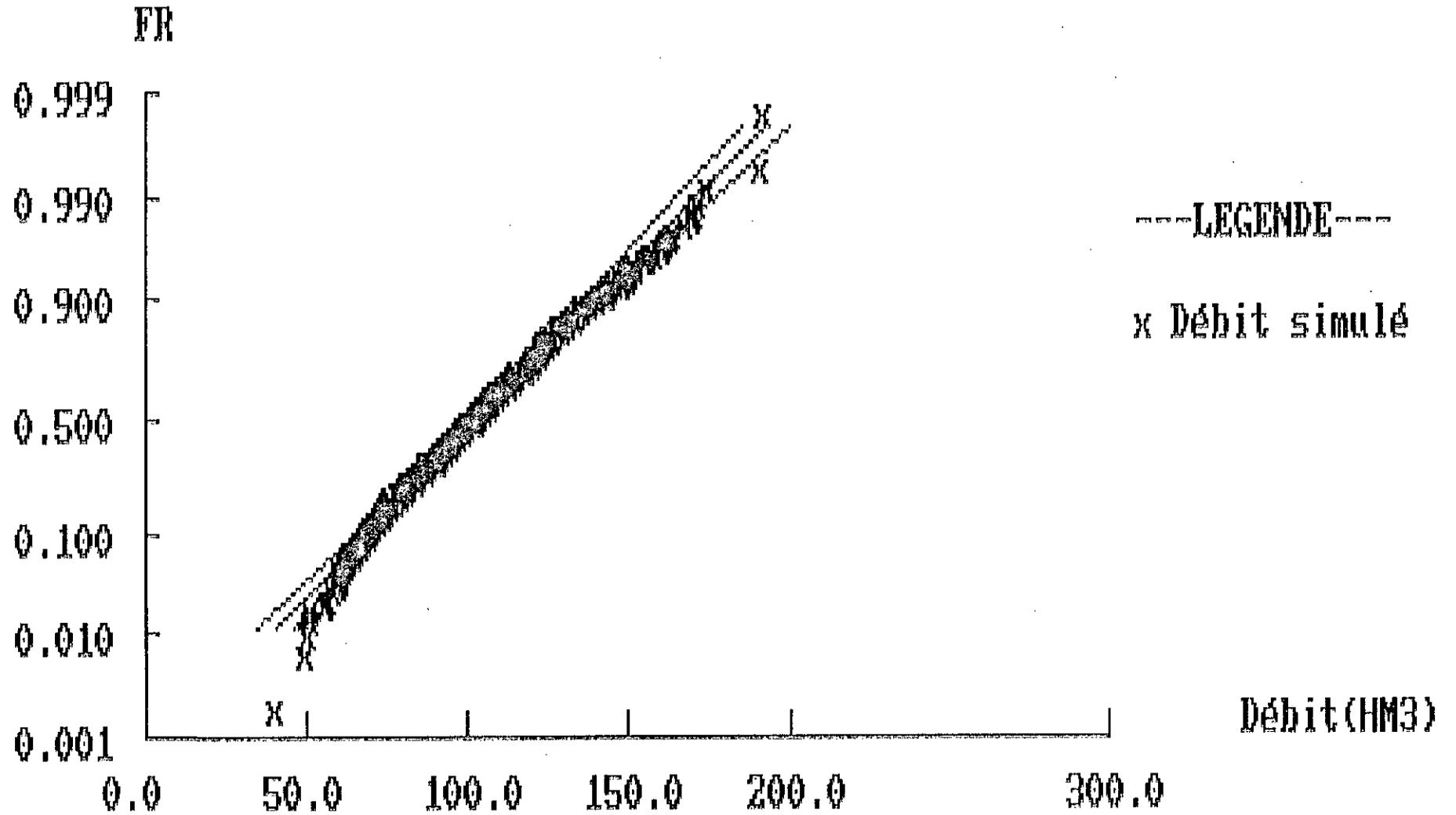
Reconstitution de l'année 1988/1989 Avec 10 CP



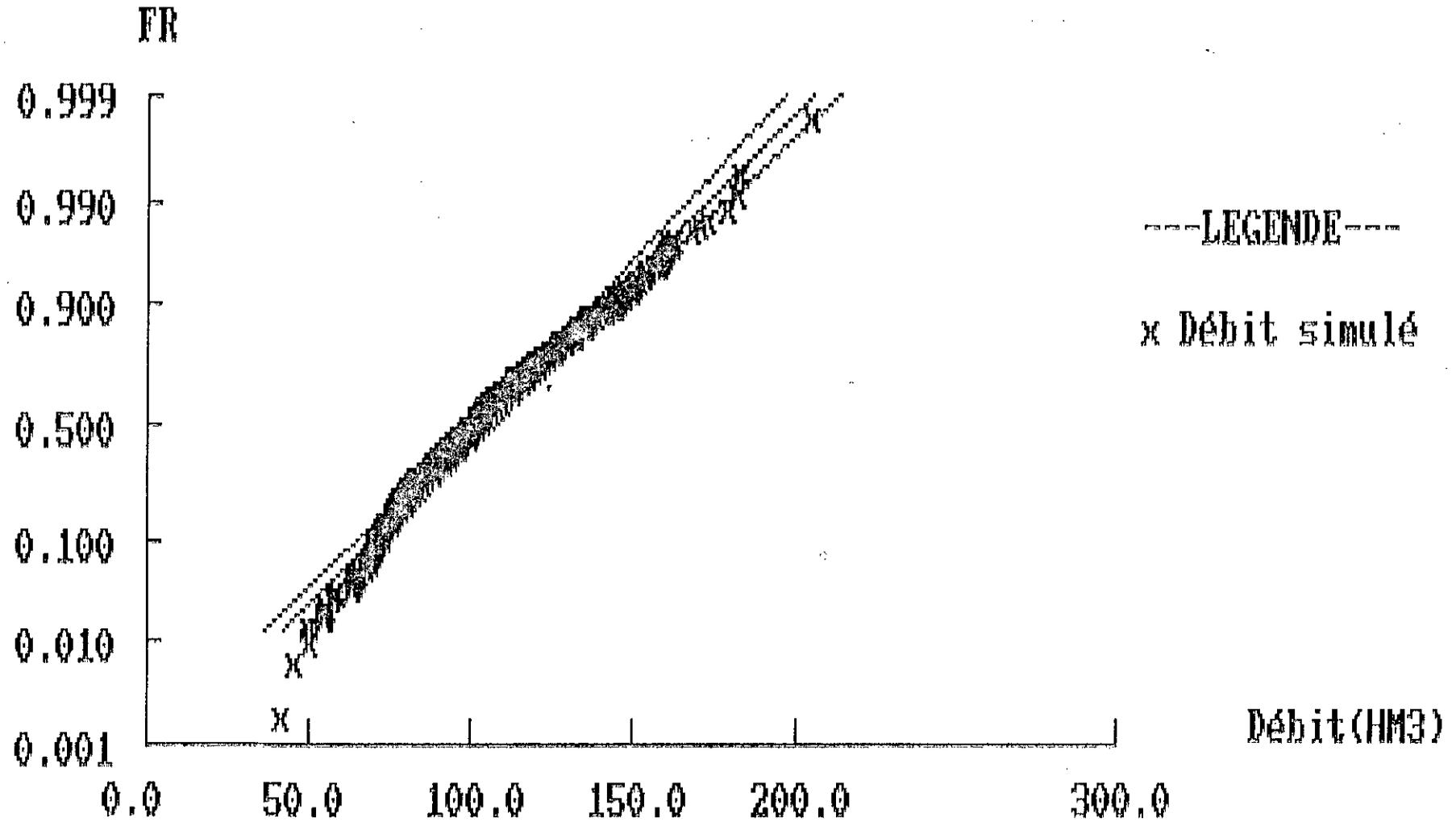
Ajustement par la LOI NORMALE des Débits annuels



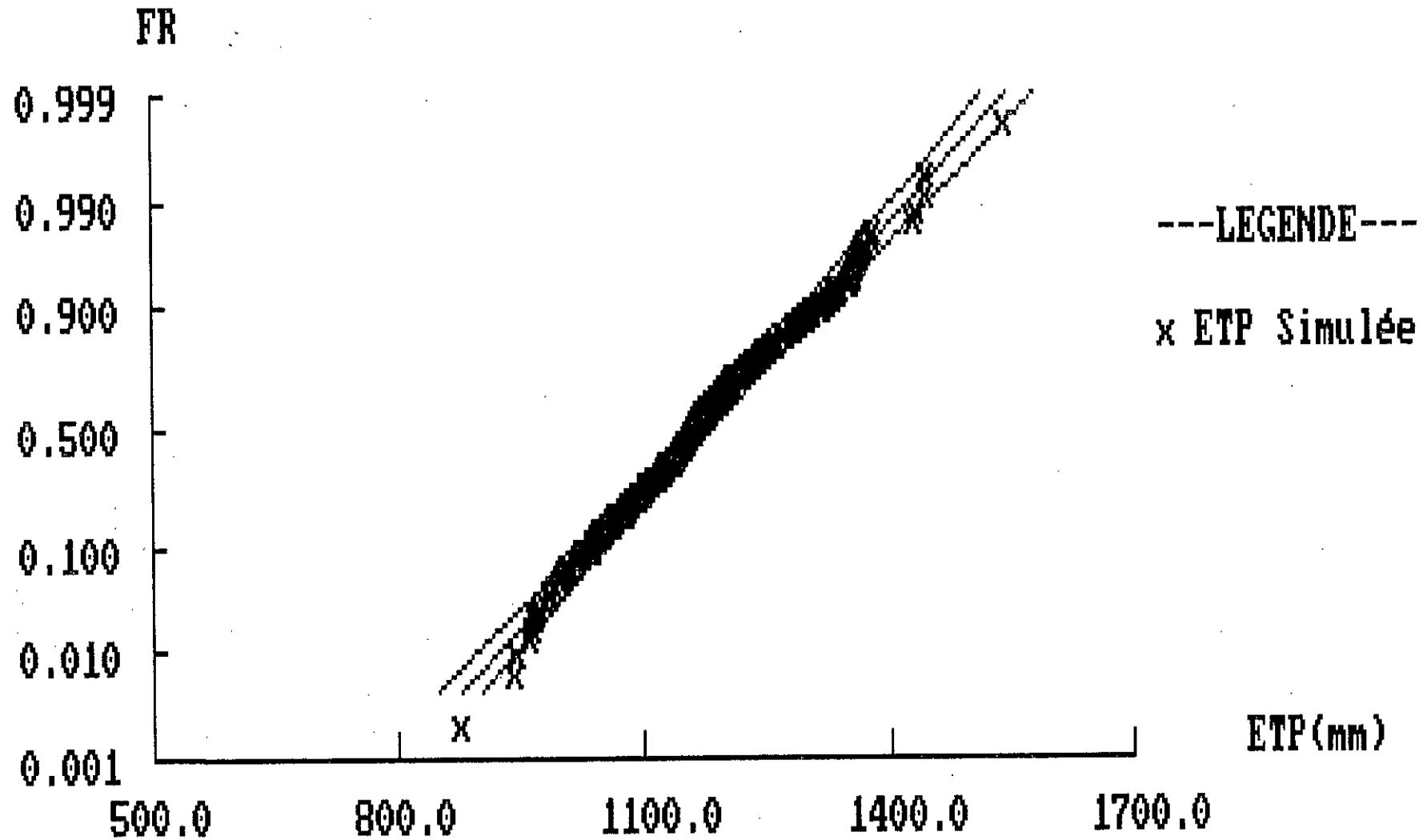
Ajustement par la LOI NORMALE des Débits annuels



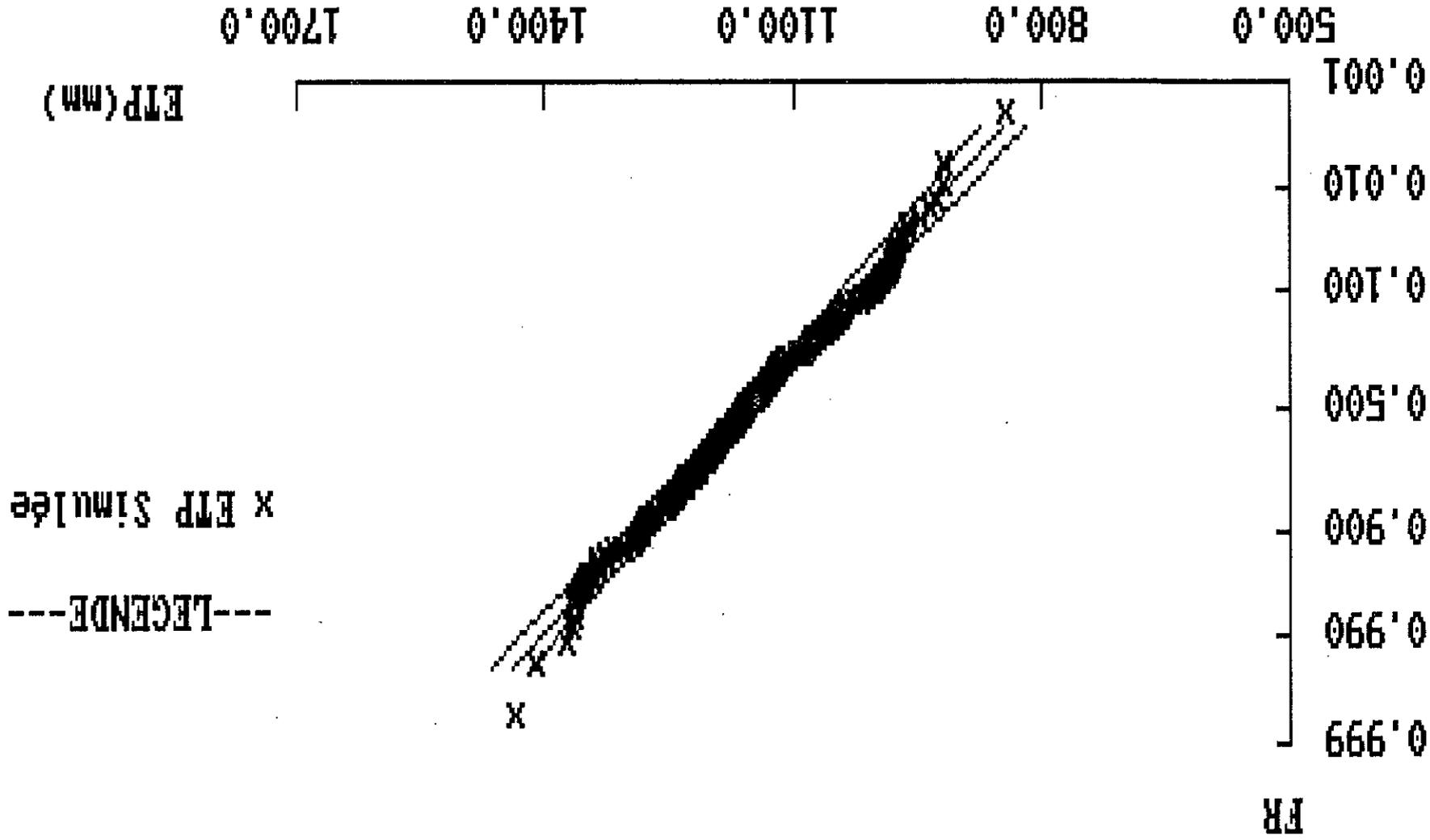
Ajustement par la LOI NORMALE des Débits 3 annuels



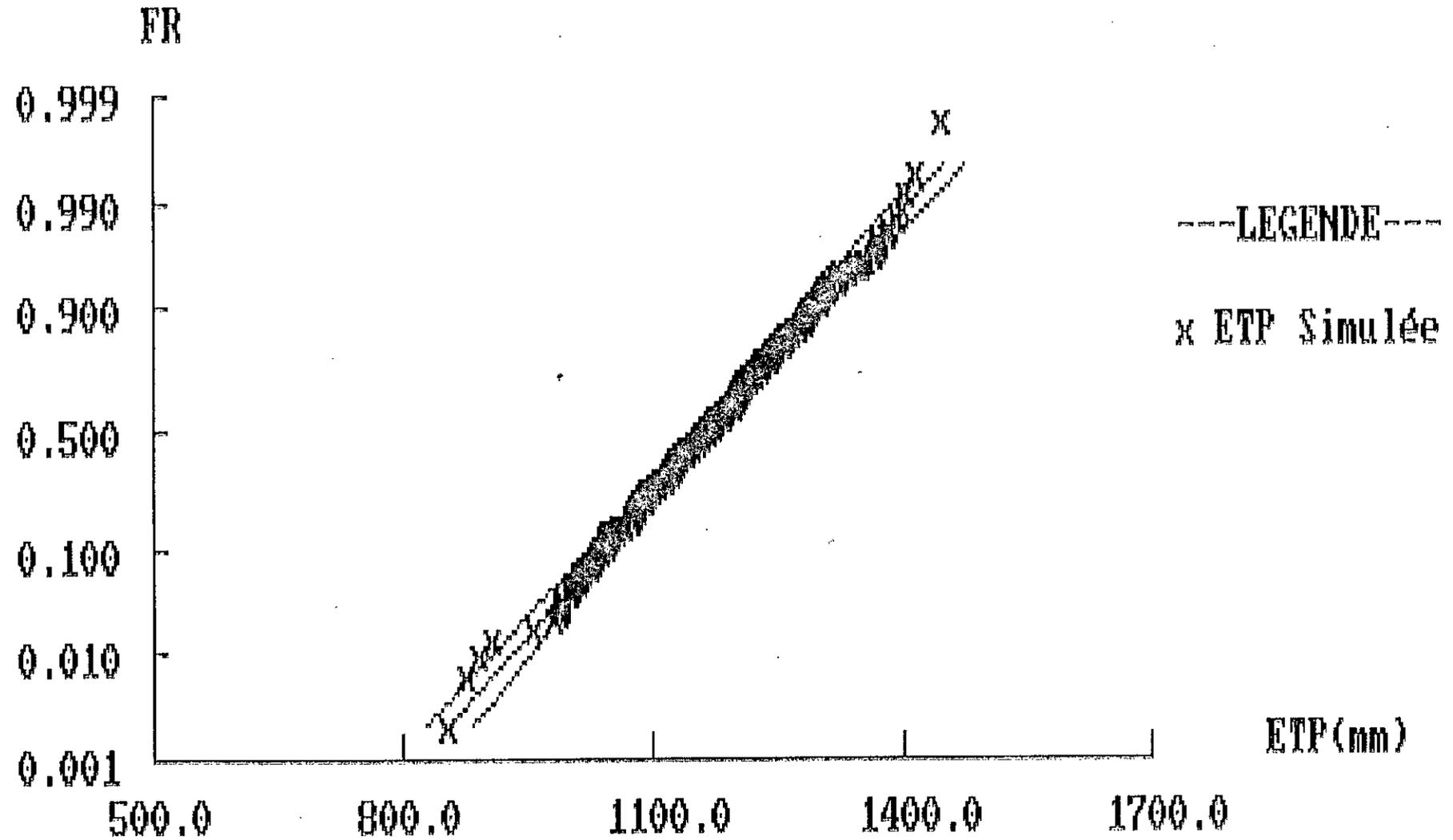
Ajustement par la LOI NORMALE des ETP1



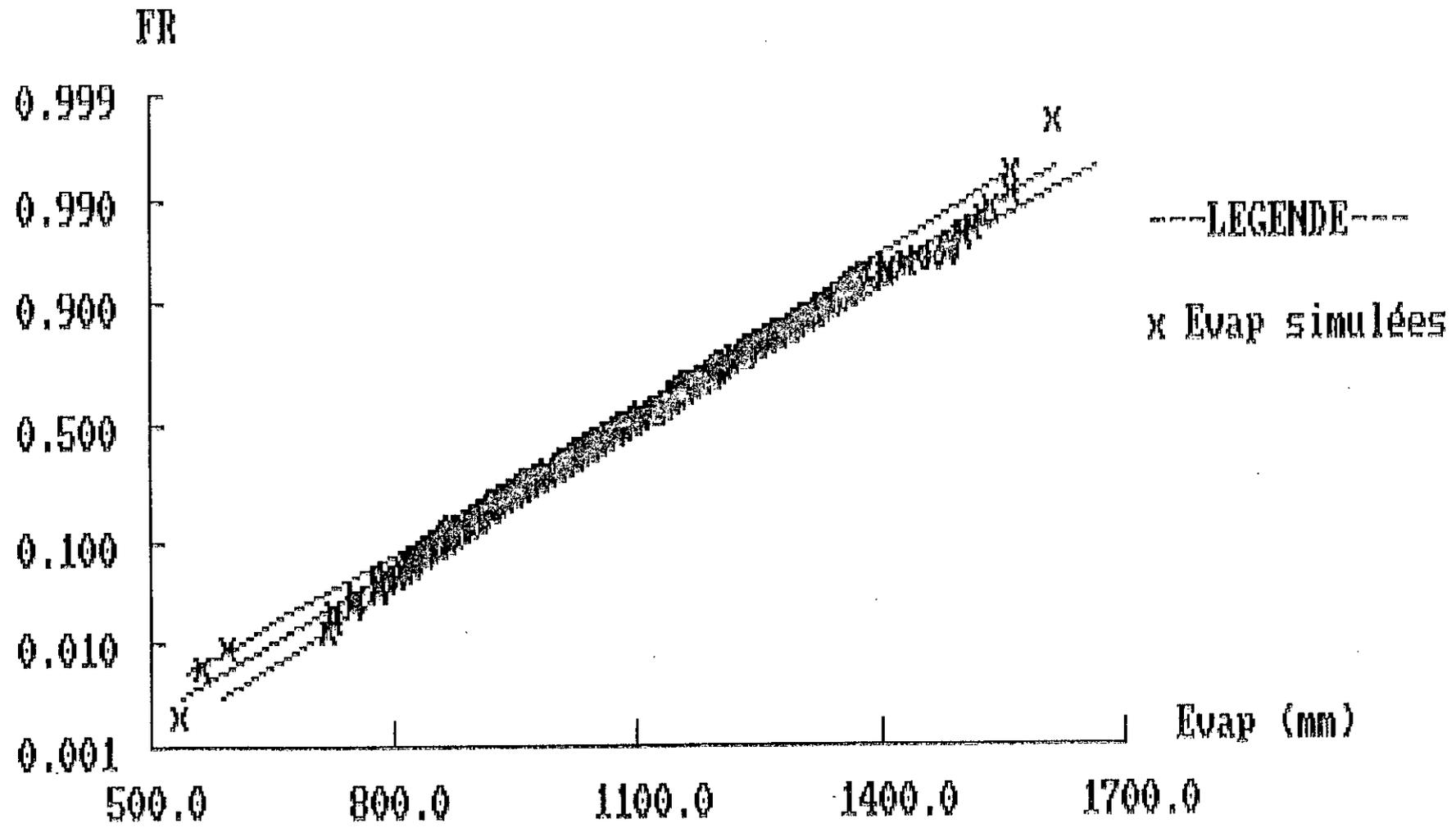
Ajustement par la LOI NORMALE des ETP2



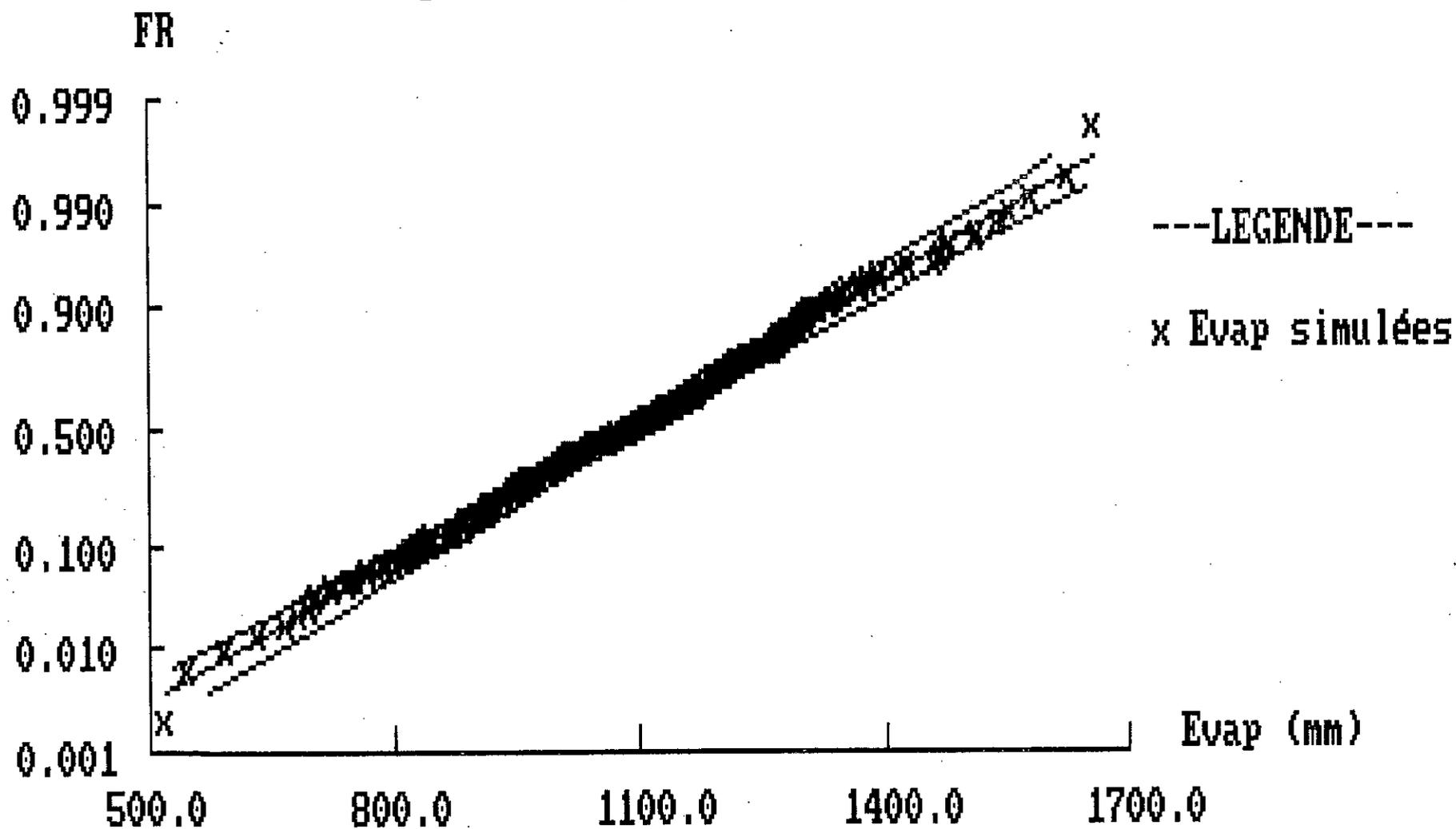
Ajustement par la LOI NORMALE des ETP3



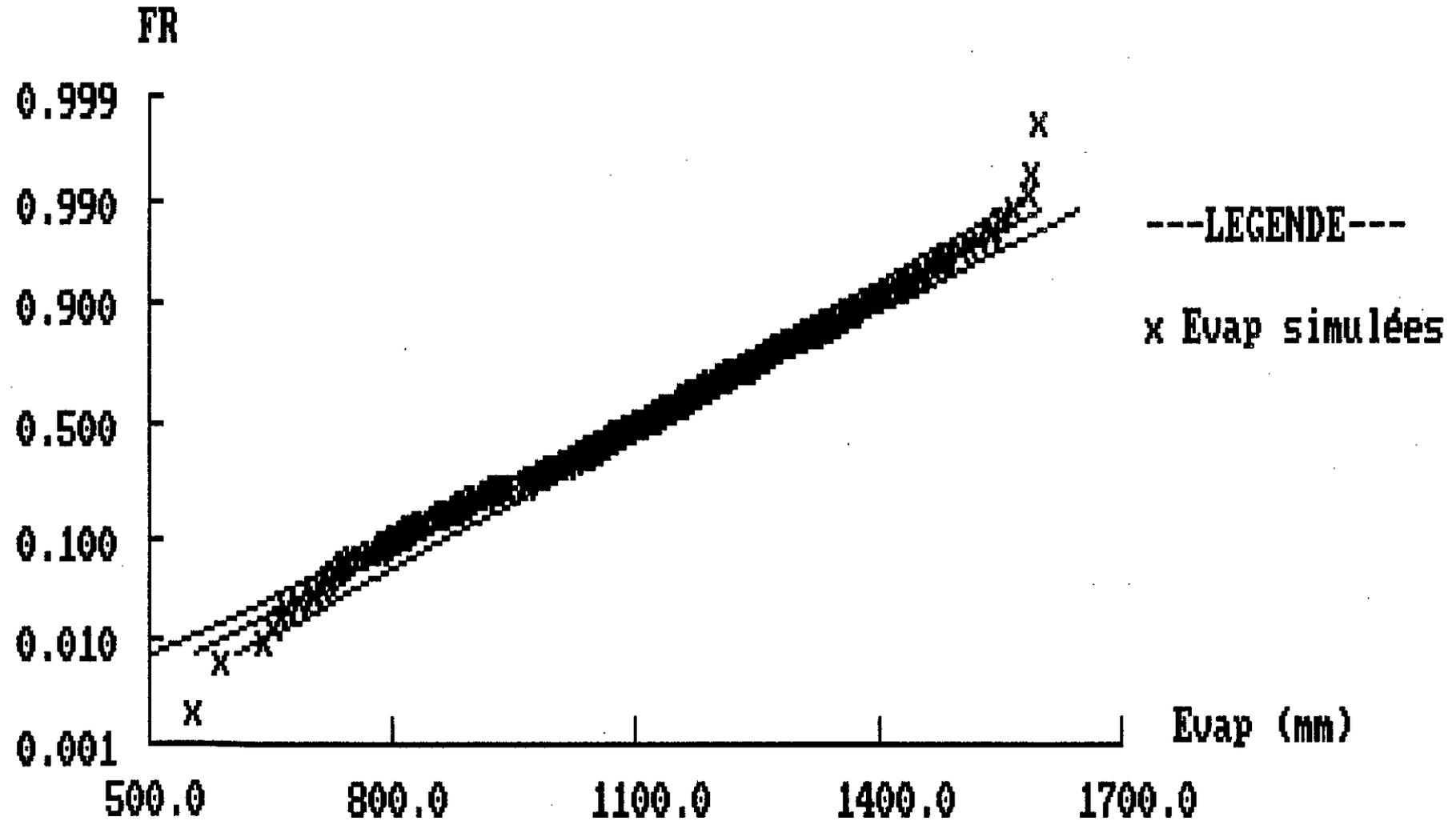
Ajustement par la LOI NORMALE des Evap 1 annuelles



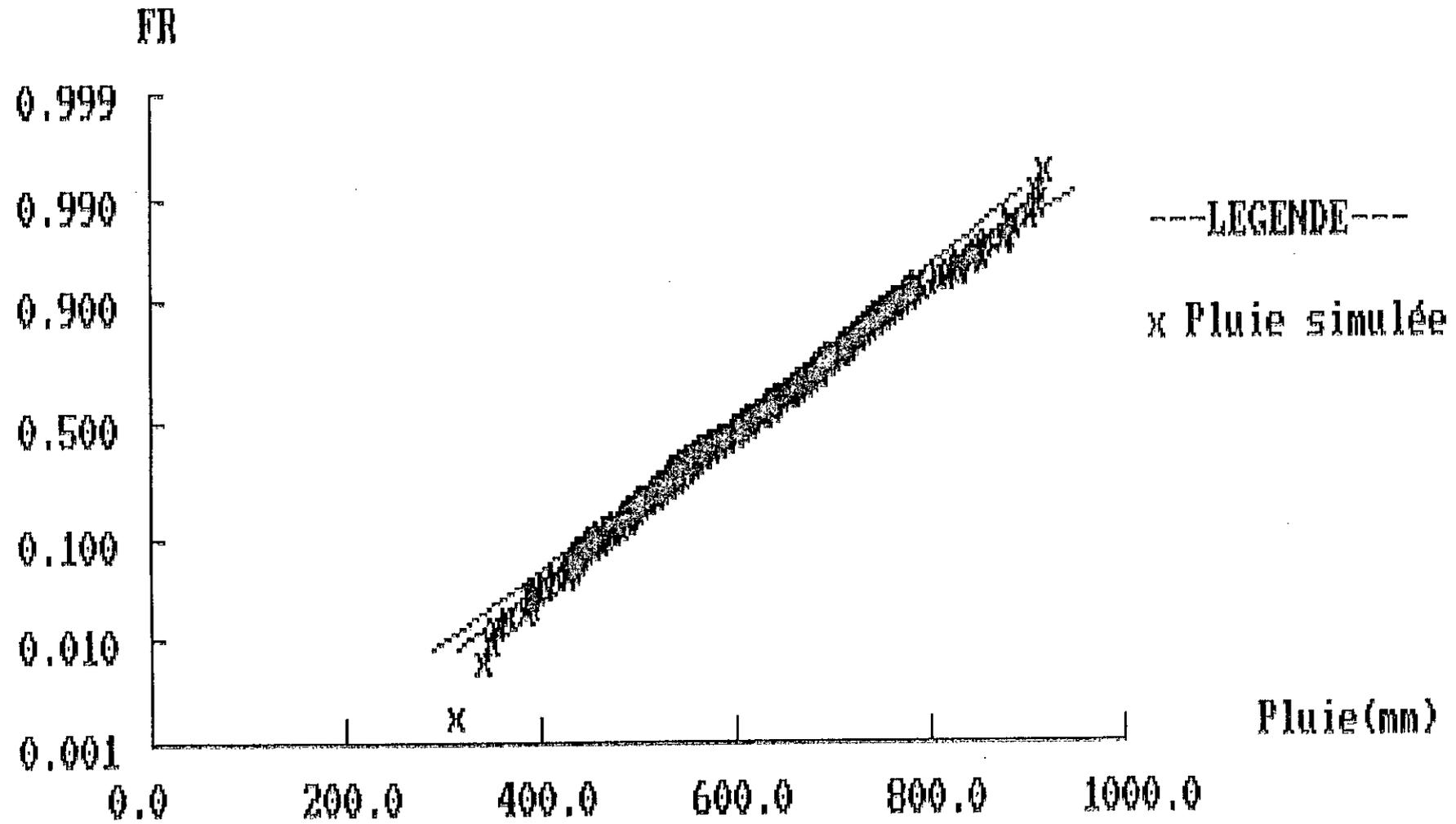
Ajustement par la LOI NORMALE des Evap 2 annuelles



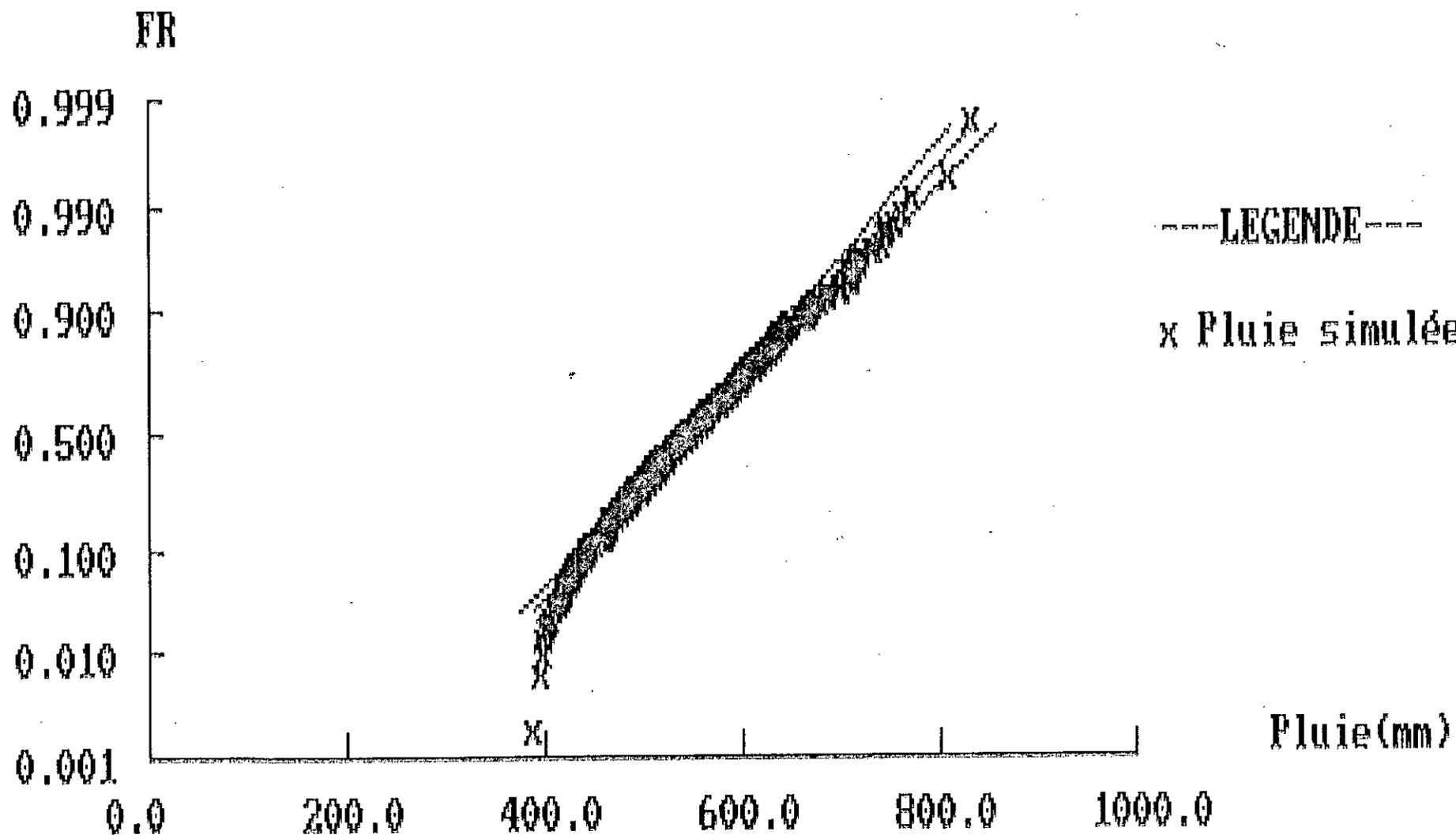
Ajustement par la LOI NORMALE des Evap 3 annuelles



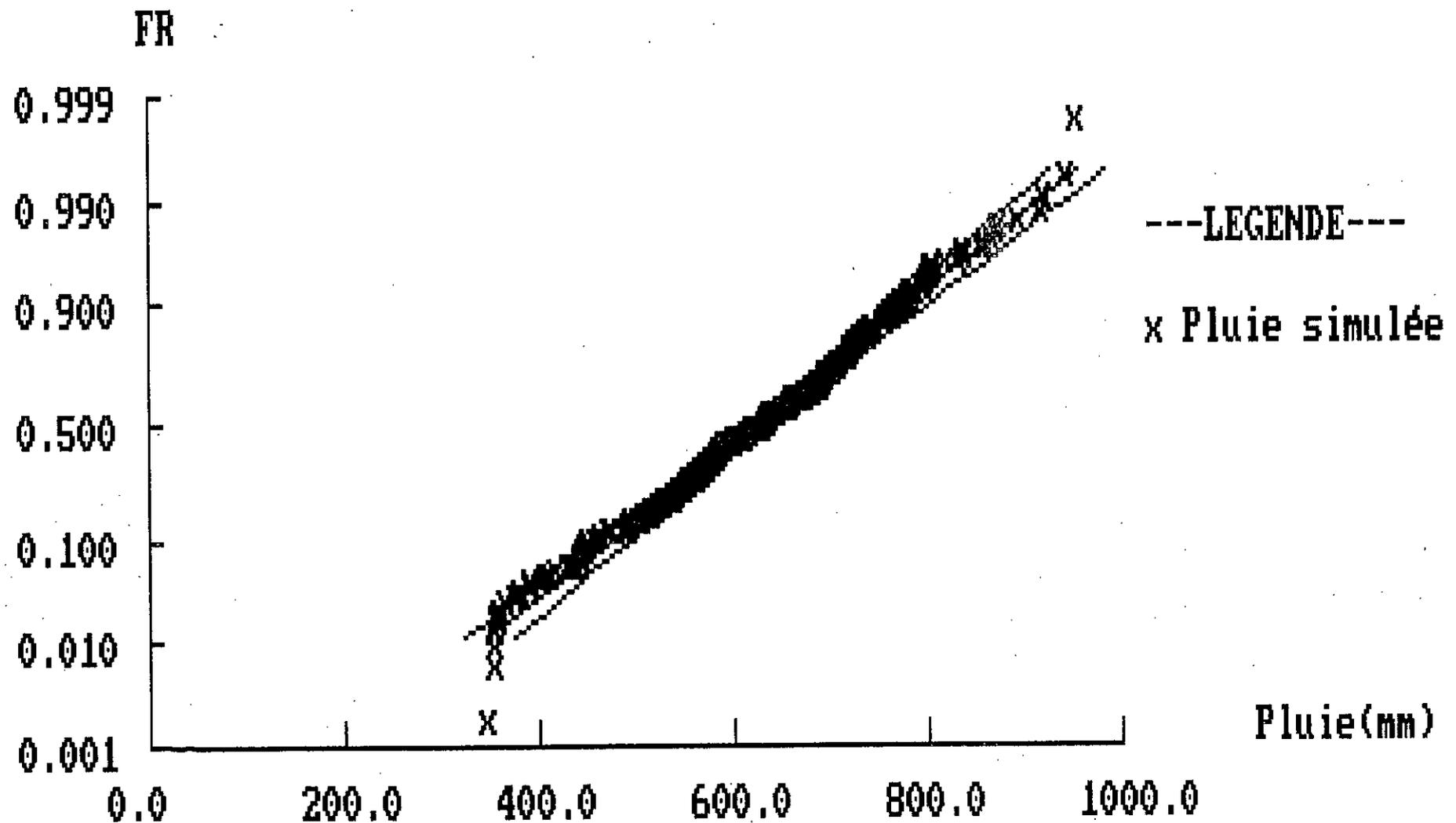
Ajustement par la LOI NORMALE des pluies annuelles



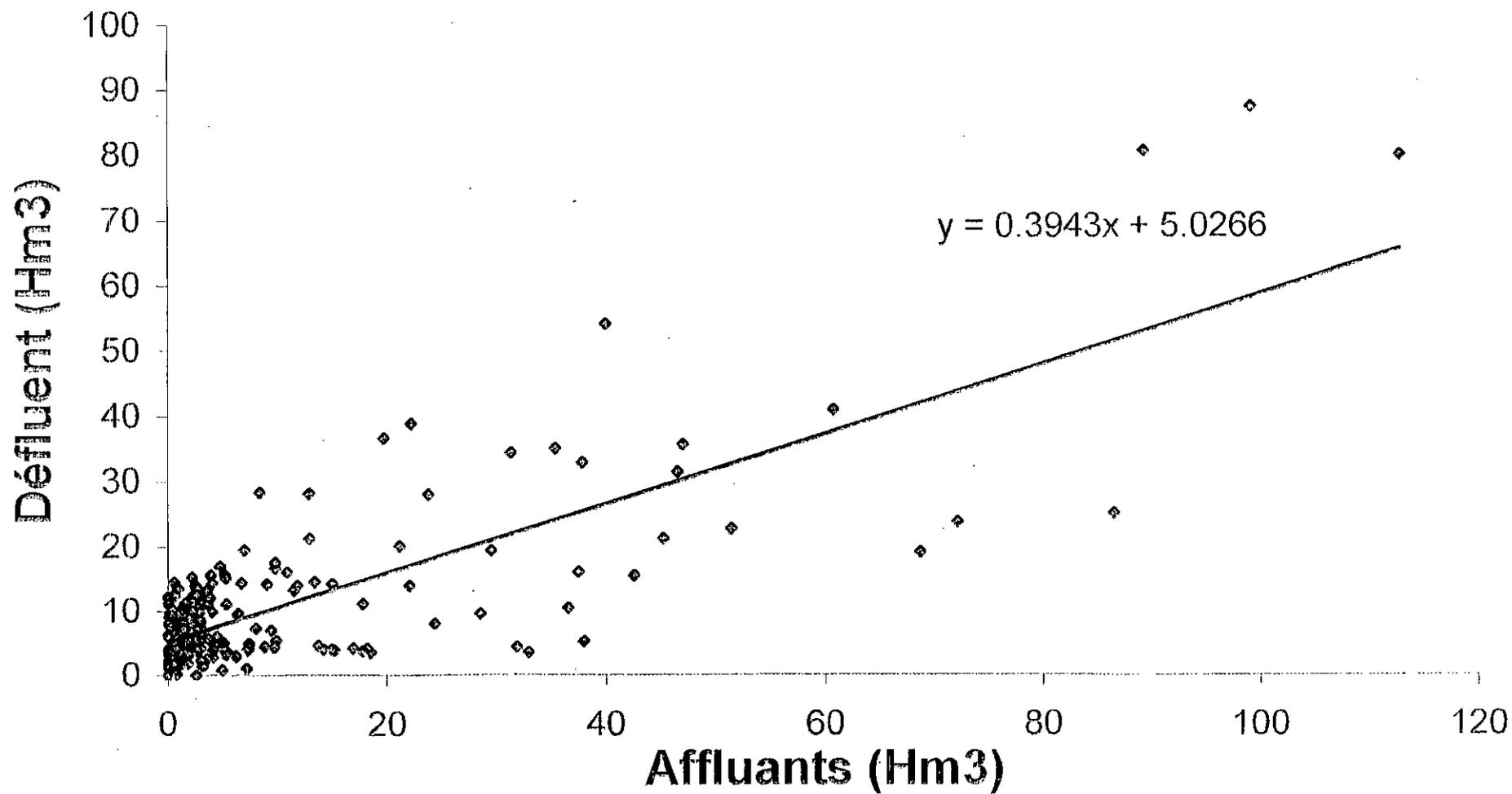
Ajustement par la LOI NORMALE des pluies² annuelles



Ajustement par la LOI NORMALE des pluies 3 annuelles



Corrélations affluents-défluent mensuels



ANNEXE III

***** ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

TITRE DE L'ANALYSE : Gestion mensuelei du
barrage de la CHAFFIA

UTILISATEUR : NETTARI

DATE : 18/07/2001

ACP SUR DONNEES CENTREES REDUITES (MATRICE de CORRELATIONS)

NOMBRE DE VARIABLES PRISES EN COMPTE DANS L'ANALYSE : 14
NOMBRE DE VARIABLES SUPPLEMENTAIRES : 0

NOMBRE D'AXES DEMANDES : 5

STATISTIQUES ELEMENTAIRES

VARIABLES	MOYENNES	ECARTS-TYPES DE LA SERIE
AFF	112.235	93.0104
DEF	104.564	62.5851
FUI	2.288	8.3051
VID	16.160	43.5958
DEV	0.844	3.3765
EVA	5.340	1.3705
AEP	25.173	9.5574
IRR	27.062	12.8058
AEI	18.911	15.9320
C_TOT	73.436	28.4879
PLU	773.336	222.4264
V_1M	85.038	49.6567
V_FM	65.695	39.8529
T_REM	44.733	19.9400

CORRELATIONS

	AFF	DEF	FUI	VID	DEV	EVA	AEP	IRR	AEI	C_TOT	PLU	V_1M	V_FM	T_REM
AFF	1.000													
DEF	0.816	1.000												
FUI	0.396	0.385	1.000											
VID	0.717	0.739	-0.097	1.000										
DEV	0.314	0.426	-0.069	0.438	1.000									
EVA	0.371	0.365	0.303	-0.014	-0.087	1.000								
AEP	-0.018	0.277	-0.021	-0.033	0.048	0.656	1.000							
IRR	0.193	0.520	0.086	0.269	0.141	0.535	0.628	1.000						
AEI	0.048	0.322	-0.020	-0.028	0.008	0.132	0.136	0.079	1.000					
C_TOT	0.166	0.522	-0.001	0.064	0.064	0.516	0.656	0.573	0.746	1.000				
PLU	0.929	0.716	0.333	0.602	0.221	0.357	-0.050	0.061	0.123	0.193	1.000			
V_1M	-0.231	0.154	-0.138	-0.217	0.027	0.199	0.634	0.467	0.426	0.759	-0.106	1.000		
V_FM	0.713	0.496	0.189	0.281	0.146	0.639	0.203	0.206	0.106	0.340	0.769	0.116	1.000	
T_REM	0.252	0.408	0.010	0.006	0.107	0.526	0.589	0.467	0.377	0.763	0.378	0.808	0.679	1.000

DIAGONALISATION

1E LIGNE : VALEURS PROPRES (VARIANCES SUR LES AXES PRINCIPAUX)
 2E LIGNE : CONTRIBUTION A LA VARIATION TOTALE (POURCENTAGES EXPLIQUES PAR LES AXES PRINCIPAUX)

5.3310	3.2501	1.5410	1.2474	0.9832
38.1 %	23.2 %	11.0 %	8.9 %	7.0 %

VECTEURS PROPRES (COEFFICIENTS DES VARIABLES CENTREES REDUITES DANS L'EQUATION LINEAIRE DES AXES PRINCIPAUX)

AFF	0.2944	0.3957	-0.0542	0.0394	0.0011
DEF	0.3618	0.2068	0.1768	-0.0272	-0.3177
FUI	0.1079	0.1604	-0.4694	0.0155	-0.6065
VID	0.1897	0.3508	0.4054	-0.1664	0.0034
DEV	0.1210	0.1637	0.4895	-0.1653	0.0611
EVA	0.3001	-0.0890	-0.4237	-0.2171	0.0544
AEP	0.2514	-0.3192	-0.0407	-0.3800	0.0120
IRR	0.2741	-0.1613	0.0853	-0.4898	-0.2228
AEI	0.1748	-0.1846	0.1919	0.6195	-0.3134
C_TOT	0.3347	-0.2897	0.1227	0.1967	-0.1575
PLU	0.2916	0.3492	-0.0995	0.2123	0.1548
V_1M	0.2066	-0.4213	0.1526	0.0876	0.0689
V_FM	0.3218	0.1478	-0.2576	0.1269	0.4650
T_REM	0.3435	-0.2237	-0.0400	0.1400	0.3267

ETUDE DES VARIABLES

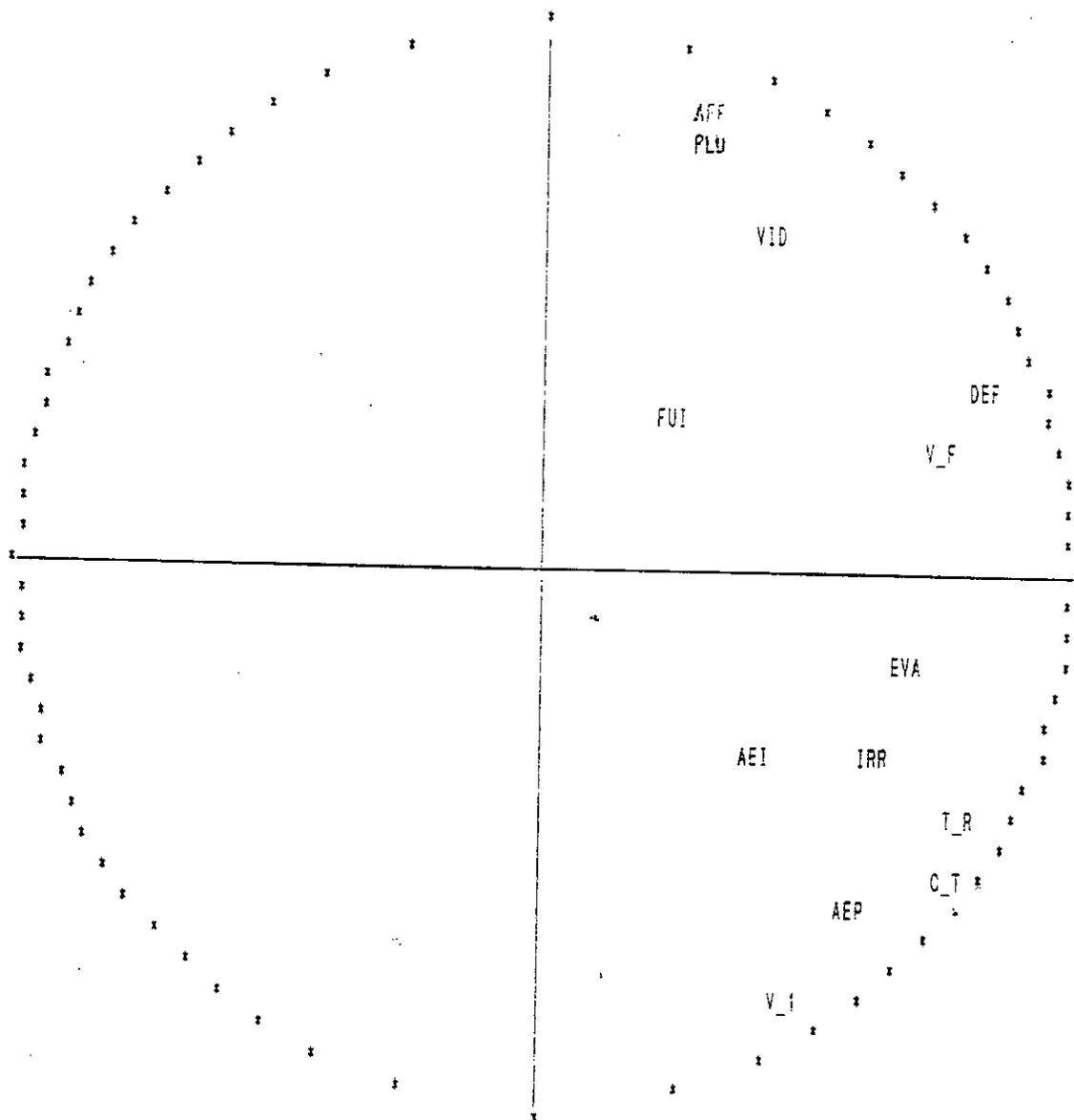
1E COLONNE : CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX
 2E COLONNE : CORRELATIONS AU CARRE

VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES									
	AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4	AXE 5	AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4	AXE 5
AFF **	0.4797	0.2301 *	0.8533	0.7281 *	-0.0673	0.0045 *	0.0440	0.0019 *	0.0011	0.0000 *
DEF **	0.8353	0.6977 *	0.3727	0.1389 *	0.2195	0.0482 *	-0.0304	0.0009 *	-0.3150	0.0993 *
FUI **	0.2490	0.0620 *	0.2892	0.0836 *	-0.5827	0.3396 *	0.0173	0.0003 *	-0.6014	0.3617 *
VID **	0.4381	0.1919 *	0.6324	0.3999 *	0.5032	0.2533 *	-0.1858	0.0345 *	0.0033	0.0000 *
DEV **	0.2793	0.0780 *	0.2952	0.0871 *	0.6076	0.3692 *	-0.1846	0.0341 *	0.0606	0.0037 *
EVA **	0.6928	0.4800 *	-0.1605	0.0258 *	-0.5259	0.2766 *	-0.2424	0.0588 *	0.0539	0.0029 *
AEP **	0.5804	0.3368 *	-0.5755	0.3311 *	-0.0505	0.0026 *	-0.4245	0.1802 *	0.0119	0.0001 *
IRR **	0.6330	0.4007 *	-0.2909	0.0846 *	0.1059	0.0112 *	-0.5471	0.2993 *	-0.2210	0.0488 *
AEI **	0.4036	0.1629 *	-0.3328	0.1108 *	0.2382	0.0567 *	0.6919	0.4788 *	-0.3107	0.0965 *
C_TOT **	0.7727	0.5971 *	-0.5223	0.2727 *	0.1523	0.0232 *	0.2197	0.0483 *	-0.1562	0.0244 *
PLU **	0.5733	0.3286 *	0.8295	0.6880 *	-0.1235	0.0152 *	0.2372	0.0562 *	0.1535	0.0236 *
V_1M **	0.4770	0.2275 *	-0.7595	0.5768 *	0.1894	0.0359 *	0.0978	0.0096 *	0.0683	0.0047 *
V_FM **	0.7430	0.5520 *	0.2664	0.0710 *	-0.3198	0.1023 *	0.1418	0.0201 *	0.4610	0.2126 *
T_REM **	0.7932	0.6292 *	-0.4033	0.1626 *	-0.0497	0.0025 *	0.1564	0.0245 *	0.3240	0.1050 *

CERCLE DES CORRELATIONS

PLAN 1 2 AXE 1 HORIZONTAL

AXE 2 VERTICAL



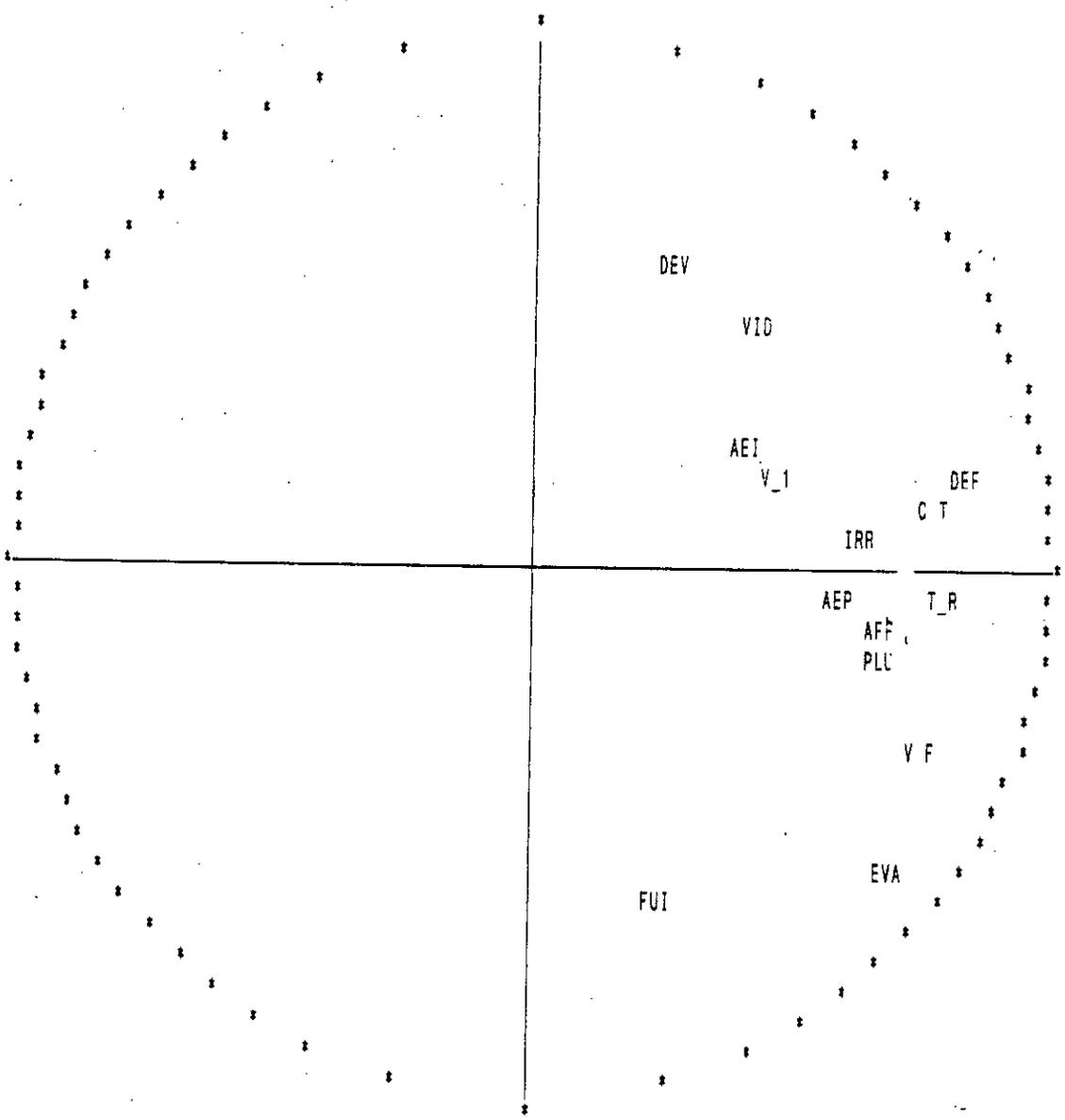
POINTS CACHES

Points vus	Points cachés	ABSCISSE	ORDONNEE
FUI	DEV	.2793028	.295184

CERCLE DES CORRELATIONS

PLAN 1 3 AXE 1 HORIZONTAL

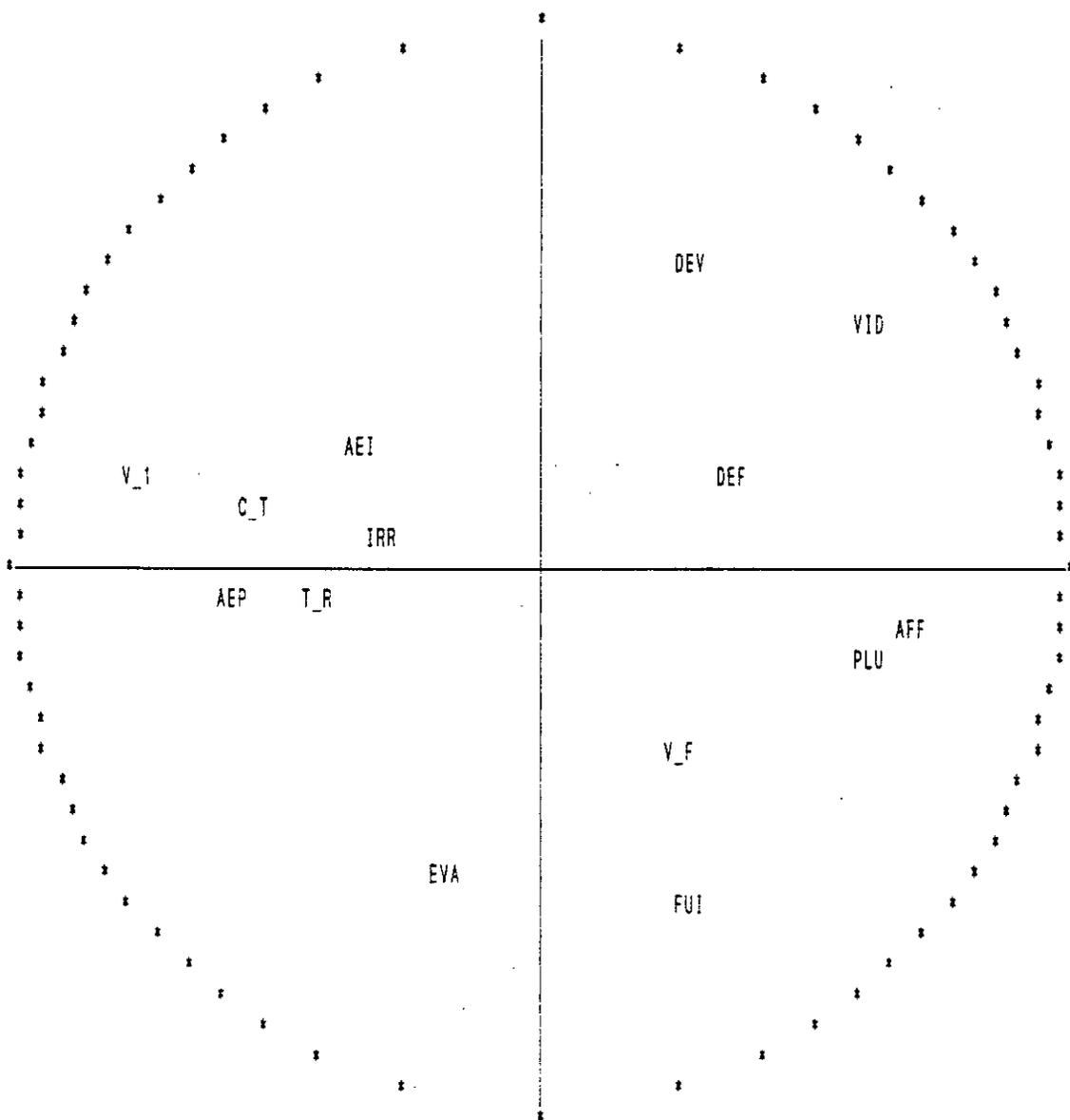
AXE 3 VERTICAL



CERCLE DES CORRELATIONS

PLAN 2 3 AXE 2 HORIZONTAL

AXE 3 VERTICAL



ANNEXE IV

MODELE OPTIMISE : SCENARIO SIMULE

Année : 0 1					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf (%)
JAN	84.250	4.685	4.685	0	100
FEV	101.290	4.425	4.425	0	100
MAR	98.016	4.685	4.685	0	100
AVR	98.141	4.598	4.598	0	100
MAI	99.451	7.289	7.289	0	100
JUI	106.974	9.218	9.218	0	100
JUL	98.471	10.544	10.544	0	100
AUT	91.228	10.978	10.978	0	100
SEP	82.143	8.378	8.378	0	100
OCT	75.946	4.685	4.685	0	100
NOV	73.833	4.598	4.598	0	100
DEC	70.798	4.685	4.685	0	1é0

Année : 0 2					
Mois	Volume	Demande *	Fourniture	Defail	T.Satisf (%)
JAN	72.782	4.769	4.769	0	100
FEV	70.454	4.501	4.501	0	100
MAR	68.021	4.769	4.769	0	100
AVR	99.110	4.680	4.680	0	100
MAI	102.790	7.807	7.807	0	100
JUI	98.381	8.880	8.880	0	100
JUL	93.710	12.147	12.147	0	100
AUT	84.819	10.845	10.845	0	100
SEP	75.091	7.620	7.620	0	100
OCT	73.143	4.769	4.769	0	100
NOV	69.803	4.680	4.680	0	100
DEC	67.131	4.769	4.769	0	1é0

Année : 0 3					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf (%)
JAN	92.594	4.856	4.856	0	100
FEV	89.710	4.579	4.579	0	100
MAR	87.489	4.856	4.856	0	100
AVR	84.652	6.864	6.864	0	100
MAI	88.596	9.413	9.413	0	100
JUI	82.412	10.854	10.854	0	100
JUL	85.715	13.970	13.970	0	100
AUT	72.207	12.668	12.668	0	100
SEP	77.157	8.544	8.544	0	100
OCT	71.299	7.026	7.026	0	100
NOV	96.986	4.764	4.764	0	100
DEC	94.508	4.856	4.856	0	1é0

Année : 0 4					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf (%)
JAN	93.224	4.945	4.945	0	100
FEV	96.456	4.660	4.660	0	100
MAR	97.348	4.945	4.945	0	100
AVR	99.921	4.850	4.850	0	100
MAI	96.797	7.983	7.983	0	100
JUI	94.433	9.260	9.260	0	100
JUL	86.237	10.587	10.587	0	100
AUT	76.749	10.804	10.804	0	100
SEP	67.197	8.000	8.000	0	100
OCT	59.680	4.945	4.945	0	100
NOV	58.817	4.850	4.850	0	100
DEC	56.189	4.945	4.945	0	100

Année : 0 5					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf (%)
JAN	55.282	5.037	5.037	0	100
FEV	84.109	4.743	4.743	0	100
MAR	86.806	5.037	5.037	0	100
AVR	85.418	4.939	4.939	0	100
MAI	89.398	7.641	7.641	0	100
JUI	83.932	8.509	8.509	0	100
JUL	76.643	10.896	10.896	0	100
AUT	69.963	10.462	10.462	0	100
SEP	62.296	8.719	8.719	0	100
OCT	56.281	5.037	5.037	0	100
NOV	86.779	4.939	4.939	0	100
DEC	85.036	5.037	5.037	0	100

Année : 0 6					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf (%)
JAN	84.193	5.132	5.132	0	100
FEV	81.999	4.829	4.829	0	100
MAR	92.715	5.132	5.132	0	100
AVR	100.924	5.031	5.031	0	100
MAI	96.637	5.132	5.132	0	100
JUI	93.940	9.021	9.021	0	100
JUL	103.890	10.557	10.557	0	100
AUT	94.154	10.340	10.340	0	100
SEP	119.358	9.231	9.231	0	100
OCT	112.401	5.132	5.132	0	100
NOV	112.202	5.031	5.031	0	100
DEC	112.604	5.132	5.132	0	100

Année : 0 7					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	117.857	5.230	5.230	0	100
FEV	115.931	4.918	4.918	0	100
MAR	114.385	5.230	5.230	0	100
AVR	111.114	5.126	5.126	0	100
MAI	107.233	7.400	7.400	0	100
JUI	101.425	9.116	9.116	0	100
JUL	93.473	11.740	11.740	0	100
AUT	87.421	10.872	10.872	0	100
SEP	76.485	7.226	7.226	0	100
OCT	70.885	5.230	5.230	0	100
NOV	94.559	5.126	5.126	0	100
DEC	96.982	5.230	5.230	0	100

Année : 0 8					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	97.170	5.332	5.332	0	100
FEV	95.994	5.009	5.009	0	100
MAR	99.425	5.332	5.332	0	100
AVR	97.235	5.224	5.224	0	100
MAI	97.052	7.285	7.285	0	100
JUI	93.797	9.844	9.844	0	100
JUL	85.810	12.493	12.493	0	100
AUT	90.316	10.106	10.106	0	100
SEP	92.977	7.954	7.954	0	100
OCT	86.032	5.332	5.332	0	100
NOV	83.766	5.224	5.224	0	100
DEC	80.538	5.332	5.332	0	100

Année : 0 9					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	88.293	5.436	5.436	0	100
FEV	93.081	5.103	5.103	0	100
MAR	89.674	5.436	5.436	0	100
AVR	103.332	5.325	5.325	0	100
MAI	99.567	8.257	8.257	0	100
JUI	106.842	10.575	10.575	0	100
JUL	119.175	11.946	11.946	0	100
AUT	108.785	11.946	11.946	0	100
SEP	100.040	9.525	9.525	0	100
OCT	96.349	5.436	5.436	0	100
NOV	101.469	5.325	5.325	0	100
DEC	97.577	5.436	5.436	0	100

Année : 10					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	99.058	5.543	5.543	0	100
FEV	95.000	5.200	5.200	0	100
MAR	91.558	5.543	5.543	0	100
AVR	87.108	5.429	5.429	0	100
MAI	83.998	7.713	7.713	0	100
JUI	81.837	10.259	10.259	0	100
JUL	74.030	11.402	11.402	0	100
AUT	65.140	11.836	11.836	0	100
SEP	90.186	8.159	8.159	0	100
OCT	89.605	5.543	5.543	0	100
NOV	86.848	5.429	5.429	0	100
DEC	88.804	5.543	5.543	0	100

Année : 11					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	87.694	6.805	6.805	0	100
FEV	82.246	6.340	6.340	0	100
MAR	80.715	6.805	6.805	0	100
AVR	75.853	6.650	6.650	0	100
MAI	72.044	6.805	6.805	0	100
JUI	94.815	12.110	12.110	0	100
JUL	85.280	12.013	12.013	0	100
AUT	75.426	12.013	12.013	0	100
SEP	64.559	9.800	9.800	0	100
OCT	70.544	6.805	6.805	0	100
NOV	68.529	6.650	6.650	0	100
DEC	74.139	6.805	6.805	0	100

Année : 12					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	69.022	6.949	6.949	0	100
FEV	76.320	6.470	6.470	0	100
MAR	73.528	6.949	6.949	0	100
AVR	93.850	6.790	6.790	0	100
MAI	90.646	10.421	10.421	0	100
JUI	82.468	12.670	12.670	0	100
JUL	75.318	15.195	15.195	0	100
AUT	63.897	14.327	14.327	0	100
SEP	57.028	11.410	11.410	0	100
OCT	46.841	8.902	8.902	0	100
NOV	43.188	6.790	6.790	0	100
DEC	37.791	6.949	6.949	0	100

Année : 13					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	32.650	7.098	6.233	1	88
FEV	29.895	6.604	5.799	1	88
MAR	27.840	7.098	6.233	1	88
AVR	26.385	6.933	6.088	1	88
MAI	21.994	9.051	7.948	1	88
JUI	17.836	10.503	4.254	1	41
JUL	47.620	13.174	11.568	1	88
AUT	42.002	11.872	10.425	1	88
SEP	34.688	10.083	8.854	1	88
OCT	36.009	7.098	6.233	1	88
NOV	32.217	6.933	6.088	1	88
DEC	28.821	7.098	6.233	1	88

Année : 14					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	28.466	7.251	5.766	1	80
FEV	26.840	6.743	5.361	1	80
MAR	24.640	7.251	5.766	1	80
AVR	51.338	7.081	5.631	1	80
MAI	48.792	9.421	7.491	1	80
JUI	42.839	11.071	8.804	1	80
JUL	36.418	13.327	10.597	1	80
AUT	37.434	12.459	9.907	1	80
SEP	38.224	9.181	7.301	1	80
OCT	32.239	7.251	5.766	1	80
NOV	29.545	7.081	5.631	1	80
DEC	43.167	7.251	5.766	1	80

Année : 15					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	40.801	7.408	5.358	1	72
FEV	65.914	6.885	4.980	1	72
MAR	62.410	7.408	5.358	1	72
AVR	60.262	7.234	5.232	1	72
MAI	60.108	10.663	7.713	1	72
JUI	60.986	12.484	9.029	1	72
JUL	54.372	15.437	11.165	1	72
AUT	45.021	12.833	9.282	1	72
SEP	37.668	11.434	8.270	1	72
OCT	30.969	7.408	5.358	1	72
NOV	27.938	7.234	5.232	1	72
DEC	24.573	7.408	5.358	1	72

Année : 16					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	26.317	7.571	5.376	1	71
FEV	22.351	7.031	4.994	1	71
MAR	19.305	7.571	5.376	1	71
AVR	45.286	7.391	5.249	1	71
MAI	47.056	9.958	7.072	1	71
JUI	46.050	12.011	8.530	1	71
JUL	41.410	14.732	10.462	1	71
AUT	39.972	13.430	9.537	1	71
SEP	32.311	10.751	7.635	1	71
OCT	29.643	7.571	5.376	1	71
NOV	27.649	7.391	5.249	1	71
DEC	26.367	7.571	5.376	1	71

Année : 17					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	40.501	7.738	6.793	1	88
FEV	48.986	7.182	6.305	1	88
MAR	46.581	7.738	6.793	1	88
AVR	41.721	7.553	6.630	1	88
MAI	38.447	9.908	8.697	1	88
JUI	43.324	11.333	9.948	1	88
JUL	44.661	13.380	11.745	1	88
AUT	33.672	13.597	11.936	1	88
SEP	35.992	9.863	8.658	1	88
OCT	29.065	7.738	6.793	1	88
NOV	36.313	7.553	6.630	1	88
DEC	56.735	7.738	6.793	1	88

Année : 18					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	52.951	7.910	4.629	1	59
FEV	51.646	7.338	4.295	1	59
MAR	55.892	7.910	4.629	1	59
AVR	61.004	7.719	4.518	1	59
MAI	59.805	11.382	6.661	1	59
JUI	57.249	11.709	6.853	1	59
JUL	53.204	15.071	8.820	1	59
AUT	45.509	14.420	8.439	1	59
SEP	39.618	11.919	6.976	1	59
OCT	32.421	7.910	4.629	1	59
NOV	32.796	7.719	4.518	1	59
DEC	30.834	7.910	4.629	1	59

Année : 19					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	28.491	8.087	6.774	1	84
FEV	61.603	7.498	6.280	1	84
MAR	63.657	8.087	6.774	1	84
AVR	61.969	7.891	6.609	1	84
MAI	63.457	10.040	8.409	1	84
JUI	59.035	12.301	10.303	1	84
JUL	51.644	14.163	11.863	1	84
AUT	46.088	14.597	12.226	1	84
SEP	36.122	11.041	9.248	1	84
OCT	28.290	8.087	6.774	1	84
NOV	49.882	7.891	6.609	1	84
DEC	45.965	8.087	6.774	1	84

Année : 20					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	43.386	8.270	7.799	1	94
FEV	38.605	7.663	7.227	1	94
MAR	42.171	8.270	7.799	1	94
AVR	38.737	8.067	7.608	1	94
MAI	44.311	8.270	7.799	1	94
JUI	37.519	12.477	11.767	1	94
JUL	41.979	14.346	13.529	1	94
AUT	30.711	14.997	14.143	1	94
SEP	48.647	11.217	10.579	1	94
OCT	39.091	8.270	7.799	1	94
NOV	32.646	8.067	7.608	1	94
DEC	33.509	8.270	7.799	1	94

Année : 21					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	31.275	8.458	3.403	1	40
FEV	37.597	7.833	3.152	1	40
MAR	35.841	8.458	3.403	1	40
AVR	36.810	8.249	3.319	1	40
MAI	36.758	10.845	4.363	1	40
JUI	34.137	12.239	4.925	1	40
JUL	30.332	15.402	6.197	1	40
AUT	24.163	14.968	6.022	1	40
SEP	21.511	11.399	4.587	1	40
OCT	18.524	8.458	3.403	1	40
NOV	19.418	8.249	3.319	1	40
DEC	48.254	8.458	3.403	1	40

Année : 22					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	52.937	8.651	6.656	1	77
FEV	50.666	8.008	6.161	1	77
MAR	54.767	8.651	6.656	1	77
AVR	49.013	8.437	6.491	1	77
MAI	45.396	8.651	6.656	1	77
JUI	46.389	13.057	10.046	1	77
JUL	38.418	14.293	10.997	1	77
AUT	28.244	13.642	10.496	1	77
SEP	49.813	12.007	9.238	1	77
OCT	41.787	8.651	6.656	1	77
NOV	38.827	8.437	6.491	1	77
DEC	34.750	8.651	6.656	1	77

Année : 23					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	44.641	8.851	6.696	1	76
FEV	49.718	8.188	6.195	1	76
MAR	44.405	8.851	6.696	1	76
AVR	38.344	10.520	7.959	1	76
MAI	43.259	12.323	9.323	1	76
JUI	36.920	13.880	10.501	1	76
JUL	59.631	15.361	11.622	1	76
AUT	47.713	14.493	10.965	1	76
SEP	39.189	10.940	8.277	1	76
OCT	34.495	8.851	6.696	1	76
NOV	36.966	8.630	6.529	1	76
DEC	33.219	8.851	6.696	1	76

Année : 24					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T.Satisf(%)
JAN	31.527	9.057	4.468	1	49
FEV	29.792	8.374	4.131	1	49
MAR	27.513	9.057	4.468	1	49
AVR	27.147	8.829	4.356	1	49
MAI	26.499	11.878	5.859	1	49
JUI	25.306	14.289	7.049	1	49
JUL	18.761	16.218	5.179	1	32
AUT	14.152	15.133	0.570	1	4
SEP	42.354	10.719	5.288	1	49
OCT	42.927	9.057	4.468	1	49
NOV	45.880	8.829	4.356	1	49
DEC	43.080	9.057	4.468	1	49

Année : 25					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	50.106	9.268	6.462	1	70
FEV	46.899	8.565	5.972	1	70
MAR	46.351	9.268	6.462	1	70
AVR	42.991	9.034	6.299	1	70
MAI	39.577	12.523	8.732	1	70
JUI	51.327	13.654	9.520	1	70
JUL	58.068	15.561	10.850	1	70
AUT	49.520	15.344	10.699	1	70
SEP	41.247	12.814	8.935	1	70
OCT	33.713	9.268	6.462	1	70
NOV	41.708	9.034	6.299	1	70
DEC	50.642	9.268	6.462	1	70

Année : 26					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	46.619	9.486	6.717	1	71
FEV	55.643	8.762	6.204	1	71
MAR	51.470	9.486	6.717	1	71
AVR	60.642	9.245	6.546	1	71
MAI	72.026	11.873	8.407	1	71
JUI	65.373	12.815	9.073	1	71
JUL	58.616	14.911	10.558	1	71
AUT	53.004	13.609	9.636	1	71
SEP	54.352	11.765	8.330	1	71
OCT	47.324	9.486	6.717	1	71
NOV	45.483	9.245	6.546	1	71
DEC	40.438	9.486	6.717	1	71

Année : 27					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	37.471	9.711	5.850	1	60
FEV	32.739	8.965	5.401	1	60
MAR	28.769	9.711	5.850	1	60
AVR	29.654	9.462	5.700	1	60
MAI	26.432	12.098	7.288	1	60
JUI	20.453	14.292	6.871	1	48
JUL	54.290	16.221	9.772	1	60
AUT	51.705	16.655	10.033	1	60
SEP	43.197	13.032	7.851	1	60
OCT	43.017	9.711	5.850	1	60
NOV	39.896	9.462	5.700	1	60
DEC	36.574	9.711	5.850	1	60

Année : 28					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	38.904	9.942	6.057	1	61
FEV	35.733	9.174	5.588	1	61
MAR	33.013	9.942	6.057	1	61
AVR	56.859	9.686	5.900	1	61
MAI	53.607	12.980	7.907	1	61
JUI	47.882	14.096	8.587	1	61
JUL	40.918	16.669	10.154	1	61
AUT	40.092	15.584	9.493	1	61
SEP	32.862	12.626	7.691	1	61
OCT	39.686	9.942	6.057	1	61
NOV	34.804	9.686	5.900	1	61
DEC	47.289	9.942	6.057	1	61

Année : 29					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	45.349	10.181	5.763	1	57
FEV	73.088	9.389	5.315	1	57
MAR	71.047	10.181	5.763	1	57
AVR	68.611	9.917	5.614	1	57
MAI	69.316	13.002	7.360	1	57
JUI	67.538	15.167	8.586	1	57
JUL	67.005	17.559	9.940	1	57
AUT	58.231	16.474	9.326	1	57
SEP	55.138	13.907	7.873	1	57
OCT	48.633	10.181	5.763	1	57
NOV	45.574	9.917	5.614	1	57
DEC	41.335	10.181	5.763	1	57

Année : 30					
Mois	Volume	Demande	Fourniture	Defail	T. Satisf(%)
JAN	38.096	10.426	5.346	1	51
FEV	37.083	9.611	4.928	1	51
MAR	33.913	10.426	5.346	1	51
AVR	33.156	10.154	5.206	1	51
MAI	60.332	13.464	6.903	1	51
JUI	60.288	14.564	7.467	1	51
JUL	54.003	16.285	8.350	1	51
AUT	54.711	16.068	8.239	1	51
SEP	46.570	13.304	6.821	1	51
OCT	42.938	10.426	5.346	1	51
NOV	42.897	10.154	5.206	1	51
DEC	41.588	10.426	5.346	1	51

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.N.B : Tableau et courbes : Hauteur-Capacité-Surface du barrage de la CHEFFIA. Geokart-IMGW-Pologne.1986.
- [2] A. BERMAD : Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir. Application au barrage de la CHEFFIA. Thèse de magister. Ecole nationale polytechnique 1990.
- [3] J. BERNIER : Aspect méthodologique de la gestion optimale des réservoirs à buts multiples, La houille blanche, N° 2/3 1977. PP 253 – 257.
- [4] C. BOCQUILLON et J.M MASSON : Recherche d'une politique de gestion des stocks d'eau de barrages réservoirs en vue de soutenir les étiages : Journal of hydrology (60) 1983.
- [5] Compagnie générale des eaux et de l'IAURIF : L'eau et les objectivités locales. Edition du Moniteur, Paris.1991.
- [6] L.M. BOURCHE. SAPORTA : L'analyse des données. Collection Que sais-je ? N° 1854. Presses universitaire de France.2^{ème} édition .1983.
- [7] P. DAGNELIE : Théories et méthodes statistiques. Vol II. Edition : J. Duculot, S.A. Gembloux 1970.
- [8] N. DECHEMI.A.BERMAD et K.TACHET : Etude et simulation de l'évapotranspiration (ETP) par l'analyse en composantes principales (ACP). ICID journal 1997, vol 46 N°2
- [9] M. JEAN. A.GALAND : Gestion des périmètres d'irrigation en temps réel en face d'une sécheresse. . La houille Blanche. N° 7/8 1989.
- [10] J.GOUSBAILLE. J.MIQUEL : Gestion des barrages réservoirs en avenir incertain : SHF. L'impact des activités humaines sur les eaux continentales, rapport N° 11, 1986.
- [11] A.HAMRICHE. K. TACHET : Contribution à l'étude et à la simulation des paramètres hydro-météorologiques par l'analyse en composantes principales (ACP). Thèse d'ingénieur. ENP. Alger.1993.
- [12] P. HUBERT : Eaupuscule, une introduction à la gestion de l'eau, édition ellipses, 1984.
- [13] J.P. LABORDE : Eléments d'hydrologie de surface. Université de NICE-SOPHIA 1995
- [14] C.LABROUSSE : Introduction à l'économétrie. Dunod 1985.
- [15] J.P. LEFEBVRE : Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. Edition Masson.1983.
- [16] Y. MECHIN et D. NORMAND : Exemple d'application de la gestion optimale des réservoirs à buts multiples. La houille blanche, N° 2/3 1977.
- [17] J. MIQUEL : Cours d'hydrologie générale DEA, fascicule N° 6 : Gestion des barrages réservoirs 1997-1998.
- [18] J. MIQUEL et B. PHEIN BOU PHA / Tempétiage. SHF. l'hydrotechnique au service d'une politique de l'eau, rapport N°2, 1978.
- [19] J. MIQUEL et P.A ROCHE : La gestion des barrages réservoirs. La houille Blanche. N° 6 1986. PP 409-425.
- [20] H.J. MOREL-SEYTOUX : Gestion optimale d'un réservoir en avenir déterminé. Revue science- eau (4), PP 569-597 .1998.
- [21] D.NORMAND. Principes de gestion des réservoirs d'eau de surface et d'eau souterraine pour le développement optimal des ressources N° 11 juin 1991
- [22] L. ONDRUSS : Etude de régulation du barrage de CHEFFIA compte tenu de l'envasement. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique.étude N° 59/SHYL/75. 1975
- [23] ONS : Collection statistiques N° 92 RGPH 98.1998

- [24] L. SAPORTA : Théories et méthodes de la statistique. Edition Technip. 1993
- [25] D. SOUAG: Contribution à la gestion d'un réservoir par les modèles de règle de décision linéaire (LDR) et modélisation des débits. These de Magister. Ecole nationale polytechnique (ENP) 1993.
- [26] J. THEODOR STEWART and LEANNE SCOTT: A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water resources planning WRR. Vol 31 N° 11 1995. PP 2835-2843.
- [27] C. THIRRIOT et N.DECHEMI : Essai critique sur l'évapotranspiration dans l'algérois, Milieux poreux et transferts hydriques. novembre 88 – Bulletin du G.F.H.N - 24
- [28] M. TREMBLAY : Gestion du risque dans l'exploitation des systèmes hydriques. Thèse de PHD. Ecole polytechnique de Montréal 1989.
- [29] F. VALIRON : Gestion des eaux, cours de l'école nationale des ponts et chaussées, presse de l'ENPC. 1988.
- [30] W. YEH and W.- G.: Reservoir management and operation models, a state-of-the-art review WRR Vol 21 N° 12. PP 1797-1818 December 1985.
- [31] X.YANG, E.PARENT, C. MICHEL. P.ROCHE : Gestion d'un réservoir pour la régularisation des débits. La houille blanche, N° 6.1991.