

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Elaboration d'un modele de gestion en cas de sécheresse dans l'exploitation du barrage de Koudiet Acerdoune.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 7-0002-13

APA Citation (APA توثيق):

Sakhraoui, Fouad (2013). Elaboration d'un modele de gestion en cas de sécheresse dans l'exploitation du barrage de Koudiet Acerdoune[Thèse de magister, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب...) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
ARBAOUI ABDELLAH

LABORATOIRE DE RECHERCHE
MOBILISATION ET VALORISATION DES RESSOURCES EN EAU

N° d'ordre :

Série :

MEMOIRE DE MAGISTER

Option : **GENIE DE L'EAU**

Présenté par :

Fouad SAKHRAOUI

Thème

ELABORATION D'UN MODELE DE GESTION EN CAS DE SECHERESSE DANS
L'EXPLOITATION DU BARRAGE DE KOUDIET ACERDOUNE

Devant le jury composé de :

Président	: Mr M. MEDDI	Professeur.	ENSH. Blida
Rapporteur	: Mme B. TOUAÏBIA	Professeur.	ENSH. Blida
Examineurs	: Mr M.K. MIHOUBI	Maître de conférences.	ENSH. Blida
	Mme D. SOUAG	Maître de conférences.	USTHB. Bab Ezzouar

Soutenu le 17 / 12 / 2013

REMERCIEMENTS

Je m'incline et me prosterne devant mon Créateur, pour m'avoir guidé et appris tout ce que je sais. Devant lui, je me prosterne encore pour tous les biens qu'il m'a gratifié en me créant musulman et en m'aidant à le rester pour toujours, lui le réalisateur de tous mes vœux.

Pour sa disponibilité, ses conseils, son dynamisme, ses compétences et sa patience, je remercie profondément ma promotrice Madame Bénina TOUAÏBIA, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida, qui a dirigé avec rigueur ce travail. Elle a su prendre de son temps pour me guider et me faire part de son savoir afin de mener à bien ce travail.

Je remercie tous particulièrement Monsieur le président du jury, Prof. Meddi Mohamed qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de cette thèse qu'il trouve ici l'expression de mon sincère estime.

Je tiens également à remercier, Dr. Mihoubi Moustapha Kamel, Maître de conférences (A) de l'ENSH-Blida et Dr. Doudja Souag, Maître de conférences (A) de l'USTHB-Bab Ezzouar, d'avoir acceptés de participer au jury de ce mémoire.

Aussi, je suis très reconnaissant à Mr Meddi Mohamed, Mr Boukhelifa Mustapha, Mr Touhami Houssam et Mme Djoudar Dalila qui m'ont beaucoup aidé, orienté dans mon travail et répondu à mes attentes.

Mes remerciements vont également aux Mme Germahe Souhila, Mr Missoum Rabeh, Mr Habouche Salleh, Mr Hamadene Amine et Khalfi Ahmed qui m'ont aidé lors de la collecte des données.

Enfin, un vif remerciement pour toutes les personnes m'ayant aidé de près où de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Fouad SAKHRAOUI

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

*D'*abord à mes très chers parents Abdkader et Zakia, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien et me voir ainsi arriver à ce que je suis devenu aujourd'hui.

A mes très chers frères avec leur femmes « Hicham-Linda », « Raouf-Sarah » et Akram.

A mes deux très chères sœurs Ratiba et Sihem.

A ma femme Djebailia Amina.

A mes deux très chères cousins Taib et Walid.

A mes chers amis Sofiane, Mohamed, Fouad, Ridha et Youcef.

Je dédie également ce travail à tous mes amis de l'E.N.S.H avec qui je partage les souvenirs.

ملخص

الماء، هو مورد طبيعي حيوي ويستعمل في مختلف الميادين، يطرح التخطيط لتسييره من مختلف الجوانب ومن مختلف المراحل. هذا التسيير، من المرجح أن يزداد تعقيدا في المستقبل، وذلك لارتفاع النمو الديموغرافي و تحسين لمستوى المعيشي.

هذا العمل، هو مركز على طريقة تسيير سد كودية تسردون باستخدام البرمجة الديناميكية العشوائية بواسطة تطبيق برنامج "مودمان" المبرمج في الـ سيلاب. لقد تم إختيار هدفين لهذه الدراسة، الأول هو لتلبية الطلب من المياه لمختلف القطاعات و الثاني لضمان حجم معين من المياه في حالة وجود سنة جافة في المستقبل. النموذج طبق على أربعة مراحل: جافة، متوسطة، غزير و مرحلة تستعمل فيها الموارد المائية المدروسة.

الكلمات الجوهرية: سد، البرمجة الديناميكية العشوائية، تسيير، الجفاف، نموذج، كدية تسردون

Résumé

L'eau, étant une ressource naturelle vitale et faisant l'objet de nombreux usages, implique une planification de sa gestion sous différents aspects et à différents horizons. Cette gestion est appelée à devenir de plus en plus complexe et compliquée dans le futur, ceci est dû, à l'accroissement démographique et à l'amélioration du niveau de vie.

Ce travail est axé sur la gestion du barrage de Koudiet Acerdoune à l'aide d'une programmation dynamique stochastique, mise en œuvre un code de calcul « MODMAN », élaboré sous Scilab.

Deux objectifs sont choisis : le premier consiste à satisfaire la demande des différents secteurs en donnant les priorités respectivement à l'alimentation en eau potable, industrielle et l'irrigation et le second à garantir un volume de sécurité pour l'année sèche qui suit l'année d'étude.

Le modèle est testé sur différentes périodes : sèche, moyenne, humide et apports reconstitués grâce à l'ACP.

Mots clés : Barrage, PDS, Gestion, Sècheresse, Modèle, Koudiet Acerdoune.

ABSTRACT

Water, being a vital natural resource and making the object many uses, imply a scheduling of his management in different aspects and to different horizons. This management is will become more and more complex and complicated in the future. It is due, to the demographic growth and to the improvement of the standard of living.

This work is centered on the management of the dam of Koudiet Acerdoune with the help of a stochastic dynamic programming, set in motion a code of calculation « MODMAN », elaborate with Scilab.

Two objectives have been chosen: the first consists in satisfying the demand of the different sectors while giving the priorities respectively to the food in drinking water, industrial and the irrigation and the second to guarantee a volume of security for the dry year that follows the year of survey.

The model is tested on different periods: dry, average, humid and debit reconstituted thanks to PCA.

Keywords : Dam, SDP, Management, drought, Model, Koudiet Acerdoune.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.	Aperçu théorique sur la gestion.....	3
1.1	Gestion des barrages-réservoirs.....	3
1.2	Principes de gestion.....	4
1.2.1	Gestion du risque.....	4
1.2.2	Consignes de gestion.....	5
	• Gestion du barrage en période d'étéage.....	5
	• Gestion en période de crue.....	5
1.3	Objectif de la gestion.....	6
	• Règles empiriques par courbes objectifs de remplissage.....	7
	• Règles linéaires de gestion.....	8
	• Règles empiriques paramétrées de gestion.....	9
II.	Analyse statistique.....	10
	• Test de Fisher-Snedecor.....	10
	• Test de Student.....	11
	• Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz).....	11
	• Test de stationnarité (Kendall).....	12
	• Test de stationnarité et d'homogénéité (Wilcoxon).....	12
	• Test d'adéquation (KHI deux).....	13
	• Critère de validation (critère de Nash).....	13
III.	Exploitation et gestion par modélisation.....	14
3.1	Système dynamique déterministe et stochastique.....	14
3.1.1	Modèle déterministe de gestion d'un barrage.....	15
3.1.2	Modèle stochastique de gestion d'un barrage.....	15
3.2	Principes d'optimisation et algorithmes correspondants.....	17
3.2.1	Optimisation - par programmation linéaire (Linear programming LP).....	17
3.2.2	Optimisation - Programmation non linéaire (non-linear programming - NLP).....	18
3.2.3	Optimisation - Programmation dynamique (dynamic programming).....	19
	• Programmation dynamique déterministe.....	19
	• Programmation dynamique stochastique (PDS).....	20
3.3	Réseaux de neurones artificiels.....	23
3.4	Logique Floue.....	24
3.5	Métaheuristique.....	25
	• Domaines d'utilisation des Algorithmes génétiques.....	25
3.6	Conclusion.....	27

CHAPITRE II : CADRE D'ETUDE

I.	Situation générale du bassin versant de l'Oued Isser.....	28
1.1	Situation géographique.....	28
1.2	Découpage administratif.....	29
1.3	Découpage hydrographique.....	29
1.4	Morphologie du bassin.....	31
1.4.1	Lithologie.....	31
1.4.2	Végétation du bassin versant.....	33
1.4.3	Topographie.....	33
1.4.4	Pédologie du bassin versant.....	33
1.5	Ressources en eau.....	36
1.5.1	Eaux superficielles.....	36
	• Barrages.....	36
	• Retenues collinaires.....	38
1.5.2	Eaux souterraines.....	38
1.6	Hydrographie et Hydrologie du bassin versant.....	40
1.6.1	Présentation des stations hydrométriques.....	40
1.6.2	Caractéristiques de forme.....	40
1.6.3	Caractéristiques du relief.....	42
1.6.4	Paramètres du réseau hydrographique.....	44
II.	Barrage de Koudiet Acerdoune.....	47
2.1	Etude géotechnique.....	47
	• Choix du site.....	47
	• Géologie régionale.....	47
	• Conditions géotechniques du site.....	47
2.2	Etude topographique.....	48
2.3	Sismicité.....	48
2.4	Caractéristiques principales de l'aménagement.....	48
2.4.1	Caractéristiques du relief.....	48
2.4.2	Relation Hauteur-Surface-Volume.....	51
2.4.3	Volume mort.....	51
	• Formule de Tixeront.....	51
	• Formule de Sogreah.....	51
	• Formule de Fournier.....	51
	• Formule de Touaibia et al (2003).....	53
	• Formule de Grivilovitch.....	53
2.4.4	Retenue.....	54
2.4.5	Barrage.....	55
2.4.6	Prise d'eau.....	55
2.4.7	Evacuateur de Crue.....	55
2.4.8	Vidange de fond.....	56
III.	Conclusion.....	56

CHAPITRE III : ETUDE ET MISE EN FORME DES DONNEES

I.	Etude des précipitations.....	57
1.1	Postes pluviométriques dans le BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune.....	57
1.2	Homogénéisation des données pluviométriques.....	57
	• Méthode des rapports.....	58
	• Méthode de la régression linéaire.....	58
1.3	Détermination de la station représentative du BV et du barrage.....	58
1.3.1	Analyse en composante principales (ACP).....	58
1.3.2	Analyse des résultats de L'A.C.P.....	59
1.3.3	Interprétation.....	62
1.4	Stations représentatives des différentes zones de mêmes régimes de précipitations.....	63
1.5	Précipitations sur l'ensemble du BV.....	65
	• Station représentative du BV.....	65
II.	Etude et critique des données.....	68
2.1	Données disponibles.....	68
	• Pluie.....	68
	• Apports.....	68
	• Evaporation.....	68
	• Evapotranspiration.....	68
	• Autre données.....	69
2.2	Précipitations.....	69
2.3	Apports.....	71
2.4	Evaporation.....	73
2.5	Evapotranspiration.....	74
2.6	Lâchers.....	75
2.7	Fuites.....	75
III.	Homogénéisation des données.....	77
3.1	Homogénéisation des précipitations.....	77
3.2	Homogénéisation des apports.....	81
3.3	Homogénéisation des flux évaporatifs.....	81
3.4	Homogénéisation des évapotranspirations.....	81
3.5	Linéarisation des flux évaporatifs.....	87
3.6	Statistique de base des séries annuelles reconstituées.....	88
3.7	Test Appliqués aux données reconstituées.....	88
VI.	Conclusion.....	88

CHAPITRE IV : BESOINS EN EAU

I.	Transferts effectués à partir du barrage de Koudiet Acerdoune.....	89
	• Transfert-Lot N°01.....	89
	• Transfert-Lot N°02.....	89
	• Transfert-Lot N°03.....	89
II.	Détermination des besoins en eau.....	91
	• Besoins en eau potables.....	91
	• Besoins en eau industriels.....	94
	• Besoins en eau d'irrigation.....	94
III.	Conclusion.....	96

CHAPITRE V : MODELE DE GESTION

I.	Objectif du modèle.....	98
	1.1 Contraintes et consigne.....	99
	1.2 Ordre de priorité.....	99
II.	Structure du modèle.....	100
	• Niveau interannuel.....	100
	• Niveau annuel.....	100
	• Niveau mensuel.....	100
III.	Organigramme de calcul.....	101
	3.1 Organigramme général.....	101
	3.2 Organigramme du sous-programme CAL.....	102
VI.	Opérations du modèle.....	103
	4.1 Lecture des données fixes au barrage.....	103
	4.2 Lecture des données hydrologiques.....	103
	• Apports.....	103
	• Evaporation.....	103
	• Précipitations.....	103
	• Fuites d'eau.....	103
	4.3 Lecture des demandes.....	104
	• Demande en eau potable.....	104
	• Demande en eau industrielle.....	104
	• Demande en eau d'irrigation.....	104
	• Demande en eaux totale.....	104

4.4 Boucle centrale.....	105
4.4.1 Boucle annuelle.....	105
4.4.2 Boucle mensuelle.....	105
4.5 Sous programmes CAL.....	105
• Estimation du volume de vidange.....	105
• Taux de satisfaction total.....	106
• Estimation du niveau finale du barrage « Côte ».....	106
4.5.1 Sous Programme Volume.....	106
• Estimation du volume de sécurité.....	106
• Le volume utile alloué à l'année en cours.....	107
• Sous Programme Demande.....	107
4.6 Sortie des résultats.....	107
4.7 Code de calcul.....	107
V. Algorithme générale du « MODMAN ».....	108
5.1 Algorithme du Sous Prog. Volume.....	110
5.2 Algorithme du Sous Prog. Demande.....	111
VI. Applications du modèle de gestion.....	112
6.1 Interprétation.....	113
• Période sèche.....	113
• Période moyenne.....	113
• Période humide.....	114
• Apports reconstitués.....	114

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE A

ANNEXE B

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau I.1 - Critère de Nash et qualité.....	13
---	----

CHAPITRE II

Tableau II.1 - Evaluation de la population par wilaya.....	29
Tableau II.2 - Superficies des Sous bassins de l'Oued Isser au droit du barrage.....	31
Tableau II.3 - Caractéristique du BV Ladrat au site du barrage.....	36
Tableau II.4 - Levé bathymétrique du barrage de Ladrat.....	37
Tableau II.5 - Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya.....	38
Tableau II.6 - Caractéristique des unités hydrogéologiques.....	38
Tableau II.7 - Stations hydrométriques du BV Isser au droit du barrage.....	40
Tableau II.8 - Caractéristiques Hydromorphométriques des Sous bassins de l'Oued Isser aux différents exutoires.....	45
Tableau II.9 - Erosion spécifique du barrage Koudiet Acerdoune.....	54
Tableau II.10 - Caractéristique de la retenue du barrage.....	54
Tableau II.11 - Caractéristique du barrage Koudiet Acerdoune.....	55
Tableau II.12 - Caractéristique de l'évacuateur de crue.....	55
Tableau II.13 - Caractéristique de la vidange de fond.....	56

CHAPITRE III

Tableau III.1 - Identification des stations pluviométriques.....	57
Tableau III.2 - Vecteurs Régionaux de l'ACP.....	59
Tableau III.3 - Moyenne et écart Type des variables Initiales.....	59
Tableau III.4 - Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	59
Tableau III.5 - Valeur propre, variances expliquées et variances cumulées.....	60
Tableau III.6 - Projection des variables actives.....	60
Tableau III.7 - Projection des observations.....	60
Tableau III.8 - Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins.....	63
Tableau III.9 - Code et Nom de la station pluviométrique représentative du BV du barrage Koudiet Acerdoune.....	63
Tableau III.10 - Surfaces d'influence des stations pluviométriques.....	65
Tableau III.11 - Précipitation intra-annuelle 1970/71-2011/12 (Pont de la Traille).....	70
Tableau III.12 - Variation intra-annuelle des apports 1966/67-2000/01 (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	70
Tableau III.13 - Evaporation intra-annuelle 1992/93-2011/2012 (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	73
Tableau III.14 - Evapotranspiration annuelle (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	74

Tableau III.15 - Evapotranspiration intra-annuelle 1992/93-2011/12 (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	75
Tableau III.16 - Volume des vidanges (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	75
Tableau III.17 - Linéarisation des flux évaporatifs en fonction du volume du barrage.....	87
Tableau III.18 - Caractéristiques des séries reconstituées.....	88
Tableau III.19 - Tests appliqués aux données reconstituées.....	88

CHAPITRE IV

Tableau IV.1 - Besoins en eau potable des principaux centres.....	92
Tableau IV.2 - Besoins en eau potable des annexes.....	93
Tableau IV.3 - Besoins en eau potable globaux.....	91
Tableau IV.4 - Besoins en eau industriels.....	94
Tableau IV.5 - Besoins en eau d'irrigation de la Mitidja « Est » et Bas Isser.....	96
Tableau IV.6 - Répartitions des besoins mensuels des périmètres.....	96

CHAPITRE V

Tableau V.1 - Apports probables aux différentes périodes.....	112
Tableau V.2 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période sèche.....	115
Tableau V.3 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période moyenne.....	118
Tableau V.4 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période humide.....	121
Tableau V.5 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune avec les apports reconstitués.....	125

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 - Définition de la période de gestion.....	4
Figure I.2 - Organigramme de gestion des barrages réservoirs.....	6
Figure I.3 - Zone de fonctionnement du réservoir.....	7
Figure I.4 - Variation des zones de fonctionnement au cours de l'année.....	8
Figure I.5 - Stratégies placées dans le plan (V,Ap).....	9
Figure I.6 - Règle de gestion empirique.....	10
Figure I.7 - Discrétisation des réservoirs par Moran (1954).....	16
Figure I.8 - Equation de Bellman-Massé (1957).....	21
Figure I.9 - Evolution décision – hasard.....	22

CHAPITRE II

Figure II.1 - Plan de situation du BV de l'Oued Isser.....	30
Figure II.2 - Réseau Hydrographique du BV de l'Oued Isser au droit du barrage.....	32
Figure II.3 - Géologie du BV de l'Oued Isser.....	34
Figure II.4 - Pédologies du BV de l'Oued Isser.....	35
Figure II.5 - Courbes Hauteur-Surface-Volume du barrage Ladrat.....	37
Figure II.6 - Implantation des barrages et retenues dans le BV de l'Oued Isser.....	39
Figure II.7 - Implantation des stations pluviométriques et hydrométriques dans le BV de l'Oued Isser.....	41
Figure II.8 - Profil en Long de Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune.....	46
Figure II.9 - Courbes des altitudes du BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune.....	49
Figure II.10 - Courbe hypsométriques du BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune.....	50
Figure II.11 - Courbes Hauteur-Surface-Volume du barrage Koudiet Acerdoune.....	52

CHAPITRE III

Figure III.1 - Ajustement du vecteur régional C1 à une loi Normale.....	61
Figure III.2 - Projection des variables sur le plan 1-2.....	61
Figure III.3 - Zones de précipitations du BV du barrage Koudiet Acerdoune.....	64
Figure III.4 - Zones d'influence des stations pluviométriques.....	66
Figure III.5 - Evolution temporelle des précipitations (Station de Pont de la Traille).....	67
Figure III.6 - Ajustement des précipitations annuelles (Pont de la Traille).....	69
Figure III.7 - Répartition saisonnière des précipitations (Pont de la Traille).....	70
Figure III.8 - Ajustement des apports annuels (Barrage Koudiet Acerdoune).....	71
Figure III.9 - Répartition saisonnière des apports (Barrage de Koudiet Acerdoune).....	72
Figure III.10 - Ajustement des évaporations annuelles (Barrage Koudiet Acerdoune).....	73
Figure III.11 - Ajustement des évapotranspirations annuelles (Barrage Koudiet Acerdoune).....	74

Figure III.12 - Variation intra-annuelle des fuites (Barrage Koudiet Acerdoune).....	76
Figure III.13 - Variation des fuites en fonction du volume du réservoir (Barrage Koudiet Acerdoune).....	76
Figure III.14 - Régression double des précipitations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2.....	78
Figure III.15 - Précipitations annuelles reconstituées (Pont de la Traille).....	79
Figure III.16 - Précipitations intra-annuelles reconstituées (Pont de la Traille).....	80
Figure III.17 - Apports annuels reconstitués (Barrage Koudiet Acerdoune).....	82
Figure III.18 - Evaporations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune).....	83
Figure III.19 - Evapotranspirations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune).....	84
Figure III.20 - Ajustement des pluies annuelles reconstituées (pont de la Traille).....	85
Figure III.21 - Ajustement des apports annuels reconstitués (Barrage Koudiet Acerdoune).....	85
Figure III.22 - Ajustement des évaporations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune).....	86
Figure III.23 - Ajustement des évapotranspirations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune).....	86

CHAPITRE IV

Figure IV.1 - Transferts à partir du barrage de Koudiet Acerdoune.....	90
Figure IV.2 - Volumes distribués et superficies irriguées sur le périmètre du Hamiz.....	95
Figure IV.3 - Répartition annuelle des besoins en eau globale des différents utilisateurs.....	97

CHAPITRE V

Figure V.1 - Structure du modèle.....	100
Figure V.2 - Organigramme général du modèle.....	101
Figure V.3 - Organigramme du sous-programme CAL du modèle.....	102
Figure V.4 - Algorithme générale du « MODMAN ».....	109
Figure V.5 - Algorithme du Sous Prog. Volume.....	110
Figure V.6 - Algorithme du Sous Prog. Demande.....	111
Figure V.7 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période sèche).....	117
Figure V.8 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période moyenne).....	120
Figure V.9 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période humide).....	123
Figure V.10 - Variation du taux de satisfaction des différents périodes.....	124
Figure V.11 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Apports reconstitués).....	127
Figure V.12 - Variation du taux de satisfaction des différents périodes.....	128

LISTE DES ABREVIATIONS

- **A** : Apport.
- **AEI** : Alimentation en eau industriel.
- **AEP** : Alimentation en eau potable.
- **ANBT** : Agence nationale des barrages et transfères.
- **ANRH** : Agence nationale des ressources hydriques.
- **BV** : Bassin versant.
- **D_{AEP}** : Demande en eau potable.
- **D_{AEI}** : Demande en eau industrielle.
- **D_{IRR}** : Demande en eau d'irrigation.
- **D_T** : Demande en eaux totale.
- **E** : Evaporation.
- **ETP** : Evapotranspiration potentiel.
- **H** : Côte.
- **IRR** : Irrigation.
- **ONID** : Office national d'irrigation et drainage.
- **ONM** : Office national de météorologie.
- **P** : Précipitation.
- **PDS** : Programmation dynamique stochastique.
- **T_{AEP}** : Taux de satisfaction en eau potable.
- **T_{AEI}** : Taux de satisfaction en eau industrielle.
- **T_{IRR}** : Taux de satisfaction d'irrigation.
- **T_{total}** : Taux de satisfaction total.
- **V_b** : Volume du barrage.
- **V_{evap}** : Evaporation du plan d'eau.
- **V_m** : Volume mort.
- **V_s** : Volume de sécurité.
- **V_u** : Volume utile.
- **V_{vid}** : Volume de vidange.

INTRODUCTION GENERALE

Les années de sécheresse qu'a récemment subies l'Algérie, ont souligné la nécessité de prendre en compte les risques futurs de pénurie dans la gestion de l'eau, d'une retenue de barrage, au moment de son attribution.

La gestion de cette ressource est une tâche difficile car en plus de sa rareté, celle-ci doit être allouée aux différents usagers suivant des critères objectifs.

Le but de l'exploitation d'un barrage est de déterminer les prélèvements à effectuer suivant les décisions de lâchers, afin de les concilier avec les objectifs fixés pour ce barrage.

Pour répondre à ces impératifs et faire face à une demande en eau de plus en plus croissante, les gestionnaires de la ressource hydrique ont élaboré des plans d'exploitation très fiables.

La recherche de ces plans nécessite la collaboration de plusieurs spécialistes notamment en hydrologie, hydraulique, recherche opérationnelle, économie, probabilité et statistique.

On utilise plus fréquemment des modèles mathématiques dans la recherche des plans d'exploitation d'une retenue de barrage. Ces modèles aident de façon significative à définir le problème, à sélectionner des politiques d'exploitation optimales et à les évaluer.

Les barrages d'Algérie sont exploités à des fins bien précises à savoir l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, l'industrie, la protection contre les crues et rarement pour la production d'hydroélectricité.

L'objet de ce mémoire est d'élaborer un modèle d'exploitation pour le barrage de Koudiet Acerdoune qui a pour finalité la satisfaction à long terme de besoins du barrage actuels et futurs exprimés par :

- L'alimentation en eau potable des 14 centres urbains et 29 centres annexes de 04 wilayas contiguës (Tizi Ouzou - Bouira - Médéa - M'sila) et ces industries.
- L'irrigation des périmètres de la Mitidja « Est » et du Bas Isser (19.000 ha).

Le modèle établi aura pour objectif de nous renseigner sur la situation actuelle et future de la satisfaction des besoins en eau, d'analyser le comportement du barrage et permettra enfin d'opter pour la solution la plus fiable au moment de la prise de décision.

Mais avant d'aboutir à cette solution, il est nécessaire de traiter un ensemble de questions relatives à l'élaboration du modèle de gestion.

Aussi, notre étude consiste en :

- Une recherche bibliographique sur les modèles de gestion des barrages ;
- Une présentation du cadre d'étude (Bassin versant de l'Oued Isser et barrage de Koudiet Acerdoune) ;
- Une collecte et mise en forme des données ;
- Une identification des besoins en eau des différents usagers ;
- Enfin, en une élaboration d'un modèle de gestion du barrage de Koudiet Acerdoune par le biais de la simulation et qui est l'objectif essentiel de ce travail.

Une conclusion générale mettra enfin l'accent sur l'intérêt de ce type de modèle.

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Etude bibliographique

I. Aperçu théorique sur la gestion

L'importance que jouent les réservoirs dans la gestion de la ressource en eau n'est plus à démontrer. Le rôle essentiel d'un barrage est de réguler en absorbant la variabilité des apports. Il ramène de l'eau prélevée dans une période où elle est abondante, sur une période où elle présente une plus grande valeur d'usage (Parent, 1991). Pour la régularisation d'un barrage, un bon dimensionnement est nécessaire ; cependant, il est impossible qu'un dimensionnement -aussi bon soit-il- régularise entièrement l'ouvrage.

Ainsi, la capacité du barrage ne lui permettant pas de mobiliser des volumes d'eau en quantité illimitée, nous devons trouver une règle de gestion qui réalisera à chaque instant un compromis entre les dommages éventuels provoqués par une défaillance et l'intérêt immédiat de satisfaction des objectifs pour lesquels le barrage a été construit.

1.1 Gestion des barrages-réservoirs

Un barrage réservoir peut être construit pour satisfaire un ou plusieurs objectifs. Ces derniers sont au nombre de sept ; à savoir : régulation des débits d'apports, desserte en eau d'irrigation, alimentation en eau potable, production d'énergie électrique, maintien d'un niveau écologique minimum, navigation et plaisance.

Tout projet de gestion implique deux grandes phases méthodologiques :

- La première relève d'une représentation du problème sous l'angle d'une modélisation du phénomène dont relève l'entité qu'on doit gérer.
- La seconde phase renvoie à un ensemble de recommandations ou d'actions visant à mettre en oeuvre une gestion de l'entité articulant au mieux les contraintes naturelles ou anthropiques.

Si ces deux étapes s'articulent entre elles de manière logique, il n'en reste pas moins qu'elles impliquent chacune des démarches de réflexion différentes. La description du système nécessite le plus souvent un point de vue systémique, non centré soit sur les valeurs et objectifs d'un acteur en particulier, soit sur une dimension ou une échelle particulière du phénomène lorsqu'il s'agit d'une composante naturelle (du point de vue hydrologique par exemple). Ce point de vue systémique permet de saisir toute la complexité du phénomène.

Cette complexité est structurelle, c'est-à-dire inhérente aux caractéristiques des éléments du système. Elle est également fonctionnelle, car émergeant d'interactions multiples entre les éléments du système.

Naturellement, cette volonté de d'écrire la complexité d'un phénomène de manière objective sans privilégier une dimension particulière dans son observation est limitée par une approche forcément dirigée par les intérêts et les capacités propres à l'observateur. Ces intérêts et capacités relativisent le caractère objectif de la description du système.

Etude bibliographique

1.2 Principes de gestion

Les barrages, par la création de lacs artificiels, permettent une gestion spatio-temporelle de l'eau.

- **Dans l'espace** : L'accès à l'eau peut se faire dans des régions qui en sont naturellement privées. C'est ce qui constitue le principe de fonctionnement d'un système de transfert.
- **Dans le temps** : On essaie de faire en sorte que l'eau soit disponible de manière régulière au fil des saisons. Autrement dit, on reporte l'utilisation de l'excès d'eau produit en saison humide à la saison sèche.

De là, on dégage le premier principe de la gestion : création de l'équilibre du système qu'on gère.

Aussi, On définit le pas de temps de la gestion ou du modèle de gestion en fonction de la capacité du barrage et du volume des apports (Fig I.1).

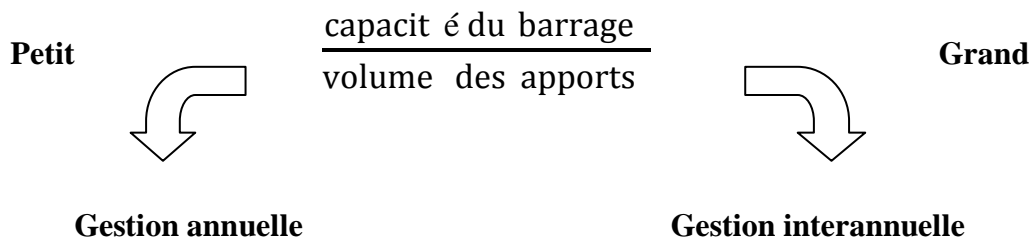


Figure I.1 - Définition de la période de gestion

L'incertitude plane toujours sur l'occurrence des pluies en début d'automne, ce qui impose que la gestion des grands barrages soit interannuelle. Il ne s'agit donc pas de vider le barrage en fin de période de gestion car il faut toujours s'assurer d'un stock minimal permettant un minimum de restitution d'eau.

1.2.1 Gestion du risque

Rappelons que la gestion d'un barrage se fait dans un avenir incertain, et que cette particularité fait qu'il y a des risques à prendre en considération. Or, gérer, c'est prévoir, et c'est aussi savoir prendre des risques ; cependant, il y a des limites. Effectivement, une part de l'incertitude est incontournable, c'est *l'aléa naturel*. Mais il faut agir avec beaucoup de prudence et adapter la gestion à cette incertitude. C'est l'objet des méthodes d'optimisation en avenir aléatoire, qui ont été introduites par Masse (1946) pour la gestion des barrages-réservoirs.

En outre, les incertitudes auxquelles nous sommes confrontés sont nombreuses et ont des conséquences directes sur le modèle de gestion. Elles sont généralement résumées comme suit:

Etude bibliographique

- **Incertitudes stratégiques** : Elles sont dûes aux erreurs commises lors de la définition des objectifs futurs et par suite, aux erreurs entachant la planification qui en résulte.
- **Incertitudes physiques** : Celles-ci sont dûes à la nature des paramètres hydrologiques manipulés par le gestionnaire. Heureusement, le traitement de ces paramètres hydrologiques par des outils statistiques aide à mieux cerner les incertitudes physiques.
- **Incertitudes technologiques** : Ces incertitudes sont dûes à l'information incomplète, parfois insuffisante pour l'élaboration d'un modèle de gestion, entachée d'erreurs ou complètement indisponible.

1.2.2 Consignes de gestion

Ces consignes sont liées à la fois à la sécurité de l'ouvrage de rétention et aux objectifs de gestion. Elles résultent du formalisme de règles empiriques par courbe objectif de remplissage comme nous le verrons par la suite.

Les consignes et règles de gestion se définissent en phase de planification et de conception et en période d'exploitation. Une stratégie de gestion se définit à partir de ces mêmes consignes comme suit :

- **Gestion du barrage en période d'étiage**

L'objectif consiste à maintenir un niveau amont objectif élevé dans la retenue. Les manœuvres de vannes consistent à augmenter ou diminuer l'ouverture, selon que le niveau tend à passer au dessus ou au dessous du niveau objectif.

Compte tenu de la faiblesse des apports pendant l'étiage, l'ouverture des vannes y reste très limitée. Ceci est contradictoire avec l'un des objectifs du barrage qui est : le soutien d'étiage.

C'est un débit lâché du barrage pour la préservation de l'environnement.

- **Gestion en période de crue**

L'objectif consiste à maintenir, le plus tard possible, le plan d'eau amont au niveau objectif d'étiage, avant de l'abaisser jusqu'à un niveau dépendant à la fois de la progression des côtes observées et de la capacité d'évacuation du barrage.

Si le niveau d'eau continue de monter à l'amont du barrage et qu'il menace d'atteindre un niveau critique, l'évacuation commence et augmente en fonction du débit à évacuer.

Lorsqu'on abaisse le niveau d'eau en dessous de ce niveau critique, l'évacuation diminue progressivement.

Etude bibliographique

1.3 Objectif de la gestion

Deux sortes de gestion existent, celles à but unique et à buts multiples.

- La gestion à but unique fait l'objet d'une attention plus particulière de satisfaire un seul objectif (exemple : la production hydroélectrique). La particularité de cet objectif par rapport aux autres usages de barrages est d'être parfaitement définie, 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.
- La constitution d'un barrage à buts multiples est un problème dont les degrés de libertés sont innombrables pour un gestionnaire, car l'ouvrage doit satisfaire plusieurs objectifs à la fois comme par exemple la gestion hydroélectrique, l'écrêtement des barrages déversoirs, l'irrigation, AEP, AEI....

La question qui se pose est : comment peut-on faire le choix entre l'allocation des ressources, or on ne jugera pas avec les mêmes critères d'évaluation l'utilité de satisfaction des usagers. Une formulation hiérarchique est nécessaire pour simplifier le problème (Fig I.2).

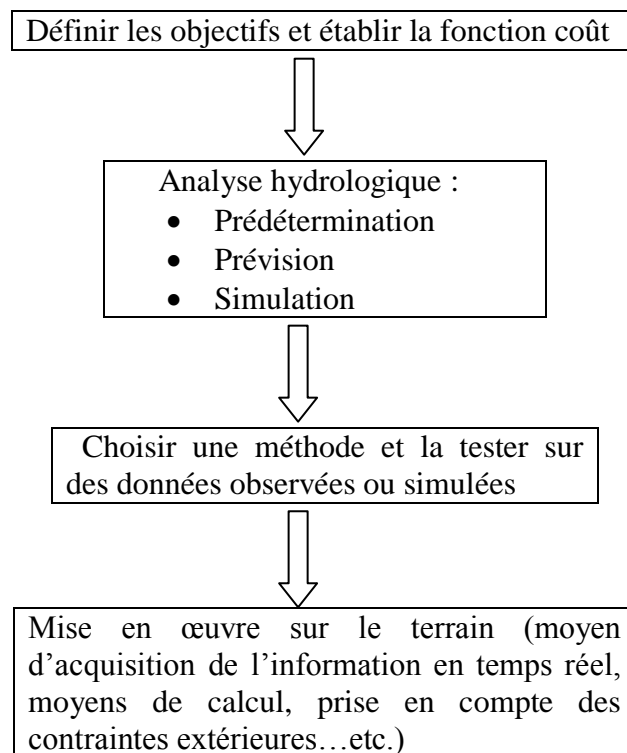


Figure I.2 - Organigramme de gestion des barrages réservoirs

Quelques règles de gestion doivent être prises en compte (Parent, 1990), à savoir :

- Règles empiriques ou recalage sur une courbe objectif ;
- Règles linéaires ;
- Règles paramétrées.

Etude bibliographique

- **Règles empiriques par courbes objectifs de remplissage**

Le gestionnaire observe de façon continue des niveaux dans le barrage et les rivières afin de juger de la situation actuelle et pour pouvoir définir les tranchés de fonctionnement du réservoir (Fig I.3), (Pabiot, 1999)

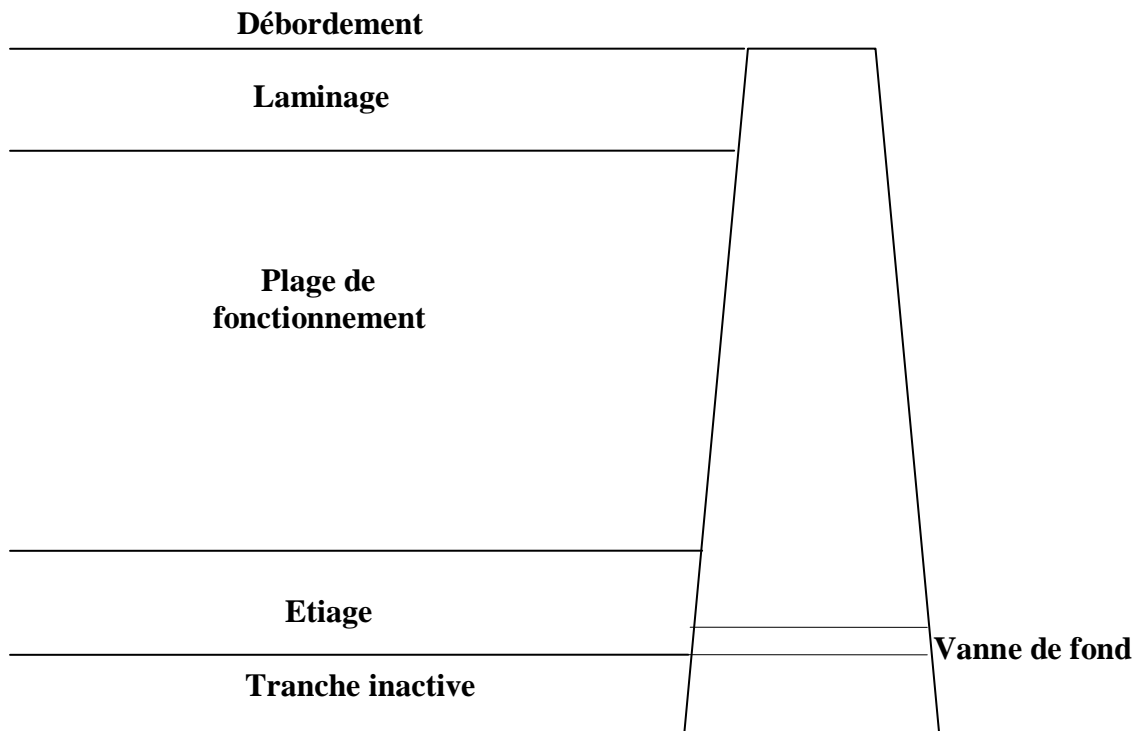


Figure I.3 - Tranche de fonctionnement du réservoir

- **Tranche de fonctionnement normal** où se situe l'état idéal du réservoir et qui permet une marge due aux aléas hydrologiques.
- **Tranche d'écêtement** qui permet de faire face à des crues. Au-delà de cette zone, il y a débordement.
- **Tranche d'étiage** où il faut réduire le plus sévèrement possible les lâchers,
- **Tranche inactive**, Volume mort.

L'épaisseur de la tranche de fonctionnement fluctue au cours de l'année, ce qui permet de modéliser des effets tampons plus faibles en périodes critiques (Fig I.4).

Etude bibliographique

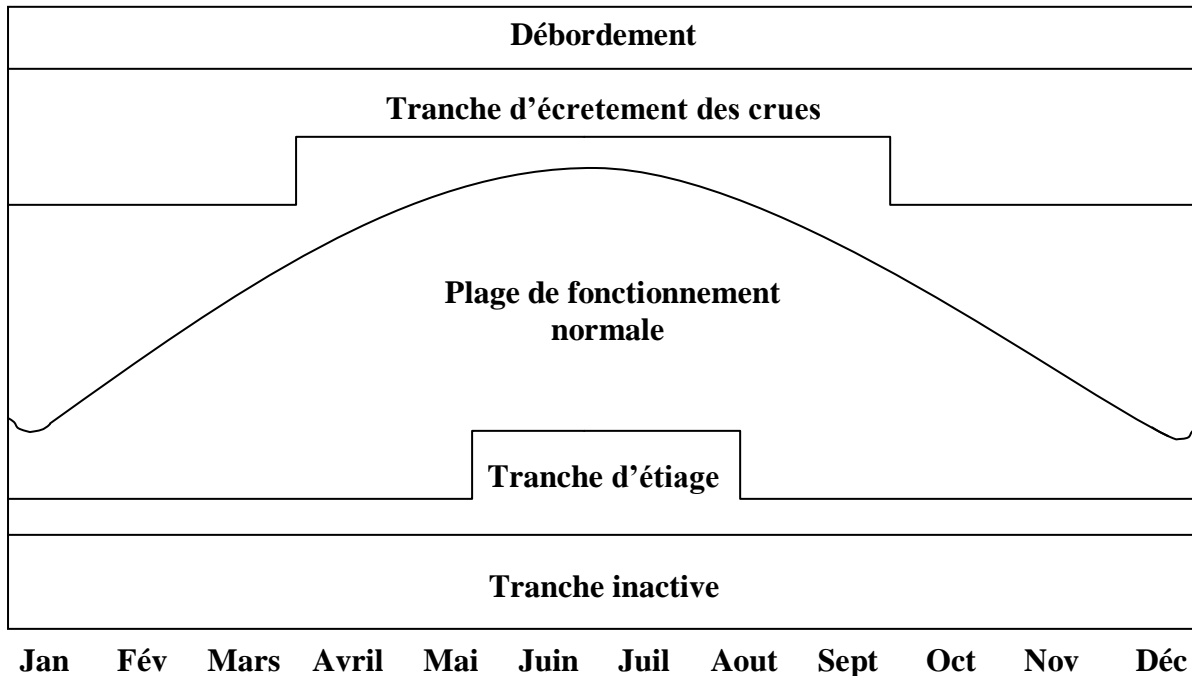


Figure I.4 - Variation des tranches de fonctionnement au cours de l'année (Coyne et Bellier 1984)

L'objectif du gestionnaire est donc de se rapprocher le plus possible de cette courbe de fonctionnement idéal pour éviter les défaillances et retomber sur les mêmes conditions initiales chaque année. L'expérience lui permettra de gérer son barrage, sauf bien entendu en période climatique exceptionnelle où il devra prendre des dispositions particulières.

La courbe « objectif » est en général calée par simulation.

- **Règles linéaires de gestion**

Une stratégie de gestion consiste à choisir un lâcher (L) fonction linéaire du stock dans le réservoir (V) et des apports (Ap) formulée en I.1.

$$L(t) = a + b.V(t) + c.Ap(t) \quad (I.1)$$

Où :

a, b et c représentent des constantes périodiques dans le cas de réservoir unique ou des matrices périodiques dans le cas d'un système multi-varié.

On peut déterminer sa stratégie en fonction de la position à l'instant t dans le plan (V, Ap) : (Fig I.5)

Etude bibliographique

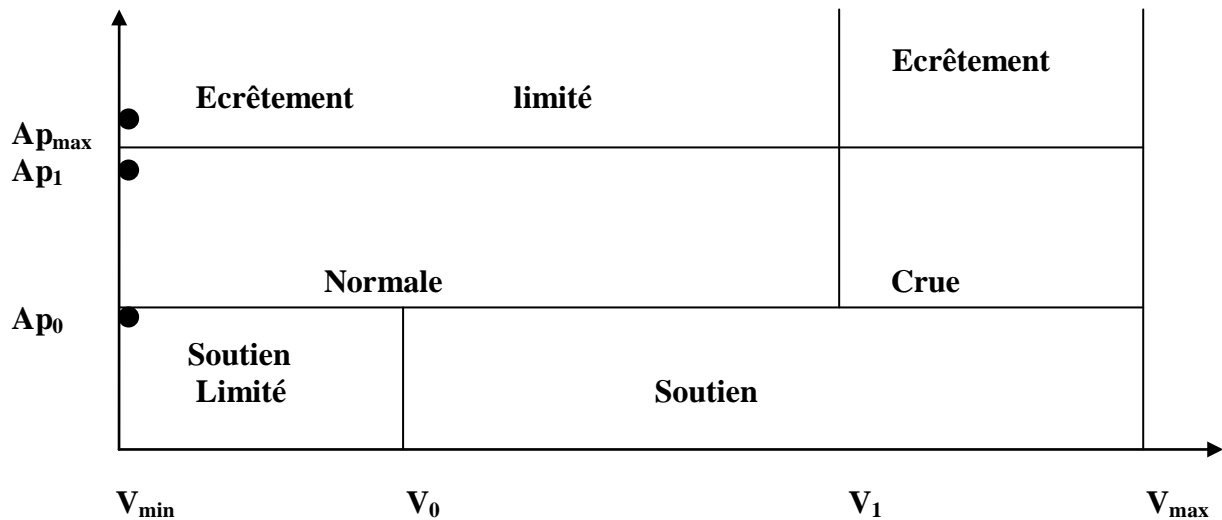


Figure I.5 - Stratégies placées dans le plan (V, Ap) (Revelle et al. 1969)

- **Stratégie normale** : on cherche alors à rejoindre le stock objectif en un faible nombre de pas de temps ;
- **Stratégie d'écrêtement** : l'apport est très élevé. on décide que $L(t) = Ap_i =$ lâcher normal ;
- **Stratégie d'écrêtement limité** : l'apport est très élevé mais le stock est déjà grand, il faut alors trouver un compromis entre l'écrêtement et le lâcher maximal :
 $L(t) = \alpha Ap_i + (1-\alpha) Ap_{max}$, Avec Ap_{max} , correspondant aux potentialités de lâchure maximale de la retenue ;
- **Stratégie de crue** : on cherche un compromis entre rejoindre le stock objectif en un faible nombre de pas de temps et une stratégie d'écrêtement ;
- **Stratégie de soutien** : apport faible mais stock suffisant. on décide $L(t) = Ap_0$;
- **Stratégie de soutien limité** : apport et stock faible. On décide alors d'un compromis entre une politique de soutien et une politique de restriction afin de retarder le moment où l'on arrivera à V_{min} , en espérant qu'il y ait des apports futurs.

- **Règles empiriques paramétrées de gestion**

Selon Lebdi et al. (1997), la règle qui traduit le comportement du gestionnaire de la ressource avec la logique suivante :

- Quand le niveau de stock est faible, le gestionnaire sera prudent pour augmenter ou diminuer l'allocation d'eau, selon un schéma par exemple linéaire.
- Pour un stock d'eau variant dans les limites moyennes, le gestionnaire restera encore prudent en apportant un pourcentage de la satisfaction en eau, espérant des apports futurs.
- Pour les stocks d'eau approchant la capacité maximale du barrage, le gestionnaire tend vers une satisfaction totale de la demande avec un souci d'écrêtement de crues. Le schéma est supposé linéaire est donné en Fig I.6.

Etude bibliographique

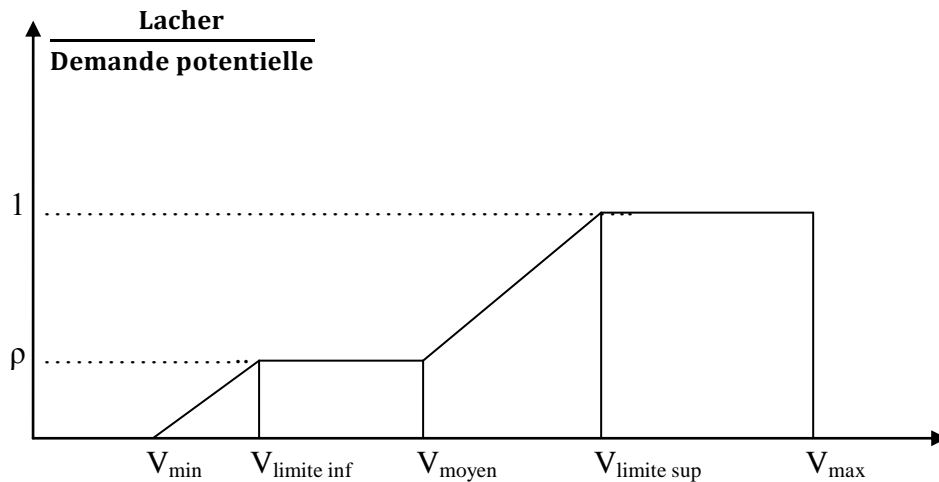


Figure I.6 - Règle de gestion empirique

Les paramètres de gestion (pente des droites et seuils de la fig I.6 sont déterminés par simulation et/ou reconstitution historique. Ils peuvent être estimés pour différents scénarios (ex : années humides, sèches).

II. Analyse statistique

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 systématique rendant l'échantillon hétérogène. Ainsi des tests paramétriques permettent de vérifier l'homogénéité ou non des séries étudiés.

Parmi ces tests citons : Test de Fisher-Snedecor, Student, Wald-Wolfowitz, Kendall, Wilcoxon et le test d'adéquation (Khi deux).

Soit une série complète divisée en deux échantillons de taille n_1 et n_2 . La date des séparations étant choisie a priori. Les deux échantillons sont classés par ordre croissant.

• Test de Fisher-Snedecor (1936)

Selon Fisher et Snedecor 1936, ce test permet de vérifier l'homogénéité des écarts types des deux échantillons.

Soit la variable f_{ab} qui suit la loi statistique de Fisher-Snedecor, définie par ses deux paramètres V_1 et V_2 par la relation I.2 :

$$V_1 = n_1 - 1 \text{ et } V_2 = n_2 - 1$$

Et

$$f_{ab} = \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \quad (\sigma_1 > \sigma_2) \quad \text{(I.2)}$$

Avec :

- n_1 : Nombre du 1^{er} échantillon ;
- n_2 : Nombre du 2^{em} échantillon ;
- σ_1 : Ecart type du 1^{er} échantillon ;
- σ_2 : Ecart type du 2^{em} échantillon ;
- V_1 et V_2 : Paramètre de la variable f_{ab}

Condition : $f_{ab} < F(V_1, V_2)$

Etude bibliographique

Pour confirmer l'hypothèse de l'homogénéité des échantillons, on détermine l'intervalle de confiance des écarts types.

- L'intervalle de confiance de l'écart type est donné par la relation I.3 :

$$\sigma - u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} \leq \sigma_x \leq \sigma + u_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} \quad (\text{I.3})$$

Pour un risque d'erreur $\alpha = 5\%$, nous avons $u_{1-\alpha/2} = 1.96$

- **Test de Student (1908)**

Selon Lachance 1996, ce test permet de vérifier l'homogénéité des moyennes des deux échantillons.

Soit la variable t_{ab} qui suit la loi statistique de Student de $(n_1 + n_2 - 2)$ degré de liberté. Elle est définie par la relation I.4 :

$$t_{ab} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{(n_1+n_2-2)}}} \quad \bar{x}_1 > \bar{x}_2 \quad (\text{I.4})$$

Où :

\bar{x}_1 : Moyenne arithmétique du 1^{er} échantillon ;

\bar{x}_2 : Moyenne arithmétique du 2^{em} échantillon.

Condition :

$$t_{ab} < t(n_1+n_2-2)$$

Ainsi pour confirmer l'hypothèse de l'homogénéité des échantillons, l'intervalle de confiance des écarts types est déterminé.

- L'intervalle confiance de la moyenne est donné par la relation I.5 :

$$\bar{x} - u_{1-\alpha/2} \frac{\bar{x}}{\sqrt{n}} \leq \bar{x}_x \leq \bar{x} + u_{1-\alpha/2} \frac{\bar{x}}{\sqrt{n}} \quad (\text{I.5})$$

Où :

\bar{x} : Moyenne arithmétique de la série.

- **Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz, 1943)**

Ce test décrit par Bobée et *al.* 1978, soit un échantillon de taille N, $(x_i, i = 1, 2, \dots, n)$ le test de Wald-Wolfowitz considère la relation I.6 :

Où :

X_i : Élément d'échantillon.

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} X_i \cdot X_{i+1} + X_1 \cdot X_n \quad (\text{I.6})$$

Supposons que R suit une loi normale de moyenne \bar{R} et de variance (R) dont leurs expressions sont :

$$\bar{R} = (S_1^2 - S_2)/n-1$$

Et de variance :

$$\text{Var}(R) = \frac{S_2^2 - S_4}{n-1} + \frac{S_1^4 - 4S_1^2 S_2 + 4S_1 S_3 + S_2^2 - 2S_4}{(n-1)(n-2)} - \bar{R}^2 \quad (\text{I.7})$$

Avec : $S_r = \sum_{i=1}^n X_i^r$

Etude bibliographique

On calcule la statistique $u = \frac{R - \bar{R}}{\sqrt{\text{Var}(R)}}$ qui suit une loi normale $N(0;1)$ et on teste l'hypothèse d'indépendance en comparant $u_{\alpha/2}$ avec la valeur normale standard à la probabilité de dépassement de $\alpha/2$.

- **Test de stationnarité (Kendall, 1983)**

Ce test est décrit par Kendall et al. 1983. Un échantillon est stationnaire, si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance, ...) sont invariants dans le temps.

Non-stationnarité, s'il y a un changement (brusque ou graduel) dans la moyenne.

- Changement brusque, si date du saut est connue : test de Wilcoxon ;
- Si date de changement brusque est inconnue ou si l'on a un changement graduel : test de Kendall.

Pour un échantillon classé par ordre chronologique x_1, \dots, x_N .
On calcule la statistique S par la relation I.8 :

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (j > i) \quad \text{(I.8)}$$

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x > 0 \text{ concordance avec les rangs} \\ 0 & \text{si } x = 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \text{ discordance avec les rangs} \end{cases}$$

- **Test de stationnarité et d'homogénéité (Wilcoxon, 1945)**

Ce test est décrit par Wilcoxon, (1945), soit un série d'observation de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons x et y

$$N_1 + N_2 = N \quad \text{et} \quad N_1 < N_2$$

On classé en suite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite nous ne nous intéressons qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série, si une valeur de répète plusieurs fois, on lui aussi le rang moyen correspondant. On calcul la somme (W_X) de rang des éléments du premier échantillon dans le série, relation I.9 :

$$W_X = \sum \text{Rang } X \quad \text{(I.9)}$$

Wilcoxon a démontré que dans le cas où les deux échantillons x et y constituant une série homogène la quantité (W_X) est comprise entre deux bornes (W_{\max}) et (W_{\min}) donnés par la formule I.10 et I.11 :

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) \cdot (N_1 - 1)}{2} - u_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad \text{(I.10)}$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1) \cdot N_1 - W_{\min} \quad \text{(I.11)}$$

$u_{1-\alpha/2}$ Représente la valeur de la variable centrée résulte de la loi normale correspondant à (au seuil de confiance de 95 %, nous avons 1.96).

Etude bibliographique

- **Test d'adéquation Khi deux (Chi-square Test, Goodman et Kruskal (1954))**

Ce test unilatéral est décrit par Conover, 1980, pour mettre en place ce test :

- Découper l'échantillon de n éléments en K classes ($K > 4$ éléments), de manière à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 éléments.
- Calcul de χ^2 calculé (observé).
- Calcul du nombre de degrés de liberté $\gamma = K - 1 - m$ (nombre de paramètres de la loi normale = 2),
- Poser les hypothèses H_0 et H_1

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Log normale (par exemple) au seuil de signification 5% ou 10%.

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Log normale (par exemple) au seuil de signification 5% ou 10%.

- Déterminer χ^2 théorique à partir de la table, si χ^2 calculé $>$ χ^2 théoriques à 5% ou 10% (qui sont les valeurs critiques au seuil de signification),

Alors les fréquences observées diffèrent significativement de la fréquence théorique (on rejette l'hypothèse H_1 et on accepte H_0).

- **Critère de validation (critère de Nash)**

Le critère de validation utilisé est le critère de Nash (Nash et al., (1970))

Il est défini par la relation I.12 :

$$\text{Nash} = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \right] * 100 \quad (\text{I.12})$$

Où :

Q_i : Valeurs des données observées ;

Q'_i : Valeurs prévues par le modèle ;

\bar{Q} : Moyenne des données observées.

Le critère de Nash peut prendre des valeurs de $-\alpha$ à 100 %. Dans le cas général une « bonne » ou une « mauvaise » valeur du critère de Nash sont définies dans le tableau I.1

Tableau I.1 - Critère de Nash et qualité (Kachroo, 1986)

<i>Critère (%)</i>	<i>Qualité</i>
Nash < 60	Mauvais
$60 \leq \text{Nash} < 80$	Bon
$80 \leq \text{Nash} < 90$	Très bon
Nash ≥ 90	Excellent

Etude bibliographique

III. Exploitation et gestion par modélisation

Dans cette partie, on va présenter les principales méthodes utilisées pour déterminer une politique d'exploitation d'un système hydrique avec une gestion par modélisation.

3.1 Système dynamique déterministe et stochastique

La gestion rationnelle d'un système peut être supportée par des outils d'aide à la décision.

Le système peut alors être représenté d'un pas de temps à un autre, selon deux évolutions : **l'évolution déterministe** utilise des données d'entrées connues à priori tandis que **l'évolution stochastique** utilise des données d'entrées définies par un aléa. La réalité hydrologique impose toujours une évolution stochastique du système.

En outre, la formulation d'un modèle, se définit par :

- **Les états du système** : correspondant aux niveaux d'eau dans la retenue, au niveau de l'apport, de l'évaporation et des pertes dans la retenue.
- **Les commandes**, sont des variables sur lesquelles le gestionnaire peut agir, comme les lâchers.
- **La fonction d'évolution** du système qui dépend du temps en plus des deux paramètres précédents, elle est présentée par la relation I.13 :

$$V(t+1) = V(t) + Ap(t) - Vev(t) - L(t) - Vd(t) \quad \text{(I.13)}$$

Avec :

- V(t) : volume de la retenue à l'instant t ;
- Ap(t) : apport à la retenue à l'instant t ;
- Vev(t) : évaporation de la retenue à l'instant t ;
- L(t) : lâcher à l'instant t ;
- Vd(t) : déverse à l'instant t.

Il est à noter que, cette fonction d'évolution peut être plus complète en ajoutant d'autres termes telles que les infiltrations, les écoulements inféroflux..etc et que le système de dynamique peut être qualifié dans la mesure où ses états sur des pas de temps successifs sont étudiées.

- Contraintes du système

Elles peuvent être d'ordre physique (capacités de transfert et de stockage limitées) ou d'ordre institutionnel (seuil minimum dans les pays arides et semi-aride pour garantir un niveau écologique).

- Fonction « objectif »

Celle-ci permet d'évaluer les performances d'un système en termes de défaillances ou de gains, comme par exemple de minimiser sur la période de gestion, la somme des carrés des écarts entre les lâchers et les demandes en eau.

Etude bibliographique

3.1.1 Modèle déterministe de gestion d'un barrage

Par définition, toutes les **variables d'entrée** pour chaque pas de temps (**Ap(t) et Vev(t)**) sont **connues** dans le cas d'un modèle déterministe, de ce fait les différents niveaux d'eau ne dépendent que des décisions de lâchers.

« Compte tenu des problèmes de conditions aux limites (réservoir vide et déverse), il est difficile de définir analytiquement la fonction décrivant l'évolution du système (Howard, 1969) ». Il faut donc trouver les relations entre la fonction d'évolution et ses contraintes pour pouvoir ensuite estimer chaque état du système.

Prenons l'exemple où :

- la fonction d'évolution s'écrit :

$$V(t + 1) = V(t) + Ap(t) - Vev(t) - L(t) - Vd(t) \quad \text{(I.14)}$$

- les contraintes sont :

$$V(t+1) > 0 \text{ et } V(t+1) < V_{\max}, \text{ sinon il y a déverse et } Vd = V(t+1) - V_{\max} \quad \text{(I.15)}$$

Les contraintes donnent les conditions aux limites suivantes :

$$\begin{aligned} V &\in [0, V_{\max}] \\ L &\in [0, V(t) + Ap(t) - Vev(t) - Vd(t)] \\ Vd(t) &= \text{Sup} (0, V(t+1) - V_{\max}) \\ V(t + 1) &= \text{Inf} (V_{\max}, V(t) + Ap(t) - Vev(t)) \end{aligned} \quad \text{(I.16)}$$

Ainsi, la fonction d'évolution est vraie si les conditions aux limites sont respectées.

La fonction « objectif » n'intervient qu'après l'évolution du système pour juger de la pertinence de la décision de lâcher.

Cette fonction doit exprimer de la qualité du résultat par rapport aux objectifs. Par exemple, pour illustrer la satisfaction de la demande en eau elle pourra s'écrire comme le rapport de la fourniture sur la demande, soit le rendement.

3.1.2 Modèle stochastique de gestion d'un barrage

Dans ce cas, les **apports ne sont plus connus** pour chaque pas de temps. Pour une décision de lâcher, la fonction d'évolution donnera plusieurs résultats possibles selon l'apport considéré.

La probabilité d'avoir le volume d'eau V à $(t+1)$ est égal à la probabilité conditionnelle d'avoir l'apport $Ap(t)$ sachant que la fonction donnant l'évolution du système est réalisable.

Ainsi, pour un niveau initial, le système évoluera vers au plus "n" états finaux; "n" étant le nombre d'apports possibles.

Il est donc nécessaire que l'ensemble des apports soit discrétisé en un nombre fini de valeurs.

En parallèle, le réservoir est aussi discrétisé, ce qui permet d'envisager des lâchers d'eau par unités de discrétisation (Fig I.7).

Etude bibliographique

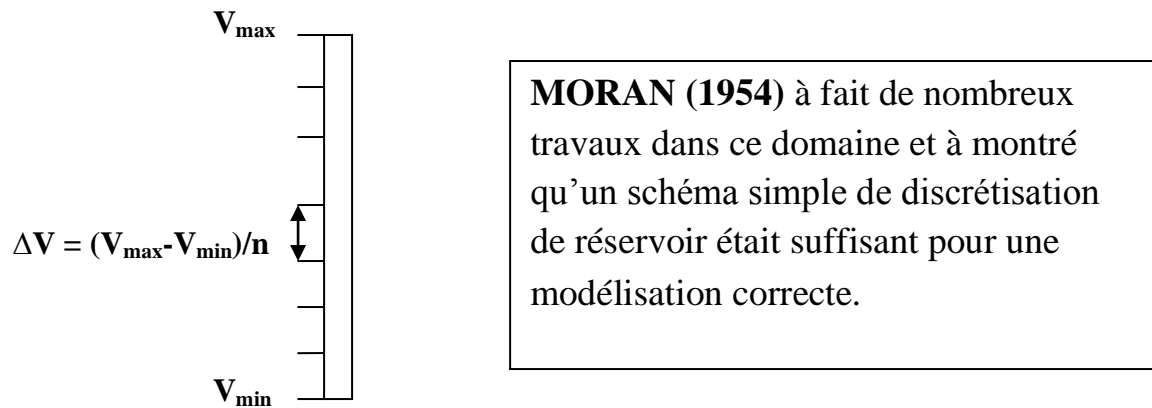


Figure I.7 - Discrétisation des réservoirs par Moran

Le problème serait de déterminer les apports potentiels à chaque pas de temps, soit deux cas possibles :

- **Les apports sont indépendants les uns des autres** : il est possible de trouver une *variable aléatoire* permettant de déterminer la probabilité d'apparition d'un apport. On raisonne alors d'après l'espérance mathématique de l'apport et non plus uniquement d'après l'apport. Cette loi de probabilité permet de définir une loi de probabilité sur l'état du système à l'instant $t+1$. Si la série hydrologique est longue, on peut approcher a priori la probabilité d'occurrence de l'apport par sa probabilité empirique.
- **Les apports ne sont pas indépendants** : Les aléas dépendent alors de l'historique du processus. Il faut donc connaître l'évolution du niveau n entre 1 et t , et des apports entre 1 et $(t-1)$.

Savarenskiy (1940) a assimilé le problème d'apports-réservoir-lâchers à une file d'attente :

- le réservoir est un guichet ou la distribution des apports peut être approché du taux d'arrivée, tandis que la répartition des lâchers peut être assimilée au taux de clients-afin d'assimiler le réservoir à un système Markovien.

Le concept de la chaîne de Markov permet d'estimer la probabilité d'obtenir certains apports à $(t+1)$ à partir de la fonction de distribution de probabilité qui dépend uniquement de la valeur d'apport à t . En d'autres termes, si on connaît l'histoire du système jusqu'à l'instant actuel, son état présent résume toute l'information utile pour connaître son comportement future (relation I.17).

$$\text{Prob} [\text{Ap}(t) / \text{Ap}(t-1), \dots, \text{Ap}(0)] = \text{Prob} [\text{Ap}(t) / \text{Ap}(t-1)] \quad (\text{I.17})$$

Le lien d'un pas de temps à un autre est exprimé par la **matrice de transition** contenant toutes les informations concernant l'évolution du système (stocks, lâchers, apports). La probabilité pour que les apports à $(t+1)$ soient $\text{Ap}_j(t+1)$ sachant que les apports à (t) est $\text{Ap}_i(t)$, est :

$$\text{Ap}_j(t+1) = \text{Ap}_i(t) \times P_{i,j} \quad (\text{I.18})$$

Avec :

$P_{i,j}$ probabilité de transition d'un apport Ap_i à un apport Ap_j

Etude bibliographique

3.2 Principes d'optimisation et algorithmes correspondants

Des modèles mathématiques peuvent être classés suivant la technique employée pour leur résolution. On reconnaît l'existence de deux approches principales, à savoir la **simulation** et l'**optimisation**. Un modèle de simulation permet de juger du choix d'une combinaison quelconque de **paramètres**. Il ne donne pas directement la décision qui améliorera la performance du système. C'est plutôt un modèle "cause - effet", qui par son exploitation successive, permet d'identifier la meilleure solution du problème original (Pascal, 1985).

Dans un modèle d'**optimisation**, il s'agit de rechercher directement les **valeurs des variables** telle que le critère de performance choisi (où fonction « objectif ») prenne sa valeur optimal tout en respectant d'éventuelles contraintes. La simulation servira alors d'outil de mesure de performances de la règle trouvée par optimisation.

3.2.1 Optimisation - par programmation linéaire (Linear programming LP)

La condition d'application d'une telle optimisation est que la fonction d'évolution soit linéaire, c'est à dire, les paramètres ainsi que la décision de lâcher étant choisis, il existe un seul état d'évolution du système :

$$\mathbf{V}(t+1) = \mathbf{V}(t) + \mathbf{A}p(t) - \mathbf{V}ev(t) - \mathbf{L}(t) - \mathbf{V}d(t) \quad (\text{I.19})$$

Avec par exemple :

$$\mathbf{L}(t) = \mathbf{a} + \mathbf{bV}(t) + \mathbf{cAp}(t) \text{ (voir règle de gestion linéaire (I.18)).}$$

Une résolution graphique est possible pour les fonctions à deux variables. Lorsque les systèmes sont plus compliqués, l'algorithme du simplexe permet leur résolution (Dantzig, 1982).

Dans un premier temps, il s'agit de définir une fonction « objectif » (linéaire) qui traduit les désirs de gestion sous la forme d'une équation mathématique. Il s'agit, en fait, de choisir un critère de performance pour juger de la pertinence du passage d'un pas de temps à un autre selon la décision prise.

La minimisation ou la maximisation de ce critère permettra de prendre les décisions optima par rapport aux objectifs fixés.

- *Exemple*

Le gestionnaire désire avoir un niveau d'eau dans la retenue le plus proche possible d'un niveau objectif, on pourra définir une fonction du type « minimiser les écarts par rapport à ce niveau de consigne » (équation I.20) :

$$\text{Min } [(\mathbf{V}(t) - \mathbf{V}_{\text{objectif}}(t))^2] = \text{critère d'optimisation} \quad (\text{I.20})$$

Ce critère d'optimisation sera donc calculé pour chaque décision de lâchers possibles, et le lâcher optimum retenu correspondra au minimum de la valeur des critères calculés.

Malheureusement, la programmation linéaire a pour principal défaut le fait de ne pas pouvoir exprimer et représenter le problème correctement par des fonctions linéaires. Des extensions de cette méthode ont alors été trouvées, telles que la programmation linéaire en nombre entier (Integer Linear Programming, ILP), ou mixte (Mixed ILP, MILP).

Etude bibliographique

De nombreux auteurs ont utilisé cette technique d'optimisation dans le cadre de l'exploitation de systèmes d'aménagements hydroélectriques à accumulation, à l'exemple du modèle SISOPT au Brésil (Barros et al., 2003). Ce modèle utilise la LP (Linear programming) pour la génération d'une bonne solution initiale avant de formuler le problème de manière non linéaire dans la région choisie. Cette combinaison n'est pas nouvelle (Yeh et al., 1979) et possède toujours de nombreux adeptes (Westphal et al., 2003).

La rapidité de l'optimisation par la LP la rend aussi intéressante en phase de planification (Barros et al., 2003) et pour l'analyse de variantes.

Il est important de dire que généralement, la résolution du problème par LP se fait de manière déterministe, c'est-à-dire que l'on considère les données d'entrées comme étant fiables. Par conséquent, l'incertitude est négligée. Or, l'aléa avec lequel l'apport en eau dans la gestion des réservoirs est à prendre en considération, et ce, en incluant une composante stochastique dans les modèles afin de déterminer la solution optimale au sens probabiliste du terme, celle dont la fonction objectif aura **l'espérance** la plus élevée.

Des balbutiements proposant un modèle théorique d'un réservoir dont l'apport était un processus Markovien (Manne, 1962) aux modèles plus élaborés de LP **stochastique récurive** où *Chance-Constrained LP* (ReVelle et al., 1969), ces méthodes utilisent en général des règles d'exploitation rigides des réservoirs optimisées pour le long terme appelées *Linear Decision Rules* (Yeh, 1985).

Certains auteurs en ont profité pour traiter l'incertitude par la logique floue (que l'on décrira plus loin) (Zadeh, 1965). Dans ce domaine, Jairaj and Vedula (2003) ont utilisé la LP pour définir les bornes de la fonction d'appartenance, elles-mêmes à nouveau introduites dans le problème LP, tandis que Kumar et al. (2001) ont introduit la logique floue pour définir la fonction « objectif ».

Dans le domaine, la LP est fréquemment utilisée en raison de son efficacité, ainsi que sa rapidité pour les problèmes à grande échelle. Aussi, elle permet de déterminer l'optimum global et ne nécessite pas de solution initiale. En revanche, elle n'est appliquée que pour les planifications à long terme. Or, dans certains cas de gestion de réservoir, nous avons besoin de réduire le pas de temps, allant même jusqu'au mensuel, voire l'hebdomadaire. En outre, la nécessité de simplifier le système et de linéariser la fonction « objectif » et les contraintes constituent l'un des points noirs les plus importants de la méthode.

3.2.2 Optimisation - Programmation non linéaire (non-linear programming - NLP)

Cette méthode a été formulée afin d'avoir une meilleure formulation du problème et ce, en évitant les trop grandes simplifications (comme dans le cas de la LP). Il en découle toutefois que le fait de ne pas formuler le système par des fonctions linéaires rend le problème difficile à optimiser.

Ainsi, la convergence est plus lente en comparaison avec la LP, et on ne peut avoir la certitude de trouver l'optimum recherché, dans le cas où la fonction n'est pas convexe. Cela dit, nous pouvons avoir une bonne précision lors du calcul d'optimum local.

Etude bibliographique

La **programmation quadratique** (Successive Quadratic Programming - SQP) exploite la propriété de certains algorithmes de mieux approcher les problèmes non-linéaires que les linéaires, mais elle nécessite que les contraintes restent linéaires. Cette méthode plus complexe peut se révéler efficace pour l'optimisation de sous-problèmes (Barros et al., 2003), mais devient difficilement utilisable pour une approche stochastique (ou certaines contraintes dépendent de variables aléatoires). De plus, le temps de calcul en SQP augmente de manière exponentielle avec le nombre de pas de temps (Tejada-Guibert et al., 1990).

En outre, il est possible de résoudre des problèmes d'optimisation non-linéaires par une approximation linéaire d'une partie de la fonction non-linéaire (linéarisation) en ne retenant que le terme de premier ordre aux alentours d'un point connu. Ou alors, passer par la génération d'un nouveau problème LP à chaque itération, mais dans un domaine limité (Barros et al., 2003). Cette méthode est devenue populaire, car de nombreux codes LP existent et peuvent être utilisés. De plus, elle converge environ dix fois plus rapidement que les méthodes NLP (Hiew, 1987), mais pas forcément vers l'optimum global (Bazarrá et al., 1993).

3.2.3 Optimisation - Programmation dynamique (dynamic programming)

Elle utilise la propriété qu'une solution optimale se compose nécessairement de sous-solutions optimales (le contraire n'est pas vrai en général). Elle est utilisable lorsque la fonction « objectif » est une somme de fonctions monotones croissantes dont les arguments sont des inconnues distinctes. Nous pouvons utiliser la DP pour déterminer l'opération optimale d'un réservoir en temps réel.

D'ailleurs, Yeh et al. (1979) s'en sont servi pour optimiser un système de plusieurs réservoirs à pas de temps horaire et 24 h en avance pour la production hydroélectrique, tandis que Karamouz et al. (2005) l'ont utilisé pour le choix des débits mensuels d'irrigation, d'eau potable, et de production d'électricité. Une autre manière permet le calcul des opérations optimales pour l'établissement de règles d'exploitation rigides.

De cette manière, Cancelliere et al. (2005) utilisent la DP pour le calcul des débits mensuels optimaux pour l'irrigation en fonction du débit entrant et de la demande. Ces lâchers d'eau optimaux sont ensuite exploités pour le développement d'un système de type *neuro-fuzzy*, combinaison entre réseaux de neurones et logique floue. D'autres auteurs ont utilisé la DP de la sorte, tels Rao et al. (2001) pour des objectifs d'irrigation et de protection contre les crues à pas de temps mensuel, Russel and Campbell (1996) pour la production hydroélectrique mensuelle, Stam et al. (1998) pour la production hydroélectrique mensuelle et la protection contre les crues jusqu'à une année en avance, et Lobbrecht et al. (2005) pour la gestion du remplissage de polders à très court terme (6 pas de 15 min en avance).

- **Programmation dynamique déterministe**

Pour le cas déterministe, la séquence des apports naturels A_t ainsi que la demande en eau sont supposées connues. Cette hypothèse simplifie considérablement le problème, la solution n'est optimale que pour la séquence utilisée et les apports réels peuvent s'en écarter d'une manière significative.

Etude bibliographique

• Programmation dynamique stochastique (PDS)

L'événement incertain pris en compte est l'apport au réservoir. Pour une décision de lâchers et des paramètres fixés, il existe maintenant plusieurs évolutions du système.

Variable d'entrée \longrightarrow **Fonction de transfert** \longrightarrow Variables de sortie

1- Choix d'une fonction « objectif »

Comme dans toute sorte de gestion, la fonction « objectif » doit représenter de manière mathématique les attentes du gestionnaire. Son choix reste délicate, car elle est le centre de la gestion et exclue tout autre caractère qu'elle n'explique pas.

L'optimisation d'un système dépend de ses objectifs. Pratiquement, les objectifs de la gestion d'un barrage sont multiples ; la satisfaction de la demande en eau et soutenir les étiages, Pour cela, le critère d'optimisation suivant, avec $C(t)$ comme fonction objective est empruntée à (Lebdi, 2002).

- minimiser la non satisfaction des usagers et le déficit du remplissage :

$$C^{(t)} = \underbrace{\alpha \left[\sum_{j=1}^M P_1 * \left(\frac{V^{(t+1)} - V_{\text{consigne}}}{V_{\text{max}}} \right)^2 \right]}_{\text{Critère fonction des apports}} + \underbrace{(1 - \alpha) \left(\frac{L^t - D^t}{D_{\text{max}}} \right)^2}_{\text{Critère déterministe}} \quad (\text{I.21})$$

Avec :

α : paramètre de gestion ou pénalité

V_{consigne} : stock d'eau minimum à garder dans la retenue

V_{max} : volume au déversement

L : lâcher d'eau

D_{max} : demande en eau maximale sur la période d'étude.

En dessous, il faut faire attention aux lâchers, où nous pouvons satisfaire uniquement qu'une partie de la demande. En gestion interannuelle d'un grand barrage, il est souvent conseillé de prendre ce stock égal à la médiane des apports annuels, sachant que la moyenne ne caractérise pas convenablement la répartition des apports.

-J : classes d'apports parmi les M classes possibles.

2- Le processus markovien dans le cas de la gestion des barrages

Si nous sommes dans un cas où les apports sont indépendants les uns des autres, le concept de la chaîne de Markov permet d'estimer la probabilité d'obtenir certains apports à $(t+1)$ à partir de la fonction de distribution de probabilité qui dépend uniquement de la valeur d'apport à t (Lebdi, 2007). Le passage d'un niveau à l'autre se fait selon une matrice de probabilités (relation I.22), comme c'est le cas des barrages en semi-aride :

$$\text{Prob} \{A_p(t) / A_p(t-1), \dots, A_p(0)\} = \text{Prob} \{A_p(t) / A_p(t-1)\} \quad (\text{I.22})$$

Etude bibliographique

C'est-à-dire la connaissance de l'historique du système jusqu'à l'instant actuel, son état présent résume toute l'information utile pour connaître son comportement futur (Pabiot, 1999). Le passage d'un pas de temps à un autre se fait selon une matrice de probabilités est exprimé par une matrice de transition contenant toutes les informations concernant l'évolution du système.

La probabilité pour que les apports à (t+1) soient $A_{p_j}(t+1)$ sachant que les apports à (t) étaient $A_{p_i}(t)$, est :

$$A_{p_j}(t+1) = A_{p_i}(t) \times P_{ij} \quad (\text{I.23})$$

- P_{ij} probabilité de transition d'un apport A_{p_i} à un apport A_{p_j}

Avec :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N P_{ij} &= 1 \\ 0 &\leq P_{ij} \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{I.24})$$

3- Relation fondamentale de l'optimisation par la programmation dynamique stochastique (PDS)

Le processus d'optimisation par PDS est basé sur une **équation réursive** (backward) permettant d'optimiser le critère de performance en tenant compte des aléas des apports. On la qualifie de "réursive" car l'itération se fait par **temps décompté**. Cette relation est aussi appelée **équation de Bellman-Masse** à qui l'on doit les premiers travaux en 1957 (Fig I.8).

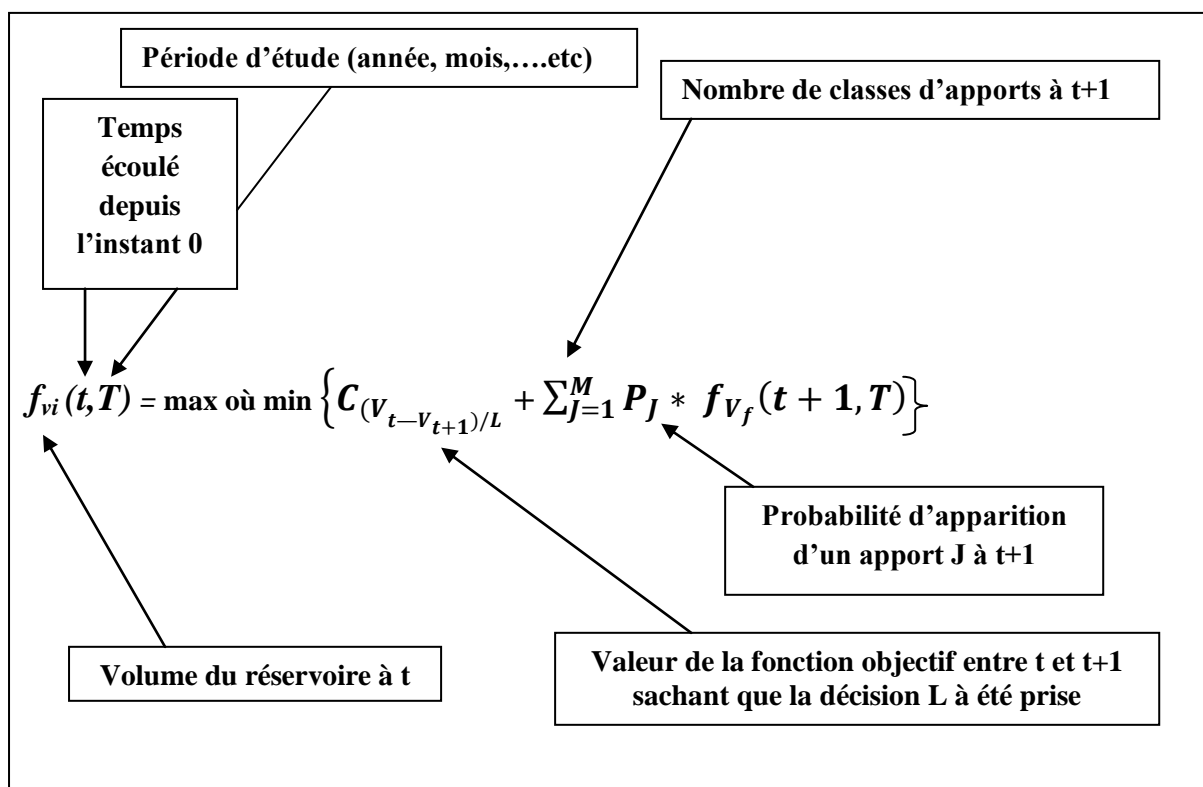


Figure I.8 - Equation de Bellman-Massé (1957)

Etude bibliographique

Cette méthode est basée sur des "coûts" déduits du critère d'optimisation, à savoir :

- $C(V_t - V_{t+1})/L$ correspond au coût de transition entre l'état du stock V_t initial et V_{t+1} final.
- $fvf(t+1, T)$ correspond au coût des transitions pour les pas de temps à venir (en fonctionnant en pas de temps décroissant, on commence par calculer les coûts ultérieurs). Pour tenir compte de l'aléa des apports, on choisit encore une fois l'espérance mathématique.

La valeur de **Bellman-Massé** à un instant donné permet d'enduire sa valeur au pas de temps précédent ainsi que le meilleur lâcher correspondant. La prise en compte d'un apport aléatoire relève d'une gestion en avenir incertain. Pour contourner ce biais, on utilise l'espérance mathématique des apports. De plus cette méthode raisonne en temps décroissant ce qui permet de faire une gestion fonction du futur. En revanche, et contrairement aux méthodes déterministes, cette méthode est appliquée de telle sorte qu'elle ne tient pas compte des événements passés.

4- Exemple d'algorithme d'optimisation par PDS : processus Décision-Hasard

On parle de décision - hasard car la décision de « lâcher » est prise avant la réalisation de l'aléa apport. Ainsi, un état intermédiaire du système est introduit. Il correspond à son évolution suite à la décision de lâchers, sans avoir fait intervenir les apports (Fig I.9).

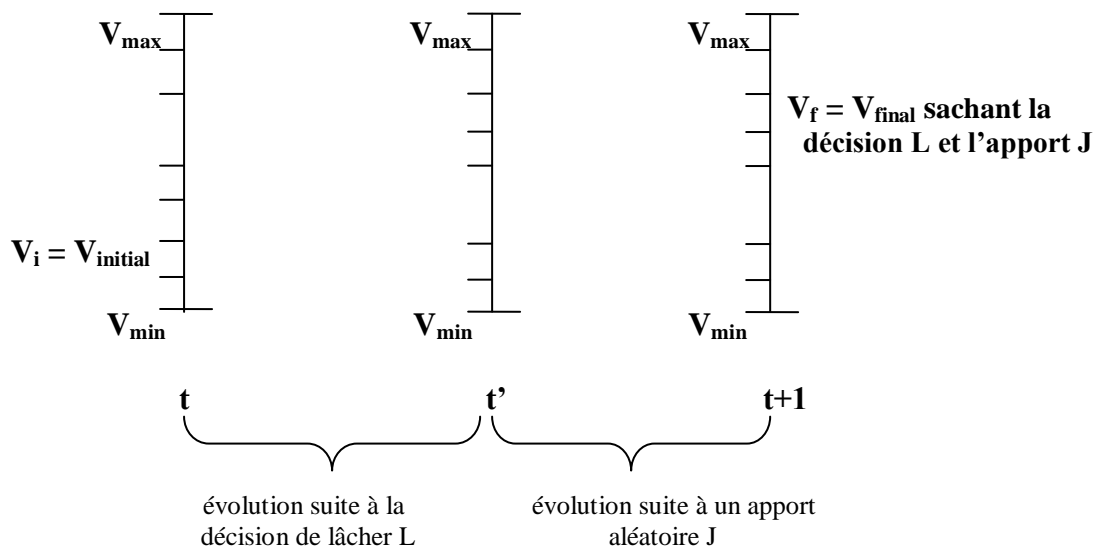


Figure I.9 - Evolution décision – hasard

▪ Hypothèses

- L'optimisation se fait entre t et $t+1$;
- Le stock est discrétisé en n niveaux ;
- Il existe trois valeurs d'apports probables: A_1, A_2, A_3 indépendants et ayant respectivement une probabilité d'apparition de P_1, P_2, P_3 ;
- On suppose dans un premier temps $V_1 = V_3$, il y aura donc trois possibilités de lâchers :
 $L_1 = 0$ (ne rien lâcher), $L_2 = V_3 - V_2$ et $L_3 = V_3$ (tout lâcher).

Etude bibliographique

5- Simulation : Analyse des règles optimisées par des indices de performance

L'optimisation est un outil mathématique d'aide à la décision, qui donne la meilleure gestion à réaliser face à des situations particulières. Elle donne simplement la règle de décision optimale par rapport à un critère choisi et par rapport aux probabilités d'occurrence des apports. Il s'agira par la suite de confronter les règles trouvées à la réalité en simulant le fonctionnement par des données réelles.

L'introduction **d'indices de performance** permet de juger de la qualité de la règle de gestion lors de la simulation des règles déjà optimisées.

En outre, ces indices doivent **traduire les incidents** qu'il y a eu lors de la simulation de la règle de gestion. Les incidents peuvent être de différentes natures ; nous pouvons par exemple citer la **défaillance du stock, la demande non satisfaite ou le déversement important ou fréquent**.

Il existe de nombreux indices de performance, nous allons donner quelques exemples extraits de l'étude de Jendoupi (1998) :

- **Le risque** : probabilité de voir t_i un instant donné, l'événement en question se réaliser ;
- **La résilience** : estimation du temps moyen au bout duquel le système retourne à un état satisfaisant lorsque s'est produit un incident ;
- **La vulnérabilité** : mesure de l'ampleur du risque, c'est à dire la répercussion moyenne d'un incident sur la ressource pour les usagers ;
- **Durée de séjour dans un état de défaillance** ;
- **Temps moyen entre deux défaillances successives**.

L'objectif de ces indices est de d'écrire totalement les phénomènes en terme d'intensité, durée et fréquence. Chaque gestionnaire choisit ses indices qui conviennent le mieux aux caractéristiques de son système et à ses priorités.

3.3 Réseaux de neurones artificiels

Plus couramment utilisés pour des tâches telles que la classification et la reconnaissance de processus, les réseaux neurones ne sont généralement pas utilisés pour l'optimisation, mais il faut leur attribuer quelques caractéristiques qui jouent en leur faveur telles que la prise en compte implicite de l'incertitude ainsi qu'une grande rapidité de calcul, qui est adaptée au calcul stochastique.

Dans le domaine des barrages, ils sont utilisés pour la génération de règles d'exploitation implicites des réservoirs grâce à leurs performances pour la reconnaissance des structures. En effet, ils doivent automatiquement passer par des modèles d'optimisation déterministes que nous avons cités précédemment, afin d'accomplir le processus d'apprentissage nécessaire. Raman and Chandramouli (1996) ; Chandramouli and Raman (2001); Rao et al. (2001) et Cancelliere et al. (2005) se sont penchés sur la question et ont obtenu des résultats intéressants.

Etude bibliographique

3.4 Logique Floue

Formalisée par Lotfi Zadeh en 1965, la logique floue est utilisée en intelligence artificielle. Cette théorie est une extension de la théorie des ensembles classiques pour la prise en compte d'ensembles définis de façon imprécise. Dans les cas de problèmes dont les lois de comportement sont mal connues, ou sont fortement non-linéaires, cette méthode s'avère être particulièrement performante.

Aussi, elle présente la spécificité de pouvoir intégrer des informations de mauvaise qualité ou difficilement quantifiables et elle ne nécessite pas d'hypothèses sur les variables d'entrées. Il est à noter que la logique floue constitue une approche radicalement différente de la théorie des probabilités, car contrairement à elle, elle n'associe pas d'espérance à une variable mais une valeur.

De ce fait, elle convient parfaitement aux problèmes de prise de décision dans un environnement où les paramètres à considérer ainsi que leurs incertitudes sont importantes et difficilement quantifiables. Le développement d'un modèle en logique floue n'est vraiment pas une mince affaire ; il nécessite une certaine expertise et un grand nombre d'itérations. Les étapes principales constituant cette méthode sont :

- ✓ Création des fonctions d'appartenance des variables d'entrée et de sortie (fuzzification) ;
- ✓ Définition des règles du moteur d'inférences (nécessite une base de règles et de définitions) ;
- ✓ Choix d'une méthode de défuzzification. Malgré la difficulté de son utilisation, nous pouvons trouver dans la littérature de nombreux auteurs ayant travaillé avec la méthode de la logique Floue pour la régularisation des barrages réservoirs uniques à buts multiples;

Nous pouvons citer par exemple :

- ✓ Russel and Campbell (1996) ont travaillé sur l'optimisation de la production hydroélectrique mensuelle d'un réservoir sur la rivière Powell au Canada en fonction des apports et du prix du marché.
- ✓ Shrestha et al. (1996) ont présenté dans leur article de référence un système d'aide à la décision pour le Tenkiller Lake en Oklahoma, où la production journalière doit satisfaire des objectifs multiples (production hydroélectrique, irrigation, protection contre les crues et navigation) en fonction des entrées que sont les apports dans la retenue, son niveau actuel, le mois et la demande énergétique prévue.
- ✓ Kumar et al. (2001) ont déterminé la production mensuelle à atteindre du réservoir Hirakud en Inde pour l'irrigation et la production hydroélectrique.
- ✓ Jairaj and Vedula (2003) ont élaboré un modèle où l'ETP est évaluée grâce à la logique floue, et ce, pour l'utilisation mensuelle du Krishna basin en Inde pour l'irrigation.
- ✓ Karaboga et al. (2004) ont comparé un système *fuzzy* à des règles rigides et un système classique de contrôle d'écart pour la gestion horaire du réservoir Catalan en Turquie.

Etude bibliographique

Il est à noter tout de même que la logique floue n'est pas, ou très peu utilisée pour le développement d'outils d'aide à la décision pour les réservoirs multiples.

- ✓ Cancelliere et al. (2005), ont évalué par combinaison linéaire des sorties d'un moteur d'inférences de type *fuzzy logic* (Logique Floue), les rejets journaliers du réservoir de Pozzillo en Italie pour l'irrigation.
- ✓ Lobbrecht et al. (2005) ont utilisé la logique floue pour l'optimisation du pompage de multiples polders de manière similaire à un ANN pour produire les mêmes résultats que par *DP*.
- ✓ Souag-Gamane (2007) a utilisé la logique floue pour la modélisation pluie-débit dans le développement d'outils pour la gestion des barrages réservoirs basés sur la simulation et la prévision des paramètres hydrométéorologiques.

3.5 Métaheuristique

Pour résoudre des problèmes difficiles, des techniques ont été conçues pour déterminer des solutions qui ne sont pas rigoureusement optimales, mais qui s'en approchent. Ces méthodes se basent généralement sur des phénomènes physiques, biologiques, socio-psychologiques ou font appel au hasard.

En outre, ces méthodes ne s'excluent pas mutuellement, et on ne peut pas être sûr de l'efficacité d'une méthode lorsqu'elle est appliquée à un problème donné. En outre, la tendance actuelle est aux modèles hybrides, qui tirent des avantages de différentes approches en les combinant.

On parle de *méta*, du grec « au-delà » (comprendre ici « à un plus haut niveau »), *heuristique*, du grec qui signifie « trouver ». En effet, ces algorithmes se veulent des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé.

Les métaheuristiques sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (cas du recuit simulé), en biologie de l'évolution (cas des algorithmes génétiques) ou encore en éthologie (cas des algorithmes de colonies de fourmis ou de l'optimisation par essaims particuliers).

- ***Domaines d'utilisation des Algorithmes génétiques***

Les techniques d'optimisation à objectifs multiples sont employées couramment dans la gestion de la ressource en eau, et il est facile de les appliquer une fois que les fonctions « objectifs » et les contraintes sont formulées.

Les algorithmes évolutionnaires en tant que techniques d'optimisation robustes ont la capacité de trouver des solutions optimales multiples de Pareto ; ce sont des méthodes stochastiques à usage universel simulant la sélection naturelle et l'évolution biologique. Ils gardent ainsi une population (ou un candidat) parmi les solutions potentielles proposées.

De nos jours, nous avons plusieurs algorithmes évolutionnaires produisant les solutions optimales de Pareto en peu de minutes, les résultats produits par ces algorithmes sont très utiles pour des décideurs qui assurent la distribution équitable de la ressource pour les

Etude bibliographique

différents usagers. L'approche la plus répandue pour résoudre les problèmes de gestion avec contraintes est l'emploi de pénalités.

L'algorithme évolutionnaire le plus populaire est l'algorithme génétique, dans le domaine de la gestion de la ressource en eau est en particulier la gestion des barrages-réservoirs. Plusieurs travaux de recherche ont montré que les algorithmes génétiques constituent des outils puissants quelque soit leurs types (codage réel ou binaire). Ces algorithmes ont été appliqués avec succès pour l'optimisation de la gestion de la ressource, et leurs performances ont été prouvées en les comparant avec les méthodes classiques comme la programmation linéaire, la programmation non linéaire et la programmation dynamique.

Dans ce qui suit, nous allons exposer quelques travaux de recherche qui ont été faits par le biais des algorithmes génétiques dans le domaine de l'optimisation de la gestion de la ressource en eau :

- ✓ Selon Akar et al. (2004), l'intégration de l'incertitude augmente la complexité d'un problème. Dans cette étude, les auteurs ont envisagé deux types d'incertitudes : l'incertitude associée à l'expression des fonctions de pénalité et l'incertitude dans l'évaluation des lâchers ; la logique floue a été utilisée pour modéliser ces incertitudes. L'optimisation des paramètres fuzzifiés a été réalisée grâce à un algorithme génétique avec le double objectif : minimiser la pénalité totale et maximiser le degré de satisfaction du gestionnaire, la formulation proposée a été appliquée au barrage Green de Kentucky aux Etats Unies. D'après ces auteurs, cette méthode offre une plus grande flexibilité pour la prise de décision.
- ✓ Chang et al. (2006), ont appliqué les algorithmes génétiques pour l'interpolation et l'estimation des données manquantes des précipitations, ils ont considéré la méthode des algorithmes génétiques comme une technique nouvelle qui donne de meilleurs résultats par rapport aux méthodes classiques à condition quelle soit utilisée avec précaution.
- ✓ Chang (2008), a proposé un modèle d'optimisation de lutte contre les inondations en temps réel en utilisant les algorithmes génétiques comme outil de recherche, il a été employé pour rechercher un optimum global, l'auteur a expliqué qu'il est très difficile d'aboutir à une solution optimale sans la violation de quelques contraintes. Pour aborder ce problème, une stratégie de pénalité appropriée a été proposée pour guider l'algorithme dans son processus de recherche. L'approche proposée est appliquée au réservoir de Shihmen situé en Taiwan pour trouver les lâchers optimaux.
- ✓ Hashemi et al. (2008), ont employé l'algorithme génétique pour optimiser la gestion du réservoir de Jiroft, dans cette étude la boîte à outils des algorithmes génétiques a été utilisée sous Matlab, ils ont montré qu'en utilisant le codage réel d'une population, l'algorithme donne de meilleurs résultats.
- ✓ Chang et al. (2009), ont utilisé l'algorithme génétique pour optimiser un système multi-réservoirs ; les réservoirs de Shihmen et de Feitsui sont considérés comme les plus importants au Nord de Taiwan ; le premier réservoir souffre d'un problème sérieux de manque d'eau, tandis que le second réservoir a un surplus, ces deux réservoirs sont gérés indépendamment par deux services gouvernementaux. L'utilisation de l'algorithme génétique aide à optimiser la gestion conjointe de ces

Etude bibliographique

deux réservoirs afin d'évaluer les stratégies communes de gestion optimale et augmenter l'efficacité de l'utilisation de la ressource en eau.

- ✓ Chang et al. (2010), ont proposé une méthodologie en utilisant un algorithme génétique avec comme contrainte le débit écologique minimum, en outre, un certain nombre de pénalité ont été proposées pour formuler la fonction objectif. D'après ces auteurs, les gestionnaires ont toujours tendance à négliger les aspects environnementaux, la méthode proposée a pu améliorer de manière significative l'efficacité de l'approvisionnement en eau tout en respectant un débit écologique minimum et donc optimiser la gestion de ce réservoir.
- ✓ Kai et al. (2010), ont appliqué un algorithme génétique est appliqué pour gérer quatre barrages en cascade dans le fleuve de Wujian province de Guizhou de la Chine. Un modèle d'optimisation est établi, l'objectif est d'avoir une génération de débit annuel maximale avec de fortes probabilités. L'algorithme génétique est appliqué pour simuler les stratégies de gestion basées sur une série de données de 10 années. Deux autres algorithmes tels que la programmation dynamique avec approximation successive et la programmation dynamique différentielle discrète sont également appliqués pour évaluer l'exécution de la simulation. Les résultats ont montré que la génération annuelle et la forte probabilité du système de quatre barrages en cascade dérivé de l'algorithme génétique sont meilleurs que ceux donnés par les méthodes classiques.
- ✓ Sreekanth et al. (2010), ont développé un modèle d'optimisation en utilisant un algorithme génétique ; ce modèle permet la gestion des aquifères côtiers pour optimiser les pompages et éviter ainsi, l'intrusion d'eau salée dans les nappes profondes.
- ✓ Chang et al. (2011), ont développé un modèle de planification et de gestion conjointe de la ressource en eau au niveau régional. Le modèle intègre la programmation linéaire et un algorithme génétique à objectifs multiples, ce modèle a fourni une courbe de différence des différentes demandes et pour les différents secteurs et peut servir de base pour quantifier les besoins futurs.

3.6 Conclusion

En conclusion, il est à noter que de tous les modèles cités, on va inspirer notre simulation à celle de la **programmation dynamique stochastique (PDS)**.

C'est une méthode d'optimisation qui permet de traiter des problèmes complexes en les décomposant en plusieurs étapes ou périodes.

Cette méthode permet de prendre une séquence de décisions mutuellement reliées entre elles, afin d'optimiser une fonction économique connue.

L'avantage de cette méthode est :

- Prise en compte des relations non linéaire ;
- Nature stochastique des apports naturels facilement prise en considération ;
- La solution est un optimum global.

CHAPITRE II

CADRE D'ETUDE

Cadre d'étude

Le barrage de Koudiet Acerdoune a été choisi afin d'élaborer un modèle de gestion intégrée en cas de sécheresse, dont l'exploitation doit être maîtrisée pour gérer rationnellement leur stock, vu l'importance que requiert ce barrage dans le centre.

I. Situation générale du bassin versant de l'Oued Isser

1.1 Situation géographique

Situé à embouchure vers la mer de l'Algérie, à 70 Km au Sud Est d'Alger, l'Oued Isser draine une surface de 4149 Km², soit 8.72% de la superficie totale du bassin Algérois-Hodna-Soummam (AHS) auquel il appartient avec une population totale estimée en 2030 à 812 291 habitants.

Il est limité :

- A l'Est, par le bassin de la Soummam;
- Au Sud, par le bassin du Hodna;
- A l'Ouest, et au Nord par le bassin du Côtier-Algérois.

Il présente une forme d'un quadrilatère d'orientation Sud-Ouest /Nord-Est. Du point de vue administratif, ce bassin chevauche sur quatre wilayas : Médéa, Bouira, Tizi Ouzou et Boumerdes.

Oued Isser, parcourt une longueur de 122 Km avec une pente moyenne de 1.13% et draine une surface topographique au droit du barrage de Koudiet Acerdoune de 2790 km².

Le cadre géographique est constitué de l'Atlas Tellien Algérois au Nord culmine à 1130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1810 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes sont séparées par la plaine des Aribes d'altitude 550 m.

En relation avec le contexte géologique et structural, on distingue le Haut et Moyen Isser d'une part, et le Bas Isser d'autre part.

Bas Isser : il est situé à 60 Km à l'Est d'Alger et limité :

- Au Nord, par la mer Méditerranée;
- Au Sud, par le contrefort de la dorsale Kabyle et Djebel Ahmed;
- Au Nord-Est, par le Massif de Cap Djinet;
- A l'Est, par les Massifs Raicha et Chender;
- A l'Ouest, par les Massifs de Thénia.

Haut et Moyen Isser : la plaine du Haut et Moyen Isser est limitée :

- Au Nord, par le Massif de Beni Amrane;
- A l'Est, par l'oligocène de Drâa El Mizane;
- A l'Ouest, par les formations oligocènes du Djebel Bou Zegza.

Le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune englobe le Haut et Moyen Isser.

Cadre d'étude

1.2 Découpage administratif

Le bassin de l'Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune couvre principalement les wilayas de Médéa et Bouira.

Il compte 40 communes et 61 agglomérations.

La répartition des communes, des agglomérations et de la population dans le bassin de l'Oued Isser figure dans le tableau II.1 :

Tableau II.1 - Evaluation de la population par wilaya

Wilaya	Nombre de communes	Nombre d'agglomérations	Population (hab) ONS 2008	Taux d'Accroissement	Estimation Nombre d'habitants			
					2015	2020	2025	2030
Médéa	24/36	22	385 507	1,2	419079	444834	472172	501191
Bouira	16/45	39	223 731	1,6	250024	270676	293034	317239
Total	40	61	609 238	-	669103	715510	765206	818430

(Source : DHW, 2008)

Le plan de situation du bassin versant est présenté dans la Fig II.1.

1.3 Découpage hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est l'une des plus importantes caractéristiques d'un bassin versant.

Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux, que sont :

- La géologie : qui de par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion, la nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique. La structure de la roche, sa forme, ses failles, ses plissements, forcent le courant à changer de direction.
- Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- La pente du terrain: elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.
- La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Cadre d'étude

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune draine les apports de 04 sous bassins (Tableau II.2) :

Tableau II.2 - Superficies des Sous bassins de l'Oued Isser

Code	Sous bassin	Superficie (Km²)
0901	OUED MELAH KHERZA	666
0902	OUED MELAH YAGOUR	774
0903	OUED ZEROUA OUED	1 132
0904	ISSER MOYEN	218
Total	04	2790

(Source : ANRH, 2012)

- **Haut Isser**

On y trouve deux principaux cours, l'Oued Mellah et l'Oued Isser. L'Oued Isser est formé par la réunion de l'Oued El Hammam, issu de calcaires marneuses de crétaé inférieur de BERROUGHIA et de l'Oued Mellah qui draine 1/3 de la superficie du ce bassin.

- **Moyen Isser**

Il est drainé par les Oueds :

- Djemaâ à l'Est ;
- Bou-Hammoud à l'Ouest ;
- Isser au milieu.

Le réseau hydrographique est présenté sur la Fig II.2.

1.4 Morphologie du bassin

1.4.1 Lithologie

La structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de terrains métamorphiques précambriens, recoupés par des intrusions de roches basiques et acides, ainsi que par la présence de formations sédimentaires plus récentes.

Pour l'étude géologique, on se limitera à une description lithologique du bassin versant afin de connaître le degré d'érodabilité et de dégradation.

- **Haut Isser**

Il est constitué à 60% de formation marneuse et marno- calcaire appartenant au crétaé inférieur, moyen et supérieur. Les argiles et sable rouge de l'aquitaniens continental occupent 13 % du bassin. Les alluvions en terrasses du quaternaire continental occupent 12% de la surface du bassin. Des pointements triasiques dans le crétaé supérieur ont provoqué la salure des eaux de l'oued Mellah.

Ces marnes constituant 69 % de la superficie totale, se fissurent et craquent par déshydratation pendant la saison sèche. Elles s'altèrent sur plusieurs centimètres en formant un tapis des gravillons mêlé de poussière argilo- calcaire qui partent en débâcle aux premières averses orageuses de la saison de pluie. Ces formations sont assez facilement érodables.

Cadre d'étude



Figure II.2 - Réseau Hydrographique du BV de l'Oued Isser au droit du barrage (ANRH)

Cadre d'étude

- **Moyen Isser**

La description lithologique du bas Isser et moyen Isser est extraite de la carte de géologie.

Les schistes argileux, les marnes grises et schisteuses avec des couches de grés occupent 70 % de sa surface. Ces formations appartiennent au crétacé inférieur, moyen de supérieur. On rencontre l'oligocène marin dont les formations sont présentées par des conglomérats, grés et marnes constituent 13.41% de la superficie totale de bassin.

Les alluvions du quaternaire continentales occupent 6,90% de la superficie totale (Fig II.3).

1.4.2 Végétation du bassin versant

- **Haut Isser**

La caractéristique la plus apparente en étudiant le bassin est l'absence d'une couverture végétale arbustive dense, ce qui favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin.

Les collines marneuses de haut Isser sont couvertes des cultures céréalières, maraîchères et fourragères. Les versants abrupts sont dénudés ou couverts de broussailles clairsemées, constitués surtout de Pin d'Alep et de chêne vert.

- **Moyen Isser**

Le moyen Isser manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistent les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées. Les cultures annuelles occupent la quasi-totalité des terres agricoles. Les plaines, tout en long d'oued Isser, sont couvertes de cultures maraîchères et d'arboriculture fruitière. Les collines sont occupées par la céréaliculture et l'arboriculture.

1.4.3 Topographie

- **Haut Isser**

Le haut Isser dont les lignes de crête se situent entre 1200-1800 m a une altitude moyenne 843 m, 50% de la surface est comprise entre les altitudes 700- 1100 m.

Il présente deux arrêtes principales orientées Sud – Ouest et Nord – Est. L'arrête Nord-Ouest est moins élevée, son altitude passe de 1240 m au Kef-R'Mel et à 1971 à Bou mali.

L'arrête Sud –Ouest est plus élevée et passe de 1460 m à Kef Lakhdar Chergui à la côte 1810 m au Djebel Dira, point culminant du bassin.

- **Moyen Isser**

Le relief est plus au moins accentué. Il se situe entre l'altitude 900 m à la station Lakhdaria et à 1265 m au Djebel Fouda.

1.4.4 Pédologie du bassin versant

Afin de différencier le sol et d'après une étude dans le bassin de l'Oued Isser, les types de sols qui ont été recensés sont les suivants :

Rawet et al (1930), ont noté dans les versants où la morphodynamique est instable, l'existence des grés calcaires, des sols rouges fersiallitiques, des sols calcimagnésiques (sols bruns calcaires et bruns calciques) quand il y a une alternance de ces grés calcaires avec des marnes.

La pédologie du BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune est présentée dans la Fig II.4

Cadre d'étude

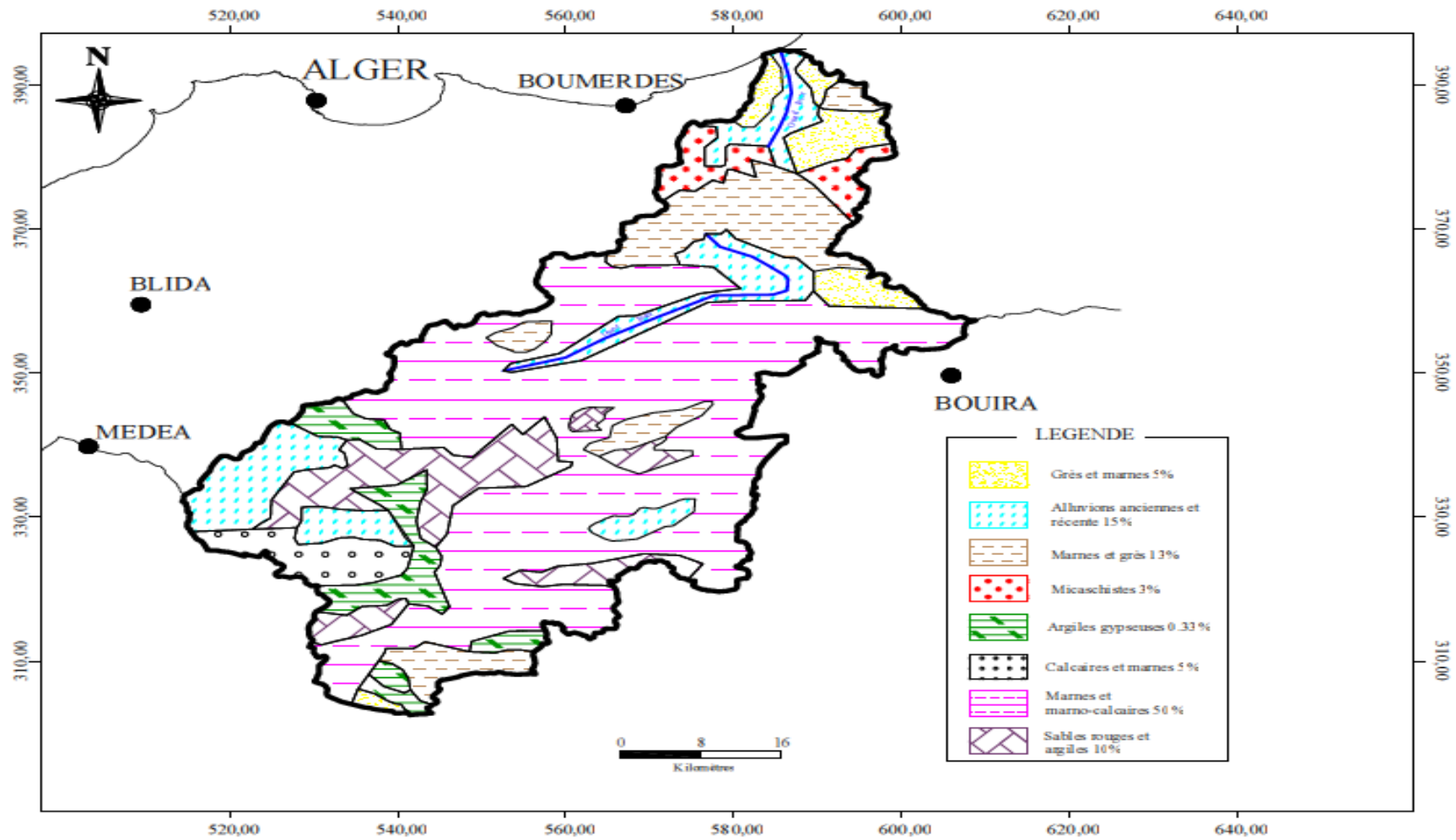
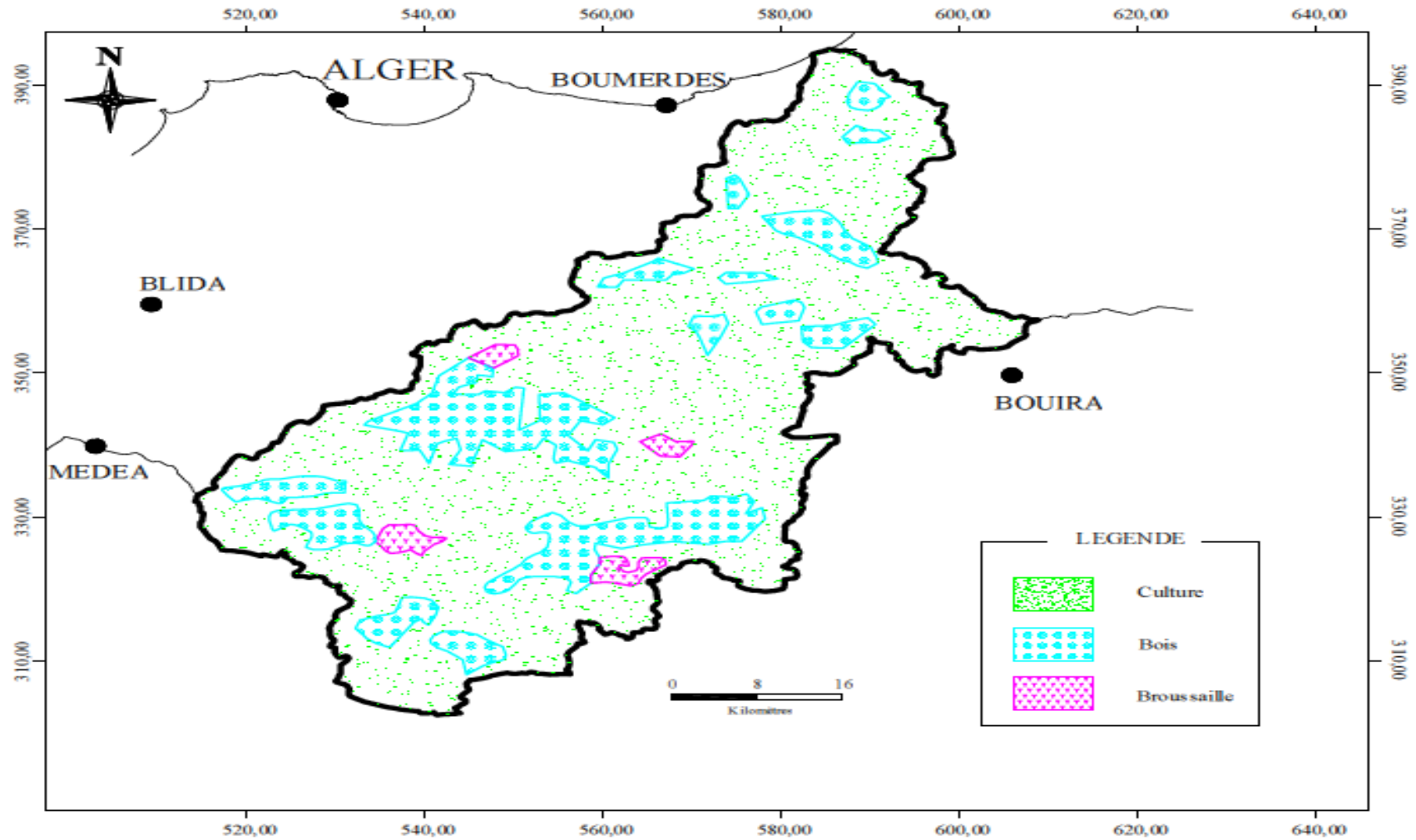


Figure II.3 - Géologie du BV de l'Oued Isser

(Source : Carte géologique d'Algérie du Nord 1952)

Cadre d'étude



(Source : BNEDER « Etude d'inventaire des terres et forêts de Bouira, Tizi Ouzou et Médea 1992 »)

Figure II.4 - Pédologiques du BV de l'Oued Isser

Cadre d'étude

1.5 Ressources en eau

1.5.1 Eaux superficielles

- **Barrages**

Le bassin versant de l'Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune compte actuellement deux barrages en exploitation à savoir : Ladrat et Koudiet Acerdoune.

Aussi, il comporte un ouvrage en étude, c'est le barrage El Mellah sur l'oued El Mellah dans la partie amont du bassin, contrôle un sous bassin versant de 180 km². Avec des apports annuels estimés à 8 Mm³, cet ouvrage est en mesure de régulariser annuellement environ 6.5 Mm³ (ANBT, 2012) destiné à l'AEP et l'irrigation (Fig II.6).

- **Barrage de Ladrat**

C'est un petit barrage avec une capacité de 10.6 Mm³ drainant un bassin versant d'une superficie de 73 Km². Il est destiné à l'irrigation et à la consommation domestique, il se situe dans la wilaya de Médéa et plus précisément dans la commune de l'Omaria.

L'apport moyen annuel est de l'ordre de 8.1 Mm³ avec des débits de pointe de crue de 175 et 275 m³/s respectivement pour des périodes de retour de 10 et 100 ans.

Les coordonnées géographiques sont :

$$X = 533,30 \text{ Km} \quad Y = 326,55 \text{ Km} \quad Z = 650 \text{ m}$$

- **Morphologie**

La forme du sous bassin est triangulaire avec deux principaux affluents qui constituent la source des apports, à savoir les Oued Ladrat et Adham. La longueur totale du cours d'eau principal est de 11.8 Km² avec une dénivelée de 450 m. La superficie des sous bassins de l'Oued Ladrat est de 39.5 Km², quant à celle de l'Oued Adham, elle est 34.6 Km², l'altitude moyenne est de 890 m.

- **Données hydrologiques du bassin versant LADRAT au site de Ladrat**

Tableau II.3 - Caractéristique du BV Ladrat au site du barrage

Données hydrologiques	Unités	Valeurs
Superficie du bassin versant	Km ²	73,5
Apport liquide moyen annuel	m ³	8,1 10 ⁶
Apport liquide annuel minimum enregistré	m ³	3,6 10 ⁶
Apport liquide annuel maximum enregistré	m ³	13,5 10 ⁶
Crue maximum probable (100 ans)	m ³ /s	375
Volume de stockage de la retenue	m ³	10,6 10 ⁶
Côte de la crête (NGA)	m	680,6

Cadre d'étude

➤ Levé bathymétrique

Le levé bathymétrique du barrage de Ladrat est présenté dans le tableau II.4

Tableau II.4 - Levé bathymétrique du barrage de Ladrat

Nom du barrage	Levés bathymétriques (1986)							
	H (m)	650	655	660	665	670	675	680
Ladrat	S (Km ²)	0	0,08	0,22	0,39	0,64	0,92	1,1
	V(Hm ³)	0	0,40	1,20	2,80	4,90	8,50	14,00

(Source : ANBT, 1996)

La courbe Hauteur-Surface-Volume est présenté dans la Fig II.5 côté

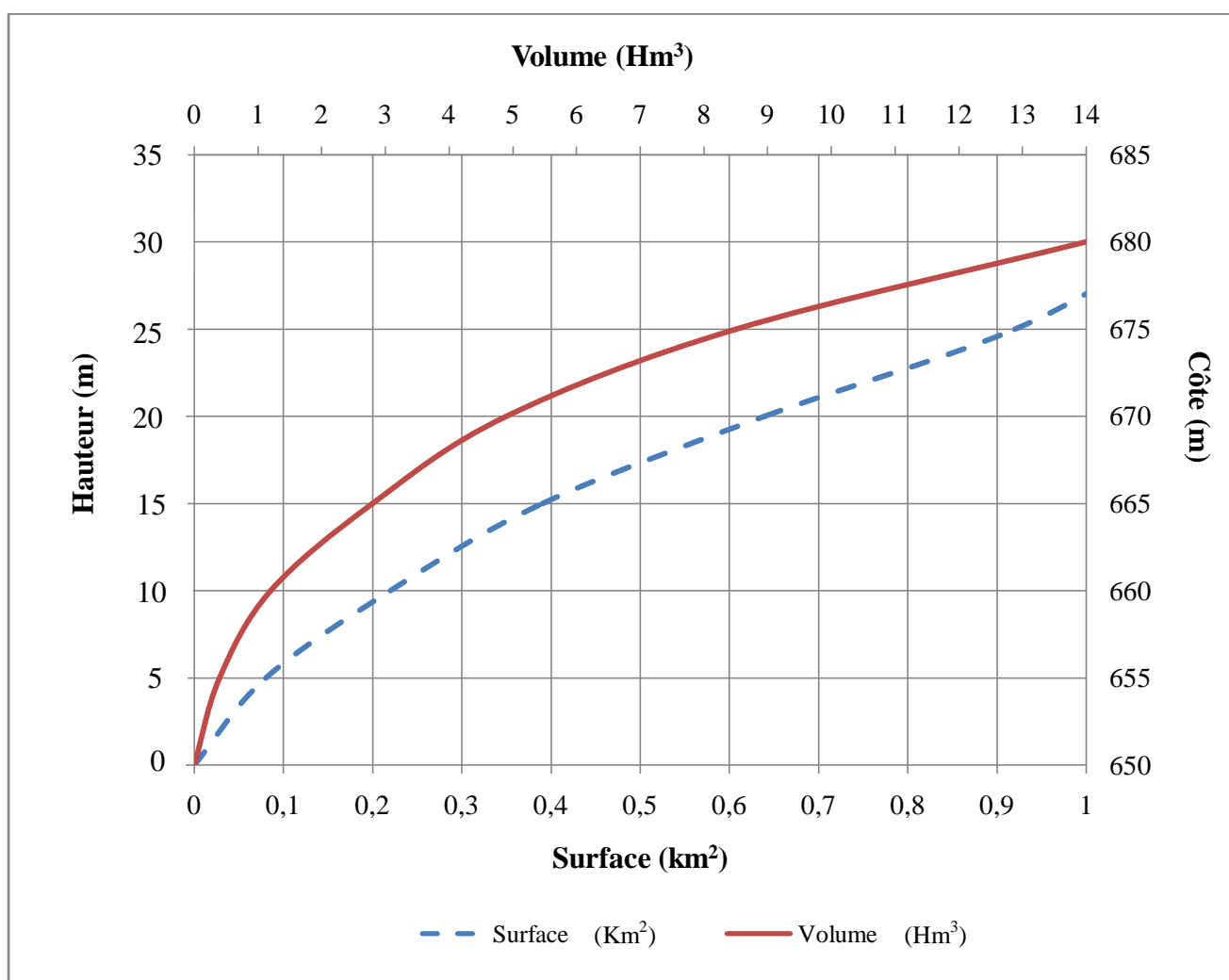


Figure II.5 - Courbes Hauteur-Surface-Volume du barrage Ladrat

- Le barrage de Koudiet Acerdoune

Leur étude détaillée est dans le paragraphe II.

Cadre d'étude

• Retenues collinaires

Les retenues collinaires dans le bassin de l'Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune sont au nombre de 19 retenues totalisant une capacité de l'ordre de 10 hm³, en vue de protéger les barrages qui se trouvent à l'aval d'une part et de satisfaire les besoins en irrigation de la région d'autre part. (Fig II.6)

La répartition par wilaya de ces retenues est donnée dans le tableau II.5.

Tableau II.5 - Retenues collinaires et leurs capacités par wilaya

Wilaya	Retenues collinaires	
	Nombre	Capacité x1000 m ³
Bouira	9	1 592
Médéa	10	7 949
Total	19	9 541

(Source : DHW, 2008)

1.5.2 Eaux souterraines

Les principales unités hydrogéologiques qui constituent le bassin versant des Issers au droit du barrage de Koudiet Acerdoune peuvent être présentées de la manière suivante :

- Unité hydrogéologique du haut Isser ;
- Unité hydrogéologique du moyen Isser ;
- Unité hydrogéologique de la plaine des Arribs ;
- Unité hydrogéologique de la plaine de Beni Slimane ;
- Unité hydrogéologique de la plaine de l'Oued Mellah ;
- Unité hydrogéologique de l'Oued Mellah.

Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau II.6

Tableau II.6 - Caractéristiques des unités hydrogéologiques

Unité hydrogéologique	A (km ²)	Ressources renouvelables annuelles (Mm ³)			Coeff de forme Kf	Ressources renouvelables utilisables annuelles (Mm ³)		
		V an moy	V an Hum	V an Sèche		V an moy	V an Hum	V an Sèche
plaine de l'Oued Mellah	77.55	11.35	22.84	4.59	0.45	5.11	10.28	2.07
plaine de Beni Slimane	62.5	6.12	12.85	2.87	0.45	2.75	5.78	1.29
plaine des Arribs	146.85	17.28	37.62	7.45	0.65	11.28	24.55	4.86
Oued Mellah	26.22	6.38	12.13	3.02	0.33	2.11	4.01	1.00
Vallée du haut Isser	16.34	18.29	30.76	8.80	0.12	2.25	3.78	1.08
Vallée du moyen Isser	38.03	20.26	36.46	9.49	0.31	6.29	11.32	2.95

(Source : ANRH, 2008)

Cadre d'étude

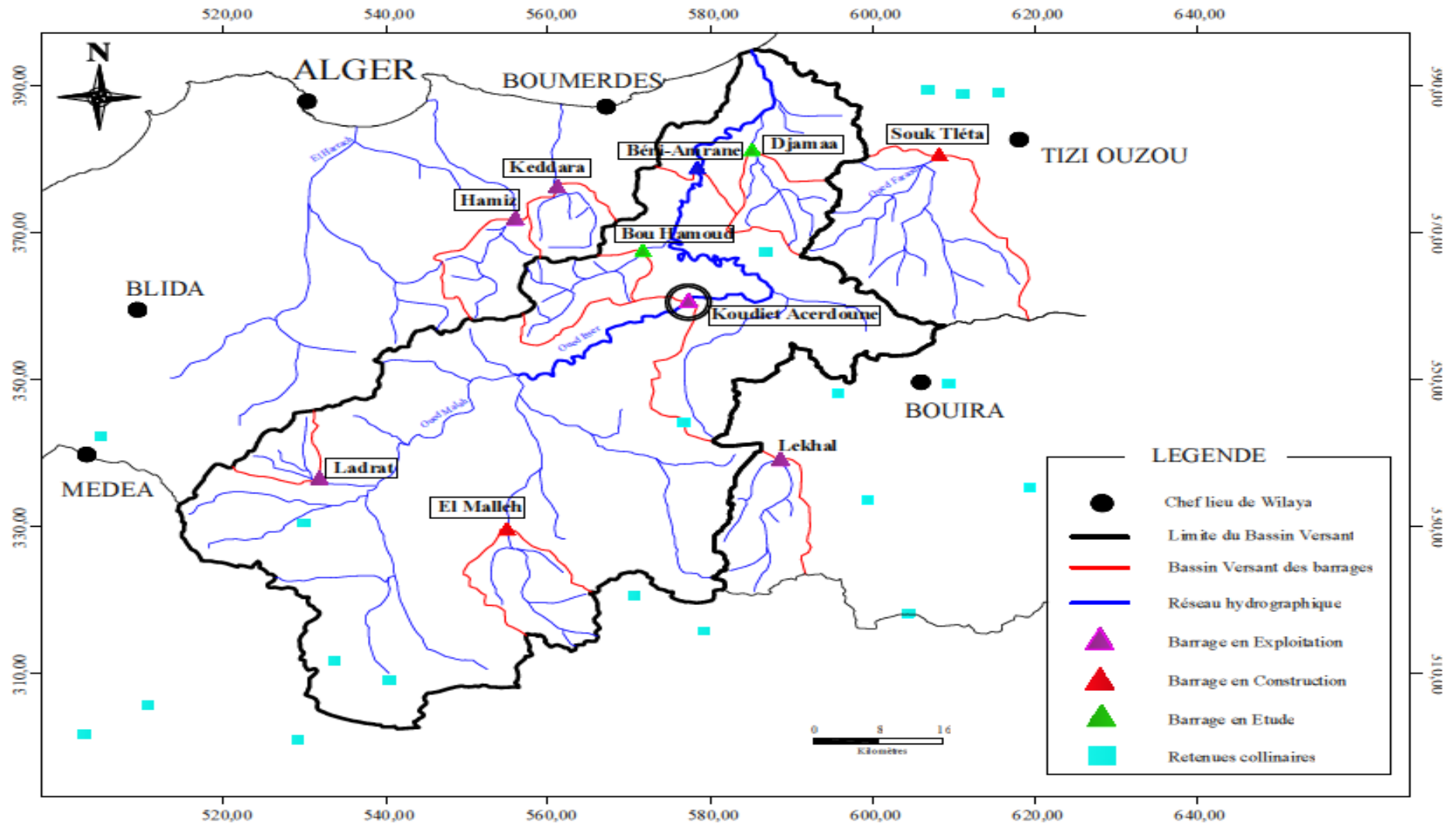


Figure II.6 - Implantation des barrages et retenues dans le BV de l'Oued Isser

Cadre d'étude

1.6 Hydrographie et Hydrologie du bassin versant

1.6.1 Présentation des stations hydrométriques

Le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage est équipé de quatre (04) stations hydrométriques, en exploitation dont les caractéristiques sont données dans le tableau II.7.

Tableau II.7 - Stations hydrométriques du BV de l'Oued Isser au droit du barrage

Code	Station	Oued	X (Km)	Y (Km)	Superficie (Km ²)	Année de Mise en service	Nombre d'années d'observations
09 01 01	MEZAHIM	Mellah Ouest	539,7	322,65	665	1973	30
09 03 05	BENI SLIMANE	Mellah Est	557,55	322,25	273	1973	29
09 03 09	DECHMIYA	ZEROUA	578,25	316,45	73	1972	13
09 04 08	LA TRAILLE	ISSER	559,25	343,25	2570	1968	17

(Source : ANRH, 2008)

L'implantation des stations sont présentées dans la **Fig II.7**

1.6.2 Caractéristiques de forme

La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle est qu'elle projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement sur le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent, il influe sur l'hydrogramme de crue (Hamadene, 2011).

- **Indice de compacité ou indice de Gravélius**

Il est défini par la relation II.1

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

- P : Périmètre du bassin en Km ;
- S : Surface du bassin en Km² ;
- Si, Kc tend vers 1 : le bassin est ramassé ;
- Si, Kc > 1 : le bassin est allongé.

Cadre d'étude

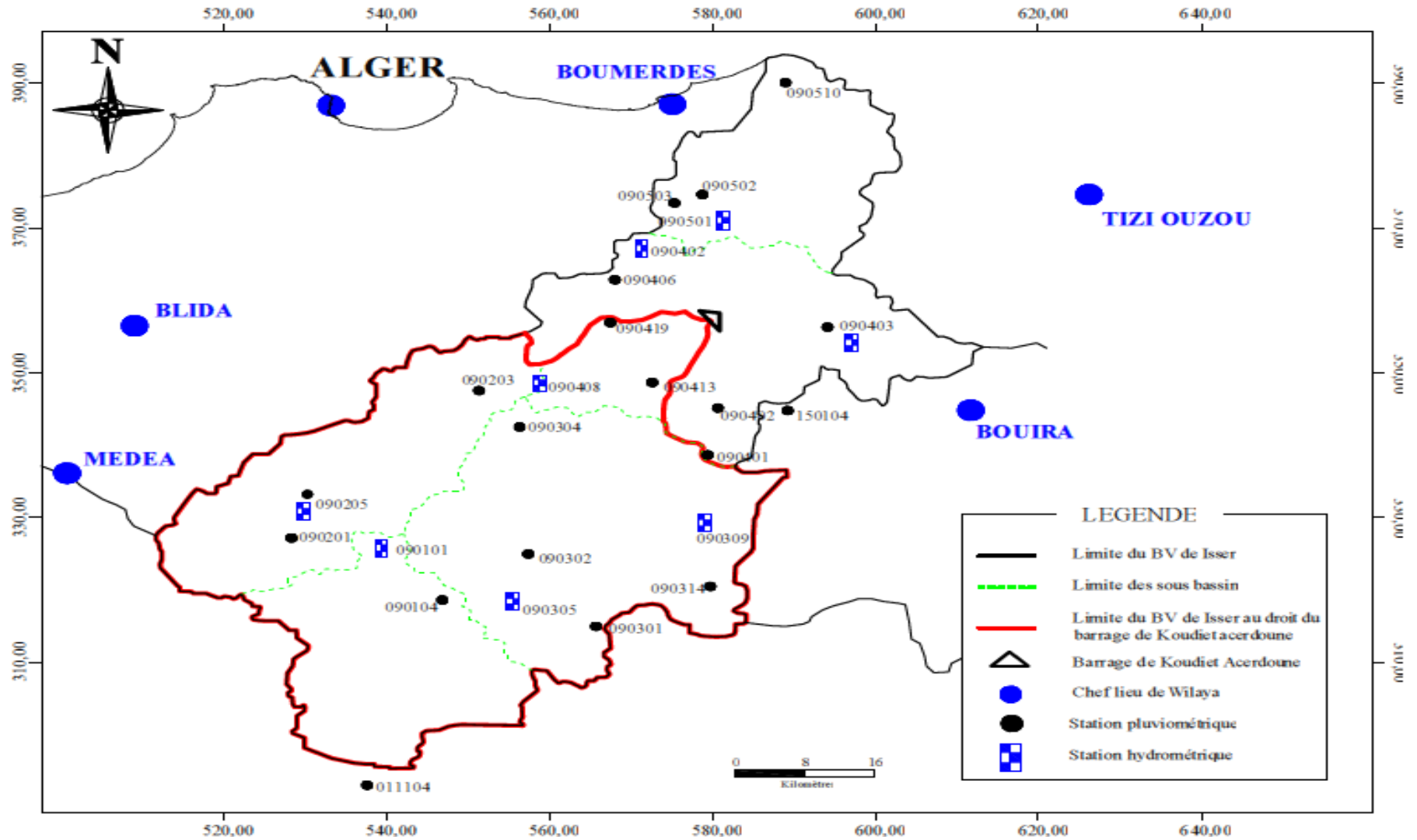


Figure II.7 - Implantation des stations pluviométriques et hydrométriques dans le BV de l'Oued Isser

Cadre d'étude

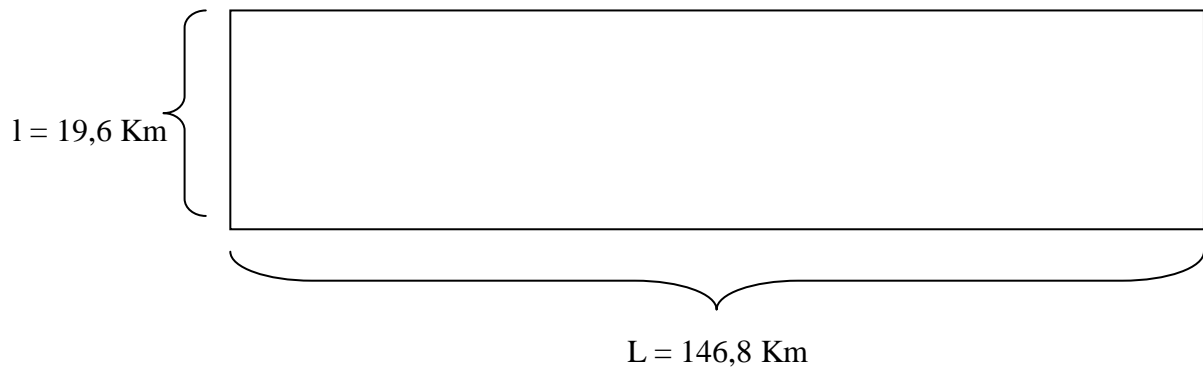
- **Rectangle équivalent**

Il est défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S".

Les dimensions de ce rectangle sont données par les relations II.2 et II.3 :

$$\text{Longueur} \quad : \quad L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad \text{(II.2)}$$

$$\text{Largeur} \quad : \quad l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad \text{(II.3)}$$



1.6.3 Caractéristiques du relief

- **Hypsométrie des bassins**

La description détaillée de l'élévation d'un bassin est donnée par les courbes hypsométriques, et à partir de celles-ci, nous pouvons déterminer les caractéristiques de relief, à savoir :

- L'altitude maximale (H_{max}) ;
- L'altitude minimale (H_{min}) ;
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface ($H_{50\%}$) ;
- L'altitude moyenne (H_{moy}) déterminée par la relation II.4 ;
- L'altitude correspond à 5% de la surface ($H_{5\%}$) ;
- L'altitude correspond à 95% de la surface ($H_{95\%}$) ;
- La dénivelée ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$).

$$H_{moy} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot H_i}{A} \quad \text{(II.4)}$$

Avec :

- H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m)
- S_i : surface comprise entre deux courbes de niveaux i et $i+1$ (Km^2)
- H_i : altitude entre ces deux courbes de niveaux (m)
- A : surface totale du bassin versant en Km^2

Cadre d'étude

- **Indice de pente**

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant pour permettre des comparaisons et des classifications entre bassins. Ils sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques.

- **Indice de pente de roche « Ip »**

Il permet de déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant, il est calculé par la relation II.5.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^N \sqrt{B_i (a_i - a_{i-1})} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

I_p : indice de pente de roche en %

B_i : fraction de surface comprise entre l'altitude a_i et a_{i+1} (a_i, a_{i+1}) altitude des courbes de niveau du bassin (m).

L : longueur du rectangle équivalent en Km.

a_{i+1}, a_i : Côtes de ligne de niveaux du bassin en m.

- **Indice de pente globale I_g**

Il est utilisé pour la classification des bassins versants, cet indice est déterminé par la relation II.6 :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad \text{en \%} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

D : Dénivelée en m.

L : Longueur du rectangle équivalent en Km.

- **Pente moyenne d'un bassin versant « I_m »**

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par la relation II.7.

$$I_m = \frac{H(0.5l_{1+} + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{A} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

I_m : pente moyenne du bassin en (%).

H : hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m).

l_i : longueur de la courbe de niveau en (Km).

A : superficie du bassin versant (Km^2).

L : longueur du rectangle équivalent en (Km).

Cadre d'étude

1.6.4 Paramètres du réseau hydrographique

- **Densité de drainage Dd**

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km² et définie par la relation II.8 :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$\sum_{i=1}^n l_i$: Longueur totale cumulée des talwegs
S : Surface du bassin versant (Km²).

- **Coefficient de torrentialité (C_t)**

$$C_t = F_t \times D_d \quad (\text{II.9})$$

Avec :

F_t : Fréquence des talwegs élémentaires : $F_t = \frac{N}{S}$.
N : Nombre des talwegs d'ordre 1.

- **Temps de concentration**

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il peut être calculé par la formule de Giandotti (relation II.10) :

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{\min}}} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

L : longueur du talweg principal qu'est égale à 98,2 Km

Tous les résultats de calcul sont résumés dans le tableau II.8

- **Profil en long de Oued Isser**

Le profil en long d'oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune a été dressé à partir d'une carte topographique à échelle 1/200000 (**Fig II.8**).

Cadre d'étude

Tableau II.8 - Caractéristiques Hydromorphométriques des Sous bassins de l'Oued Isser aux différents exutoires

<i>Paramètres</i>		<i>Stations hydrométriques</i>				<i>Barrage</i>			
<i>Caractéristiques de forme</i>	<i>Symbole</i>	<i>Unité</i>	<i>Beni Slimane</i>	<i>Mezahim</i>	<i>Dechmiya</i>	<i>La Traille</i>	<i>Ladrat</i>	<i>Koudiet Acerdoune</i>	<i>Beni Omrane</i>
	<i>S</i>	Km ²	273	665	73	2570	73,5	2790	370
	<i>P</i>	Km	71	110	41	210	70	320,7	336,3
	<i>Kc</i>	-	1,2	1,19	1,1	1,16	1,28	1,36	1,19
	<i>l</i>	Km	8,91	5,78	4,33	16,6	11,7	19,6	9,56
	<i>L</i>	Km	24,2	37	9,55	66,1	32,4	146,8	42,1
<i>Caractéristiques topographiques</i>	<i>Hmax</i>	m	1371	1467	1810	1810	1200	1808	1550
	<i>Hmin</i>	m	600	595	810	349	650	219	420
	<i>Hmoy</i>	m	940	750	940	843	890	806	860
	<i>D</i>	m	771	872	1000	1461	550	852	622
	<i>Ds</i>	m	489,96	499,71	742,96	679,50	399,60	519,40	434,70
	<i>Ig</i>	%	29,65	19,38	86,96	13,40	46,61	6,47	7,52
	<i>Ip</i>	%	13,00	15,00	22,00	12,00	7,63	15,80	8,41
<i>Im</i>	%	53	54	60	51	46,5	21,64	34,6	
<i>Hydrographiques</i>	<i>Dd</i>	Km ² / Km	2,4	3,03	2,4	3,2	4,8	13,5	1,53
	<i>Ct</i>	-	17,5	19,39	17,5	23,98	21,5	8,7	9,8
	<i>tc</i>	h	11,34	8,56	7,64	15,54	6,71	17,51	18,43
	<i>Lcp</i>	Km	26	45	11,5	109	11,8	23,4	15,7

Cadre d'étude

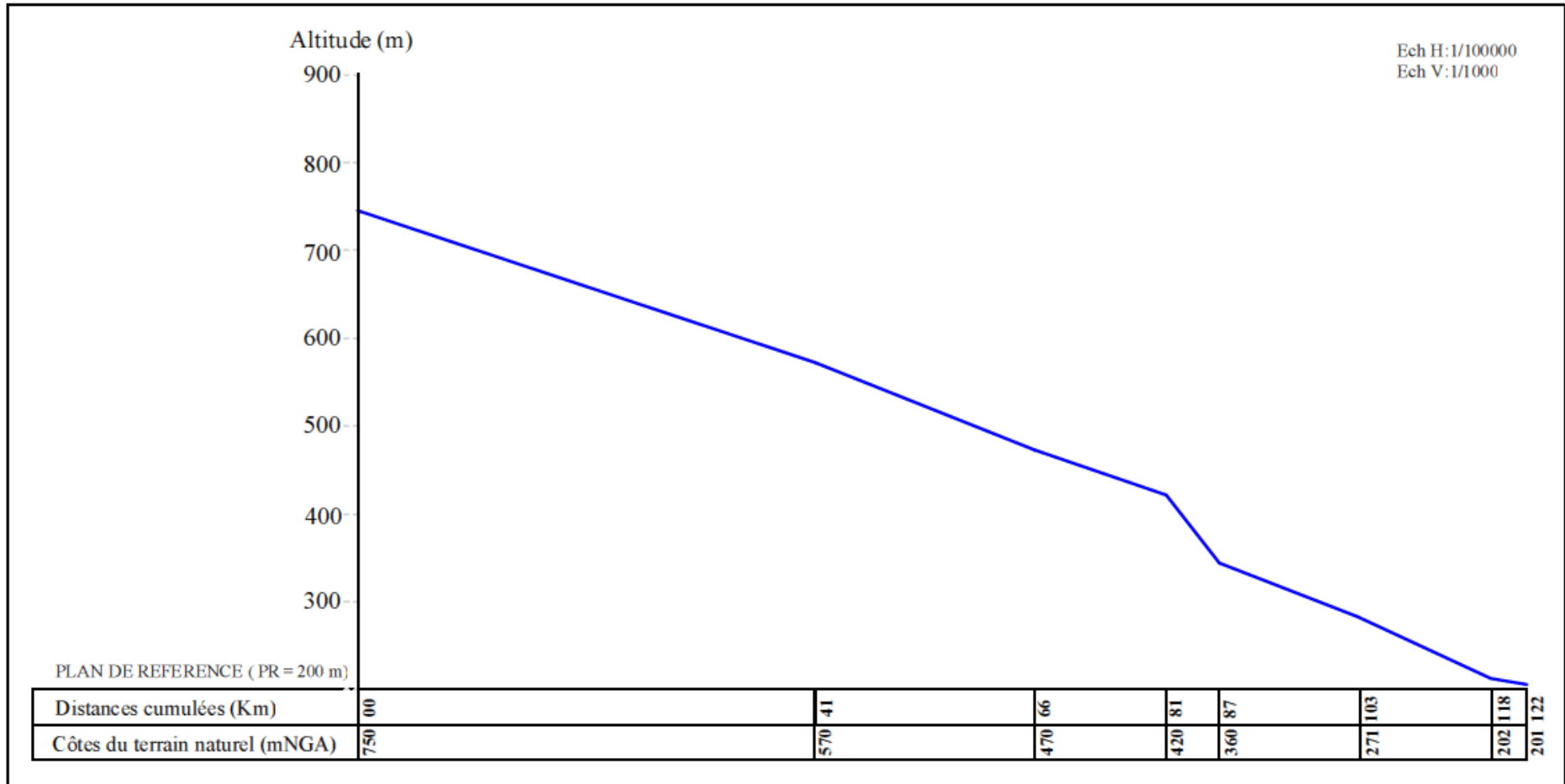


Figure II.8 - Profil en Long de Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune

Cadre d'étude

II. Barrage de Koudiet Acerdoune

Le barrage est implanté sur l'Oued Isser dans la commune de Maala, daïra de Lakhdaria et wilaya de Bouira. Les coordonnées géographiques sont :

$$\mathbf{X = 580,10 \text{ Km} \quad Y = 354,70 \text{ Km} \quad Z = 217 \text{ m}}$$

2.1 Etude géotechnique

- **Choix du site**

Le choix du site sur l'Oued Isser s'est relevé difficile. De nombreux emplacements ont été successivement étudiés et le choix s'est porté sur le site de Koudiet acerdoune ; car les premières reconnaissances géologiques étaient assez favorable mais aussi il est le plus intéressant au point de vue de la capacité de la retenue, permettant ainsi une grande alimentation vers Alger.

- **Géologie régionale**

La vallée de Oued-Isser présente des conditions géologiques assez défavorables qui se traduisent par :

- Des terrains sont constitués par une épaisse série de schistes et marno-calcaires crétacés médiocres.
- Les mouvements orogéniques de l'Atlas de Tablat ont produit des dislocations internes et favorisent l'injection dans le crétacé de masse gypso-salines issues de Trias.
- Au Nord de la vallée, les terrains argileux et marneux plastiques ont subi d'importants phénomènes de solifluxion.
- Au Sud, il existe des charriages tangentiels.
- Enfin, il existe des Horst locaux qui font remonter les terrains autochtones.

Malgré ces difficultés l'Oued Isser s'est frayé son cours au milieu des marnes schisteuses sénoniennes.

- **Conditions géotechniques du site**

- **Cuvette**

Elle occupe environ, une superficie de 21 km² et s'étend sur une quinzaine (15) de kilomètres, en amont, le long de l'Oued-Isser et de ses affluents.

La région de la cuvette est occupée en grand partie par des roches métamorphiques, de nature marno-schisteuse d'âge crétacé supérieur (Sénonien).

- **Site du barrage**

Au site du barrage les formations sont de nature schisto-marneuse recouvertes au fond de la vallée par des dépôts alluvionnaires.

Cadre d'étude

2.2 Etude topographique

- **Emplacement du site**

Le site de Koudiet-acerdoune se trouve sur la partie centrale de l'Oued Isser, a 11 km en amont du confluent Oued Djemmaa Oued Isser a 8 km au sud de Lakhdaria et a 2 km a l'Est du village de El-Hammam-Meurad qui se trouve a 8.5 km en aval de Bouira qui se trouve a 18 km en amont.

Ce site représente le principal site du barrage potentiel dans la vallée du moyen Oued-Isser qui s'étend sur 35 km, vers le Nord-Est ; entre les zones de Tablat et Kadiria.

Les falaises de Koudiet-acerdoune (428) mètres sur la rive gauche et de Koudiat-Ed Rez (541) mètres sur la rive droite, rétrécissent les vallées a une largeur de 100 m au niveau de l'Oued (217 NGA).

En amont, l'Oued prend une direction Nord-Est et s'écoule en méandres le long d'une vallée de 1 à 1.5 km de largeur, dans une plaine d'inondation qui atteint des terrasses alluviales.

2.3 Sismicité

D'après une étude statistique réalisée par l'université de Stanford, le site du barrage de Koudiet-acerdoune se trouve dans la zone Orogénique côtière ou l'Orogénie alpine a provoqué des glissements intenses ; des failles et de chevauchements et au sein de laquelle persistent encore des mouvements tectoniques.

2.4 Caractéristiques principales de l'aménagement

2.4.1 Caractéristiques du relief

Pour estimer ces paramètres, on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes.

Les résultats sont présentés dans les figures II.9 et II.10.

Cadre d'étude

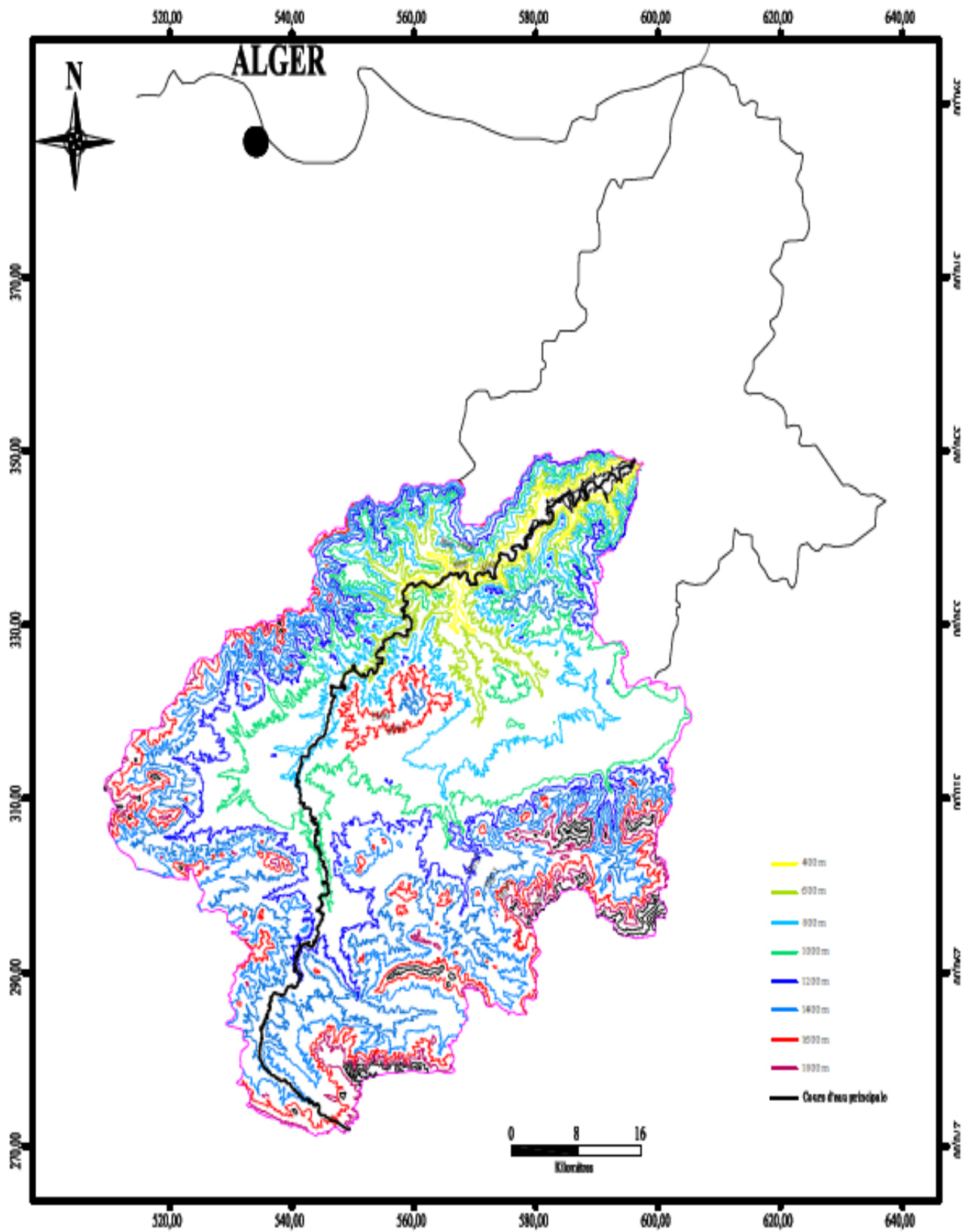


Figure II.9 - BV de l'Oued Isser en courbes de niveau au droit du barrage de Koudiet Acerdoune

Cadre d'étude

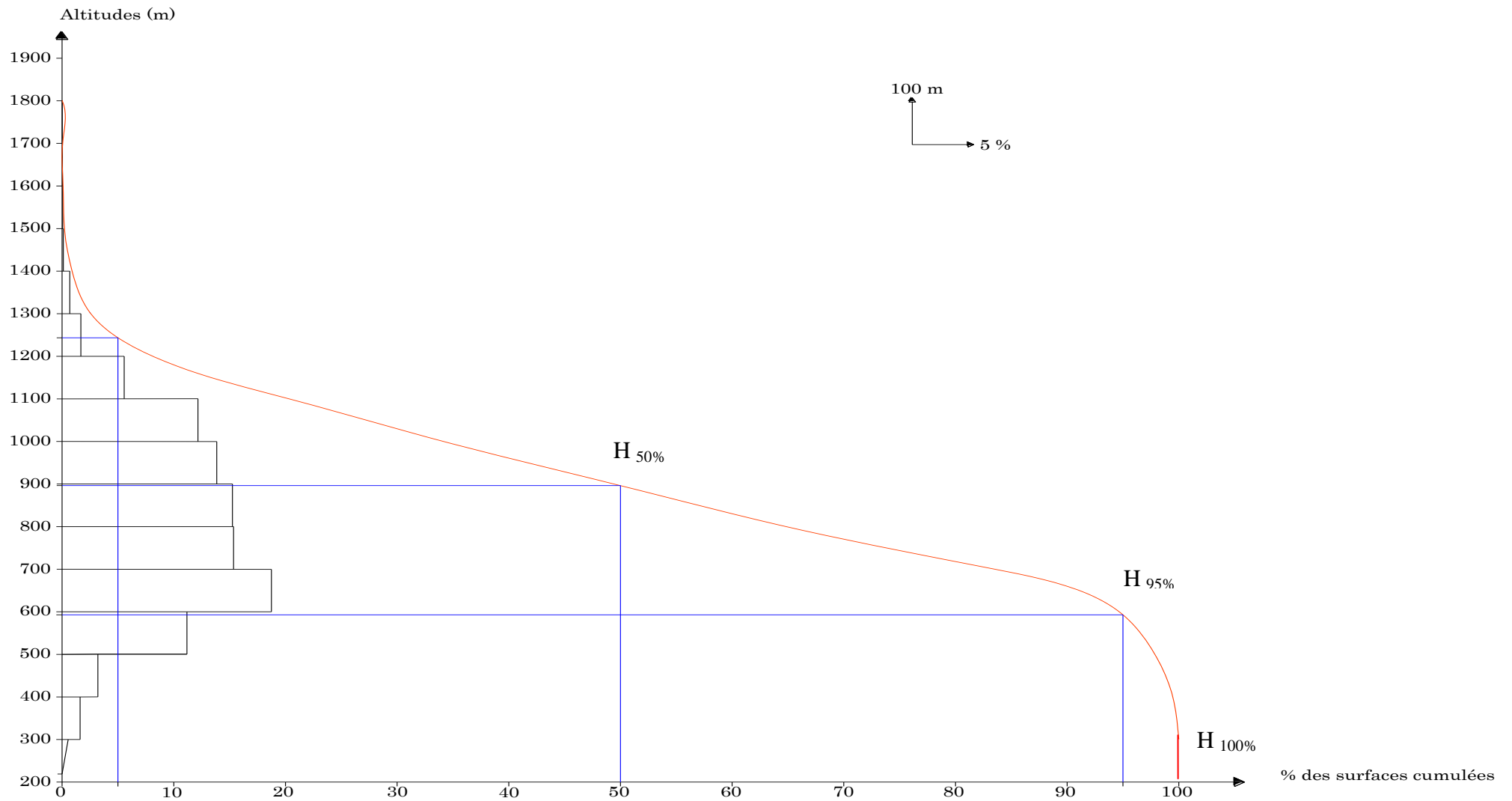


Figure II.10 - Répartition et courbe hypsométriques du BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune

Cadre d'étude

2.4.2 Relation Hauteur-Surface-Volume

Le levé topographique effectué sur le barrage en 1985, a permis de construire les courbes Hauteur-Surface-Volume (Fig II.11).

Les courbes de capacité (V) et de surface (S) de la retenue obéissent aux formules II.11 et II.12 :

$$V = 0,00364 (Z-213)^{2,634} \quad (\text{II.11})$$

$$S = 0,00141 (Z-201)^{2,014} \quad (\text{II.12})$$

2.4.3 Volume mort

Le volume des apports solides pénétrant dans la retenue a été calculé à partir de prélèvements des échantillons sédimentaires à la station de Pont de la trille, qui montre une concentration moyenne en sédiments « c » des apports par ruissellement de 35 g/l ; en estimant la densité volumique des sédiments « γ_s » à 1,4 T/m³ (ANBT, 2001) ; Le volume mort est évalué par plusieurs formules :

- **Formule de Tixeront (1960)**

Elle est définie par la relation II.13

$$T_s = \alpha \cdot Le^{0,15} \quad (\text{II.13})$$

Avec :

T_s : Transport solide en (T/Km².an) ;

Le : Lamme d'eau écoulee (mm), Le = 58,38 mm ;

A : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant, $\alpha = 350$. (ANBT)

$$T_s = 644,18 \text{ T/Km}^2 \cdot \text{an} \text{ soit } 6,44 \text{ T/Ha.an}$$

- **Formule de Sogreah (1969)**

Elle est définie par la relation II.14

$$T_s = \alpha \cdot P^{0,15} \quad (\text{II.14})$$

Avec :

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du BV ($\alpha = 350$) ;

P : Pluie moyenne annuelle (mm).

$$T_s = 882,97 \text{ T/Km}^2 \cdot \text{an} \text{ soit } 8,83 \text{ T/Ha.an}$$

- **Formule de Fournier (1960)**

Elle est définie par la relation II.15

$$E_s = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{2,65} \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0,46} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

E_s : érosion spécifique (T/Km².an)

P_m : Pluie mensuelle du mois le plus pluvieux (mm) ; P_m = 67,55 mm ;

P_a : Pluie moyenne annuelle (mm) ; P_a = 477,74 mm ;

h = 45% (H max - H min) m ;

Hmax : Altitude maximale = 1808 m ; Hmin : Altitude minimale = 219 m ;

S : Surface du bassin versant (km²) ; S = 2790 Km²

$$E_s = 120,74 \text{ T/km}^2 \cdot \text{an} \text{ soit } 1,2 \text{ T/Ha.an}$$

Cadre d'étude

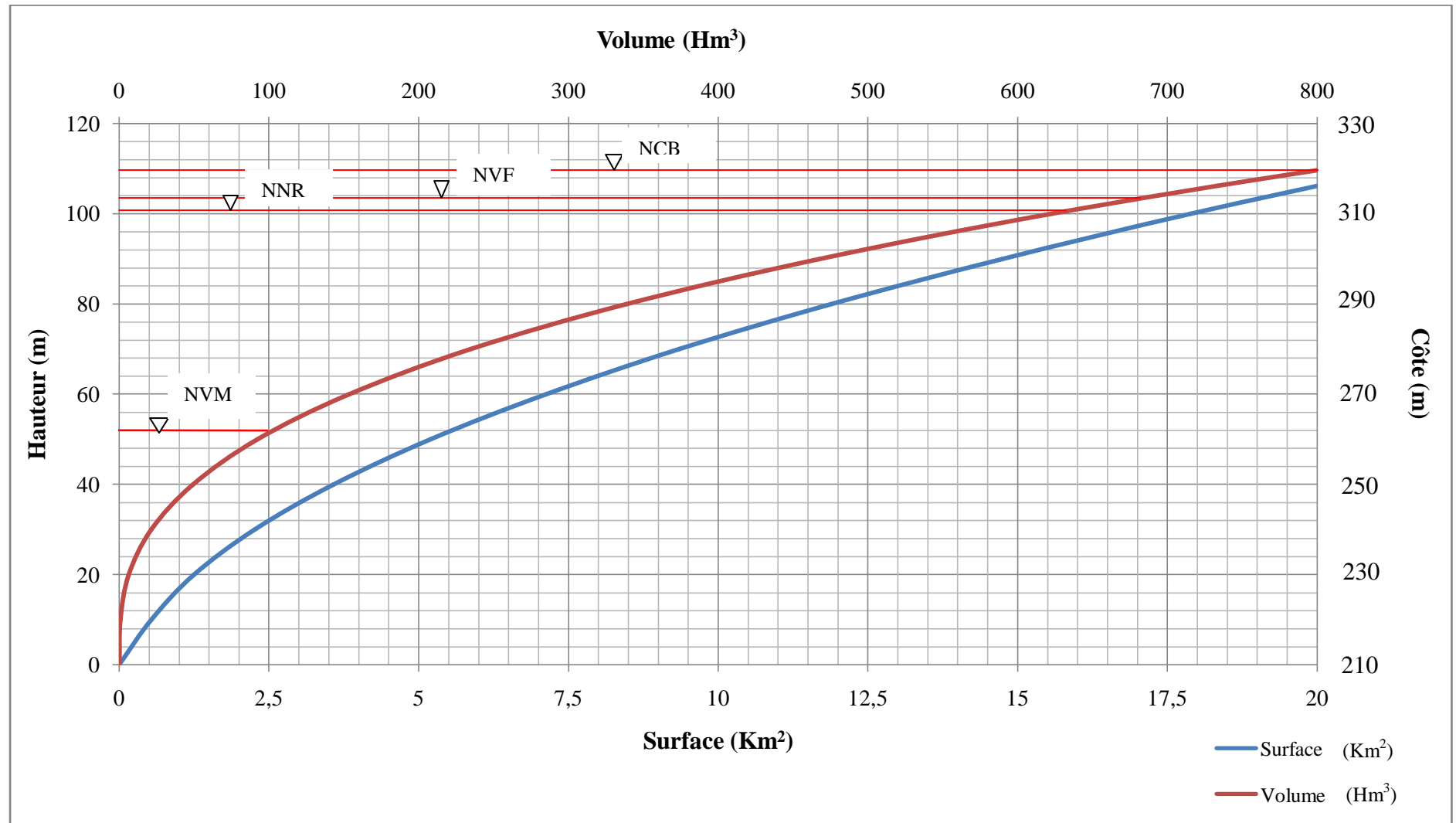


Figure II.11 - Courbes Hauteur-Surface-Volume du barrage Koudiet Acerdoune (1985)

Cadre d'étude

- **Formule de Touaibia et .al (2003)**

Cette équation estime l'érosion spécifique en utilisant plusieurs paramètres (Relation II.16) :

$$Es = 34,12 S^{-0.164} \cdot D_d^{-0.284} \cdot C_e^{0.563} \cdot C^{-0.329} \quad \text{(II.16)}$$

Avec :

Es : Erosion spécifique en (T/ha.an) ;

S : Superficie du bassin versant ; ($S = 2790 \text{ km}^2$)

D_d : Densité de drainage ; ($D_d = 13,5 \text{ km/km}^2$)

C_e : Coefficient d'écoulement ; ($C_e = 19 \%$)

C : Pourcentage du bassin possédant un couvert végétal ; ($C = 10 \%$)

$$Es = 10,91 \text{ T/ha.an}$$

- **Formule de Gravilovitch (1972)**

Cette relation est largement utilisée en Algérie, elle fait intervenir des caractéristiques physiques et un indice climatique du bassin versant (Relation II.17).

$$\begin{aligned} T_0 &= T_{sp} \cdot G_{rm} & \text{(II.17)} \\ T_{sp} &= T \cdot P_{moy} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \\ T &= \sqrt{\frac{t}{10}} + 1 \\ G_{rm} &= \frac{(\sqrt{P} + H_{moy})}{0,2 \cdot (L + 10)} \end{aligned}$$

Avec :

T₀ : taux d'abrasion (T/Km².an) ;

T_{sp} : le taux de la production annuel des matériaux en (m³/km².an) ;

G_{rm} : taux de rétention des sédiments produits par le bassin ;

T : coefficient thermique ;

Z : coefficient d'érosion relative en fonction de la description du bassin versant

$$Z = 0,5 ; \text{ (ANBT) ;}$$

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (mm) ;

t : Température moyenne annuelle (°C) ; $t = 15,5 \text{ °C}$;

P : Périmètre du bassin versant (Km) ; $P = 320,7 \text{ km}$;

L : Longueur du talweg principal (Km) ; $L = 98,2 \text{ km}$;

H_{moy} : Altitude moyenne (km) ; $H_{moy} = 0,806 \text{ km}$.

On trouve : $T = 2,245$; $T_{sp} = 1191,28 \text{ Km}^2/\text{an}$; $G_{rm} = 0,86 \text{ T/m}^3$;

$$T_0 = 1024,5 \text{ T/km}^2 \cdot \text{an} \text{ soit } 10,25 \text{ T/Ha.an}$$

Les résultats sont résumés dans le Tableau II.9

Cadre d'étude

Tableau II.9 - Erosion spécifique du barrage Koudiet Acerdoune

Formule	Es (T/Ha.an)
Tixeront	6,44
Sogreah	8,83
Fournier	1,2
Touaibia	10,91
Gravilovitch	10,25

Le B.V de l'Oued Isser est considéré comme érodable, au vu du seuil d'érosion de 10 T/ha.an dépassé (Touaibia, 2000).

Au vu du tableau II.9, l'érosion spécifique calculée par Gravilovitch et Touaibia est similaire. Celle de Touaibia est prise en considération.

Elle est à majorer de 15% (Gomer, 1994), par la considération du charriage dans le calcul du volume mort.

Le volume mort serait :

$$V_m = \frac{Es \cdot T \cdot S}{\gamma_s} \quad \text{(II-18)}$$

Avec :

T : Durée de remplissage par sédimentation du barrage (50 ans);

γ_s : Poids spécifique des sédiments (1,4 T/m³);

S : Surface du bassin versant (2790 Km²).

$$V_m = 125 \text{ Hm}^3$$

Cela conduit la régularisation pour un remplissage de sédiments après 5-15-30 et 50 années d'exploitation à des niveaux correspondants de 235-245-255-265 m.

2.4.4 Retenue

Les caractéristiques de la retenue sont présentées dans le Tableau II.10

Tableau II.10 - Caractéristique de la retenue du barrage

<i>Caractéristiques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Niveau normal (NR)	m	311
Niveau de plus hautes eaux (PHE)	m	319.64
Niveau minimum d'exploitation	m	245 (agricole) - 275 (potable)
Volume utile	Hm ³	520
Volume annuelle régularisé	Hm ³	178
Volume totale	Hm ³	640

(Source : ANBT, 2001)

Cadre d'étude

2.4.5 Barrage

Les caractéristiques du barrage sont présentées dans le Tableau II.11

Tableau II.11 - Caractéristique du barrage Koudiet Acerdoune

<i>Caractéristiques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Type	-	BCR
Hauteur maximale	m	Au dessus du terrain naturel : 101 Au dessus des fondations : 116
Longueur en crête	m	480
Largeur en crête	m	8
Largeur maximale au niveau du terrain naturel	m	132
Fruit du parement amont	-	0.65 H/1V
Fruit du parement aval	-	0.65 H/1V
Cote de la crête	m	321

(Source : ANBT, 2001)

2.4.6 Prise d'eau

- **Irrigation**

Il existe deux (02) prises calées aux côtes 245 et 260 raccordées à une conduite Φ 1600.

- **A.E.P**

Il existe deux (03) prises calées aux côtes 275, 290 et 303 débouchant dans un puits incliné.

2.4.7 Evacuateur de Crue

Les caractéristiques de l'évacuateur de crue sont présentées dans le Tableau II.12

Tableau II.12 - Caractéristique de l'évacuateur de crue

<i>Caractéristiques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Type	-	Déversoir de surface a seuil libre, coursier et saut de ski
Localisation	-	Partie centrale du barrage
Cote de la crête	m	311
Cote du bac aval du saut de ski	m	235
Longueur total de l'évacuateur	m	142,20
Longueur utile	m	130,20 répartie en 7 passes
Débit maximal	m ³ /s	7000 pour PHE à 319,64 m

(Source : ANBT, 2001)

Cadre d'étude

2.4.8 Vidange de fond

Les caractéristiques de la vidange de fond sont présentées dans le Tableau II.13

Tableau II.13 - Caractéristique de la vidange de fond

<i>Caractéristiques</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeurs</i>
Type	-	1 pertuis dans le corps du barrage
Localisation	-	Rive gauche, contigüe a l'évacuateur de crues
Calage de l'entrée	m	230
Section du pertuis	m	A l'amont des vannes : 4 * 4.20 A l'aval des vannes : 8 * 7
Vanne	m	De contrôle du débit : vanne segment de 4 * 4; De garde : vanne wagon 4 * 4.20 ; Débit maximum : 470 m ³ /s sous RN 311.

(Source : ANBT, 2001)

III. Conclusion

L'étude du bassin versant a permis de constater son importance dans le système des bassins versants du Nord Algérien et l'importance des ouvrages hydrauliques existants ou en projet.

L'étude géologique a permis d'identifier le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune en deux zones ; le haut et le moyen Isser.

Le site du barrage est implanté dans une zone appartenant aux atlas.

Les formations géologiques sont essentiellement composées de roches schisto-marneuses, calcaires dolomitiques, marnes schisteuses et calcaires (crétacé moyen, crétacé supérieur et jurassique inférieur).

Le bassin versant de l'Oued Isser peut être considéré comme étant le « Réservoir en eau » du centre de l'Algérie.

Le barrage de Koudiet Acerdoune est un ouvrage en béton compacté au rouleau, assure à lui seul l'alimentation de quatre wilayas, grâce a un volume régularisé de 178 Mm³. Il constitue un des ouvrages majeurs dans la politique de mobilisation des ressources en eau de l'Algérie.

CHAPITRE III

ETUDE ET MISE EN FORME DES DONNEES

Etude et mise en forme des données

La collecte et la mise en forme des données est la phase la plus délicate et la plus difficile en hydrologie.

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

Il importe pour l'utilisateur gestionnaire :

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

I. Etude des précipitations

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et géographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations, qui constituent le facteur essentiel intervenant par : leur total annuel et leur répartition mensuelle qui influence directement les régimes hydrologiques.

1.1 Postes pluviométriques dans le BV de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune

Le réseau pluviométrique du BV de l'oued Isser au droit du barrage de Koudiet Acerdoune comporte 11 stations pluviométriques opérationnelles, dont les données sont fournies par l'ANRH. Leur identification est donnée dans le tableau III.1

L'implantation de ces stations est représentée dans la **Fig II.7**.

Tableau III.1 - Identification des stations pluviométriques

N°	Station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	Equipement	N _{obs}
1	Ain Boucif	011104	540.75	287.8	1250	PV	35
2	Souaghi	090104	548.95	312.4	810	PV	32
3	El Omaria	090201	530.20	329.20	790	PV+PG	36
4	Tablat Drs	090203	554.75	345.80	450	PV	39
5	El Omaria PEP	090205	533.05	327.45	659	PV	31
6	Djouab	090301	566.95	315.55	825	PV	38
7	Beni Slimane	090302	557.2	322.65	600	PV+PG	35
8	Pont de la traille	090304	559.15	343.00	370	PV+PG	31
9	Dechmya	090314	578.50	316.35	850	PV+PG	35
10	Khabouzia	090401	579.15	334.35	720	PV	39
11	Bsibsa	090419	570.25	354.5	820	PV	37

PV : Pluviométrie et **PG** : pluviographe

1.2 Homogénéisation des données pluviométriques

Avant de commencer tout travail avec les données des stations pluviométriques, il faudrait obligatoirement combler les lacunes de celles-ci. Ainsi l'homogénéisation des pluies mensuelles a été faite par la méthode des rapports et les pluies annuelles par la méthode de régression.

- **Méthode des rapports**

Cette méthode utilise le rapport entre la somme des précipitations pendant une période homogène de la station à ajuster et la somme des précipitations pour la période correspondante à la station de comparaison (relation III.1 et III.2).

$$Y = b \cdot X \quad (\text{III.1})$$

Avec :

Y : valeur pluviométrique pendant une période homogène de la station à ajuster.

X : valeur correspondante à la station de référence.

b : constante d'ajustement.

$$b = V/U \quad (\text{III.2})$$

V : Somme des précipitations pendant une période homogène de la station à ajuster.

U : Somme des précipitations pour la période correspondante à la station de comparaison.

- **Méthode de la régression linéaire**

Elle permet le comblement des lacunes d'observation par rapport à une station de référence, cette dernière doit être proche d'une station à corriger.

Le facteur qui lie cette régression est le coefficient de corrélation 'r' estimé à partir de 'n' couples de valeurs observées simultanément, il est déterminée par l'expression III.3 :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

X_i : variable connue de la station de référence à partir de laquelle est estimée la variable inconnue de la station à étudier.

Y_i : Variable de la station à étudier.

\bar{X} : Moyenne de la série d'observation de référence.

\bar{Y} : Moyenne de la série à étudier.

1.3 Détermination de la station représentative du BV et du barrage

L'étude des précipitations nécessite la connaissance de la station représentative du B.V.

1.3.1 Analyse en composante principales (ACP)

L'analyse en composantes principales, permet de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives, et par sa capacité de concentrer l'information dans un nombre réduit de nouvelles variables.

Cette étude est appliquée sur des données des précipitations annuelles dont nous avons disposons en formant une matrice initiale rectangulaire avec en ligne les valeurs des précipitations annuelles de dix-sept stations (11) et en colonne les 42 années d'observations.

Etude et mise en forme des données

Les résultats sont présentés dans le Tableau III.2

Tableau III.2 - Vecteurs Régionaux de l'ACP

C_P	Valeur	Pourcentage (%)	Cumul (%)
011104	6,72	61,03	61,03
090104	1,15	10,46	71,48
090201	0,78	7,08	78,61
090203	0,55	5,03	83,64
090205	0,50	4,57	88,21
090301	0,39	3,58	91,79
090302	0,33	2,98	94,77
090304	0,25	2,28	97,05
090314	0,17	1,56	98,61
090401	0,12	1,1	99,71
090419	0,04	0,29	100

1.3.2 Analyse des résultats de L'A.C.P

Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales sont résumés dans les Tableaux III.3, III.4, III.5, III.6, III.7 et Fig III.1, III.2.

Tableau III.3 - Moyenne et écart Type des variables Initiales

Station	011104	090104	090201	090203	090205	090301	090302	090304	090314	090401	090419
Moyenne	346,73	347,21	442,07	593,34	356,82	525,28	381,33	477,74	452,47	416,96	730,97
écart-type	162,81	74,78	149,64	187,95	101,98	180,77	98,94	140,09	168,23	170,87	181,55

Tableau III.4 - Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

St	011104	090104	090201	090203	090205	090301	090302	090304	090314	090401	090419
011104	1,00	0,25	0,50	0,58	0,38	0,43	0,62	0,45	0,49	0,57	0,31
090104	0,25	1,00	0,61	0,62	0,65	0,46	0,66	0,65	0,19	0,43	0,48
090201	0,50	0,61	1,00	0,64	0,64	0,51	0,62	0,73	0,47	0,61	0,51
090203	0,58	0,62	0,64	1,00	0,62	0,64	0,78	0,88	0,45	0,79	0,68
090205	0,38	0,65	0,64	0,62	1,00	0,31	0,72	0,57	0,32	0,58	0,50
090301	0,43	0,46	0,51	0,64	0,31	1,00	0,60	0,63	0,67	0,66	0,54
090302	0,62	0,66	0,62	0,78	0,72	0,60	1,00	0,79	0,39	0,74	0,52
090304	0,45	0,65	0,73	0,88	0,57	0,63	0,79	1,00	0,47	0,69	0,69
090314	0,49	0,19	0,47	0,45	0,32	0,67	0,39	0,47	1,00	0,50	0,48
090401	0,57	0,43	0,61	0,79	0,58	0,66	0,74	0,69	0,50	1,00	0,62
090419	0,31	0,48	0,51	0,68	0,50	0,54	0,52	0,69	0,48	0,62	1,00

Le choix du nombre d'axe principaux se fait par le critère de Kaiser.

- **Critère de Kaiser**

Dès que la valeur propre devient inférieure à 1, on prend le nombre d'axe qui correspond.

- D'après le critère, on prend 2 axes principaux, il y'a jusqu'à 71,48% de la variance qui est expliquée.

Etude et mise en forme des données

Tableau III.5 - Valeur propre, variances expliquées et variances cumulées

Axes	C1	C2
Valeurs propres	6,72	1,15
Variances expliquées %	61,03	10,46
Variances cumulées %	61,03	71,48

Tableau III.6 - Projection des variables actives

St	C1	C2
011104	0,64	0,32
090104	0,71	-0,51
090201	0,74	-0,41
090203	0,90	-0,10
090205	0,80	-0,12
090301	0,75	0,39
090302	0,88	-0,15
090304	0,90	-0,04
090314	0,62	0,63
090401	0,85	0,13
090419	0,74	0,03

Tableau III.7 - Projection des observations

Année	C1	C2	Année	C1	C2
1970	-0,77	0,73	1991	0,29	-2,07
1971	2,16	-1,11	1992	-1,12	0,09
1972	1,37	-0,96	1993	-1,16	0,77
1973	0,76	-1,02	1994	0,49	-0,52
1974	-0,40	-0,52	1995	0,09	0,48
1975	1,00	-2,20	1996	-1,63	0,25
1976	-0,46	-0,90	1997	0,81	-0,32
1977	-0,40	1,61	1998	-0,30	0,36
1978	-0,07	0,89	1999	-1,58	0,30
1979	0,78	-1,56	2000	0,11	-0,78
1980	-0,47	-0,02	2001	-2,03	0,54
1981	0,04	0,09	2002	2,04	2,85
1982	-0,48	-0,79	2003	0,99	0,85
1983	-1,10	0,86	2004	-0,54	0,12
1984	0,53	0,14	2005	0,15	0,24
1985	-0,24	-0,01	2006	1,02	1,12
1986	-0,08	-0,25	2007	0,14	1,43
1987	-1,48	0,06	2008	0,55	0,82
1988	-0,71	-0,80	2009	0,89	-0,17
1989	-1,16	-1,24	2010	1,73	1,33
1990	-0,76	-0,76	2011	0,97	0,07

Etude et mise en forme des données

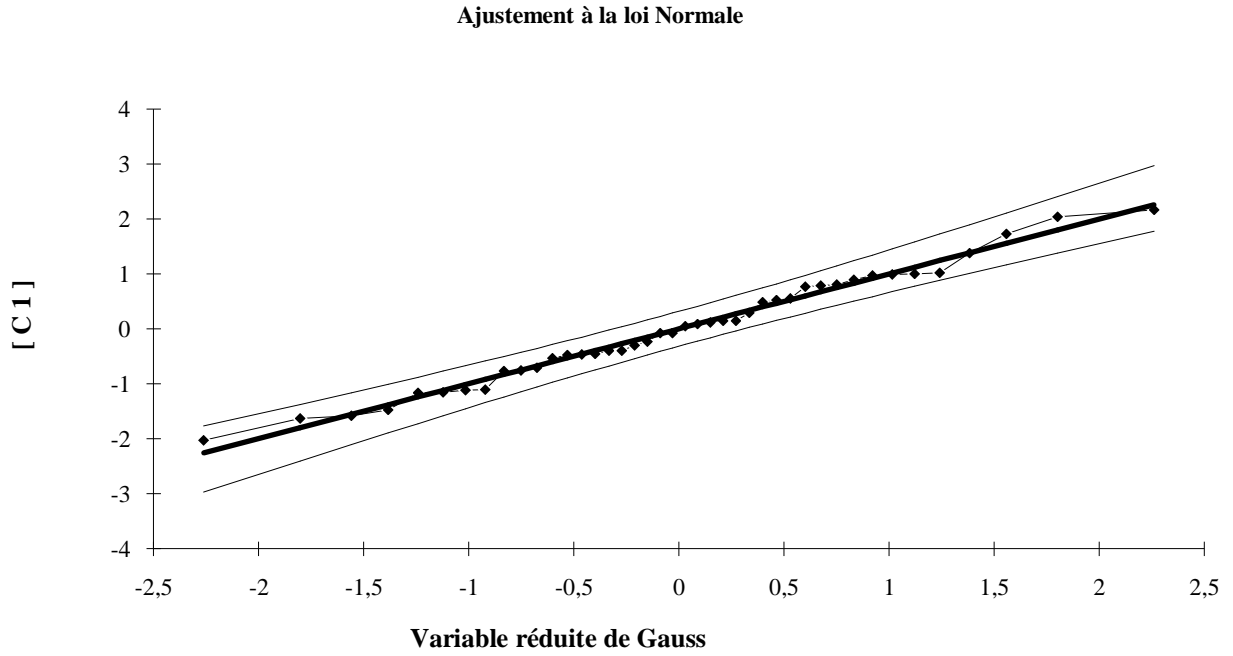


Figure III.1 - Ajustement du vecteur régional C1 à la loi Normale

La projection des variables sur l'axe C1 et C2 est illustrée sur la figure III.2

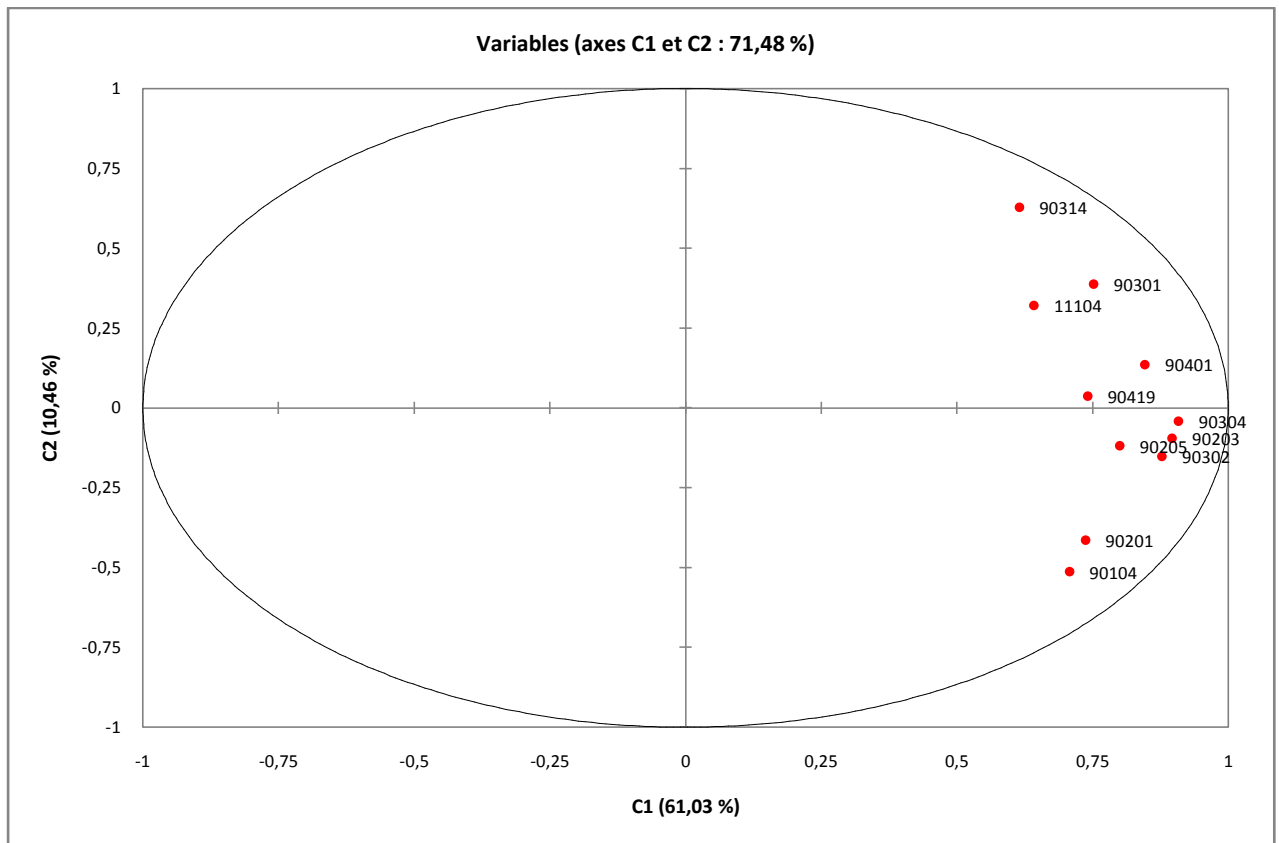


Figure III.2 - Projection des variables sur le plan 1-2

1.3.3 Interprétation

A la première lecture du graphique III.2, le comportement du nuage de point pesant est autour du premier axe C1 qui explique à lui seule 61,03 % de la variance, ce qui nous fait dire que la tendance dominante est autour du premier axe C1.

L'analyse de la corrélation montre une régionalisation des précipitations au niveau du bassin.

Au vu de la Fig III.2, les stations pluviométriques s'organisent en 03 trois groupes.

- ***Le premier groupe (G1)***

- Il est composé des stations (090401, 090419, 090304, 090203, 090205 et 090302). peut être expliquée par leur position géographique (N-W du bassin), c'est une zone formée par la plaine de Béni Slimane et la plaine des Arribs, elle correspond à l'échelle régionale au prolongement Ouest de la dépression de la Soummam.
- Les stations pluviométriques présentes des coefficients de corrélations supérieures à 0.74.
- La pluviométrie dans cette zone (360-730 mm) est forte, ceci est dû à sa situation par rapport à la mer.

- ***Le deuxième groupe (G2)***

- Il est composé des stations (090314, 090301 et 11104) se situe dans la partie Sud-Est du bassin. Elle présente des coefficients de corrélations inférieurs à 0.75.
- La pluviométrie moyenne (350-520 mm) est faible comparée à celle de la premier zone, ceci dû à son éloignement de la mer et à sa position d'abri par rapport à la barrière arquée formée par l'Atlas de Tablât et le prolongement Ouest de la chaîne calcaire.

- ***Le troisième groupe (G3)***

- Il est composé de deux stations (090104 et 090201) se situe dans la partie Sud-Ouest du bassin. Elle présente a priori le même coefficient de corrélation (0.74).
- La pluviométrie moyenne (340-420 mm) est très faible comparée au deux groupes (G1 et G2).

1.4 Stations représentatives des différentes zones de mêmes régimes de précipitations

L'analyse en composantes principales a permis de dégager les stations représentatives des zones de même régime de précipitations, et de déterminer la station représentatif de la retenue du barrage.

Les codes des stations représentatives des différents sous bassins sont donnés dans le Tableau III.8 et pour le bassin versant dans le Tableau III.9.

Tableau III.8 - Codes et Noms des stations pluviométriques représentatives des Sous Bassins

Zones	Code et Nom de la station représentative
G1	090304 Pont de la Traille
G2	090301 Djouab
G3	090201 El Omaria

Tableau III.9 - Code et Nom de la station pluviométrique représentative de la retenue du barrage Koudiet Acerdoune

Retenue du barrage	Code et Nom de la station représentative
Koudiet Acerdoune	090304 Pont de la Traille

Les différentes zones de précipitations, ainsi que l'implantation des stations pluviométriques représentatives de ses zones sont représentées dans la figure III.3.

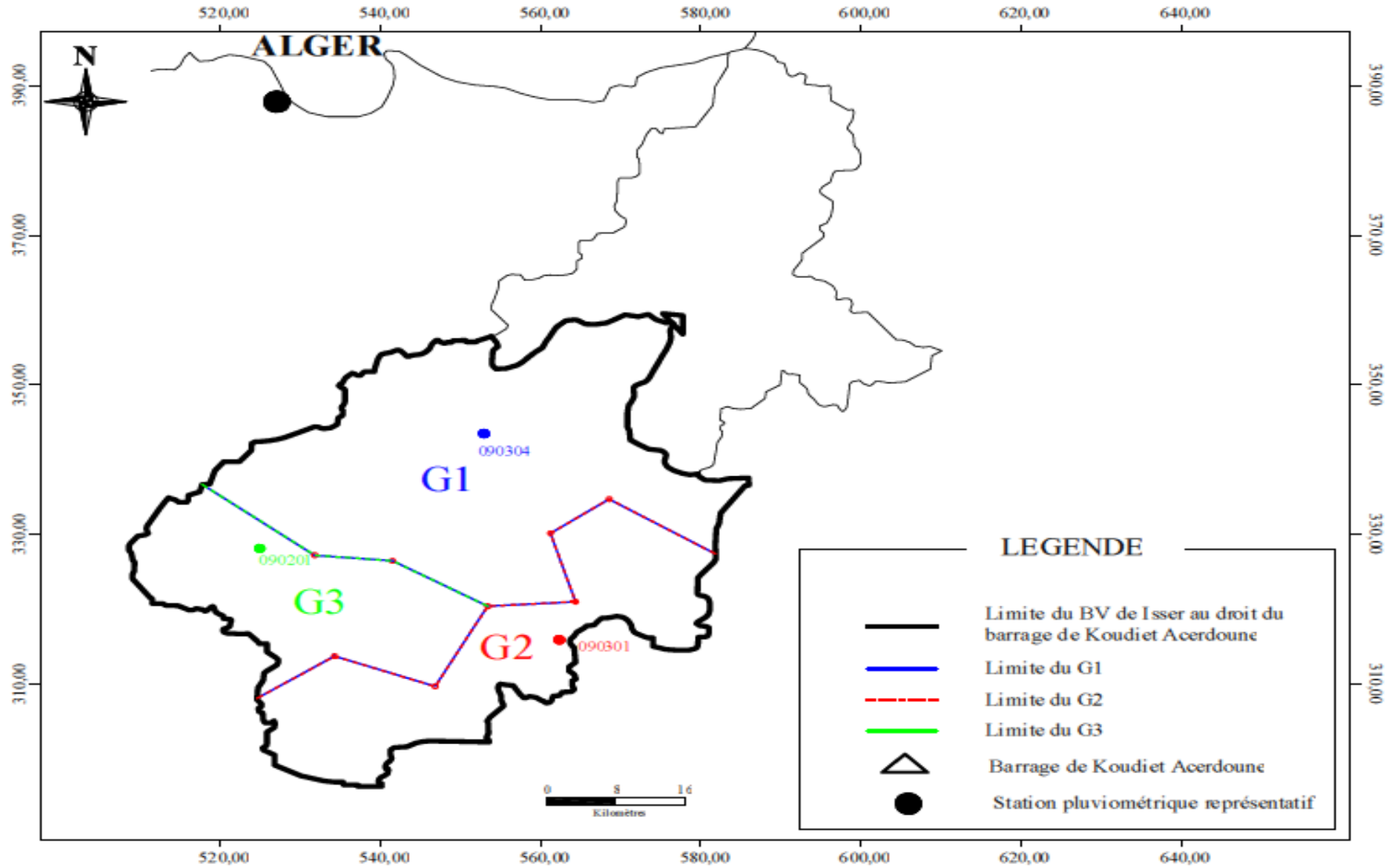


Figure III.3 - Zones de précipitations du BV du barrage Koudiet Acerdoune

1.5 Précipitations sur l'ensemble du BV

Pour le calcul des précipitations moyennes au niveau du BV du barrage Koudiet Acerdoune, la méthode de Thiessen est utilisée. C'est une méthode arithmétique où pour chaque station pluviométrique une zone d'influence définie géométriquement lui est attribuer, cette méthode ne dépend ni de la distribution spatiale des pluies ni de la topographie du bassin versant.

La précipitation moyenne sur l'ensemble du bassin est déterminée par l'expression III.4 :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i}{A} \quad \text{(III.4)}$$

Avec :

- P_{moy} : lame d'eau moyenne sur le bassin (mm).
- P_i : lame d'eau enregistrée à la station i (mm).
- A_i : la surface d'influence de la station i (Km^2).
- A : surface totale du basin versant (Km^2).

Les surfaces d'influence des stations pluviométriques sont présentées dans le Tableau III.10 et Fig III.4.

Tableau III.10 - Surfaces d'influence des stations pluviométriques

Stations	011104	090104	090201	090203	090205	090301	090302	090304	090314	090401	090419
P (mm)	346	347	442	593	357	525	381	478	452	417	731
S (Km^2)	283	237	377	248	269	218	199	334	271	187	167

La lame d'eau précipitée moyenne calculée sur l'ensemble du bassin versant est de 453 mm.

- **Station représentative du B.V**

Après avoir tiré la station représentative du BV, la moyenne interannuelle des précipitations est calculée pour la période 1970/71 – 2011/12 et ce pour tirer après les années sèches et les années humides, en comparant les valeurs des précipitations annuelles avec la moyenne interannuelle (Fig III.5).

La précipitation moyenne interannuelle P_0 est estimée à 477,74 mm.

Au vu de la figure III.5, il est à noter :

- ✓ Qu'il y a pour la période 1970/71 – 2011/12 : 22 années sont sèches ; 20 années sont humides ;
- ✓ Les périodes de sécheresse durent de 1 an à 4 ans ;
- ✓ Durant les dernières Quarante deux années : Une seul période de sécheresses de 4 ans une période humide de 3 ans qui ce produisent.

Etude et mise en forme des données

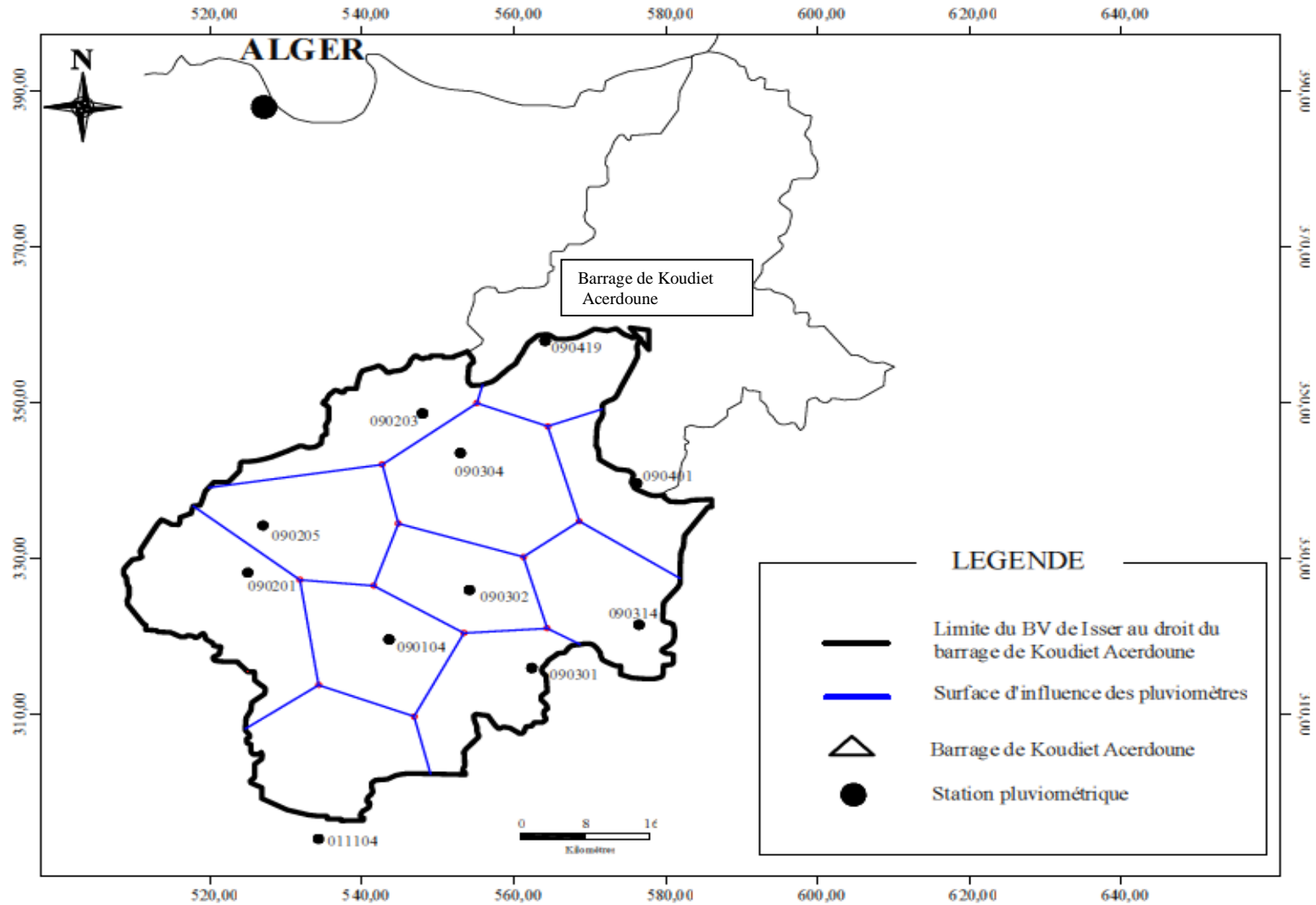


Figure III.4 - Zones d'influence des stations pluviométriques

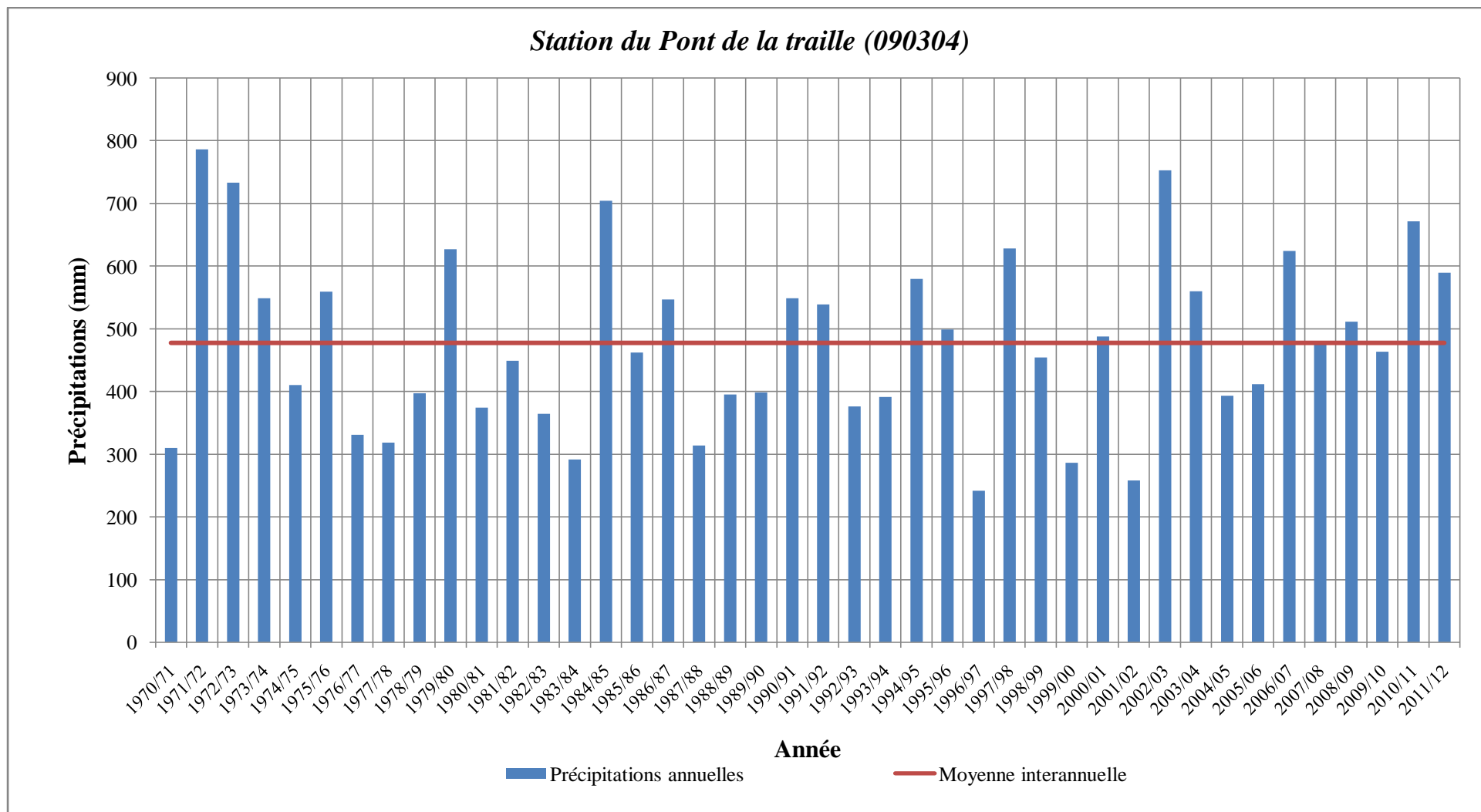


Figure III.5 - Evolution temporelle des précipitations (Station de Pont de la Traille)

II. Etude et critique des données

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

2.1 Données disponibles

- **Pluie**

Vu le manque de donnée au niveau de la station pluviométrique du barrage (série de 2011 et 2012 seulement), la station du Pont de la Traïlle **090304** sera prise comme station représentatif de la retenue du barrage pour notre étude. Nous disposons d'une série d'observation de pluie de 42 années (1970/71-2011/12).

- **Apports**

Nous disposons d'une série d'observation de 35 années mesurées à partir des deux stations hydrométriques Lakhdaria-La Traïlle avec un pas de temps mensuel s'étalant 1966/67 à 2000/01.

- **Evaporation**

C'est un facteur très important dans notre pays à cause du climat semi-aride. Nous disposons d'une série d'observation de 20 années mesurées à partir de la station de la wilaya du Médéa avec un pas de temps mensuel (de 1992 à 2011).

Cette station a été choisie après une corrélation avec la station du barrage Koudiet acerdoune.

- **Evapotranspiration**

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.

L'évapotranspiration potentielle (E_{TP0}) est calculée à partir de la formule de BOUTOUTAOU et *al.* (2003). Pour les conditions climatiques de l'Algérie (période de 20 années (1992-2011), elle est donnée par l'expression III.5 :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot (1 - H/100) \quad \text{(III.5)}$$

Ou :

E_0 : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle, (mm) ;

T : température moyenne annuelle de l'air, (° C) ;

H : Humidité relative moyenne annuelle de l'air, (%) ;

β : coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant de 0,73 à 1,49.

Etude et mise en forme des données

Le rapport entre l'évaporation réelle et les précipitations est appelé « coefficient d'évaporation », définie par la relation III.6 :

$$\eta = E_R/P \quad (\text{III.6})$$

L'expression III.7 définit le coefficient d'évaporation en fonction de l'indice d'aridité trouvée pour les conditions climatiques de l'Algérie :

$$\eta = 0,9953 \cdot \text{Exp} [-0,5105 \cdot (P/E_0)] \quad (\text{III.7})$$

Après avoir calculé le coefficient d'évaporation, l'évapotranspiration réelle est calculée.

• Autre données

Nous disposons également d'un certain nombre de données, considérés comme entrées dans les modèles de gestion à entreprendre et qui sont :

- Volume de fuite ;
- Volume de la vidange de fond ;
- Volume alloué à la consommation (AEP, AEI et Irrigation).

2.2 Précipitations

- La précipitation moyenne interannuelle enregistrée sur la période 1970/71-2011/12 est de 478 mm, avec un coefficient de variation de 0,25.
- Un ajustement à la loi de distribution log normale est établie (Fig III.6).

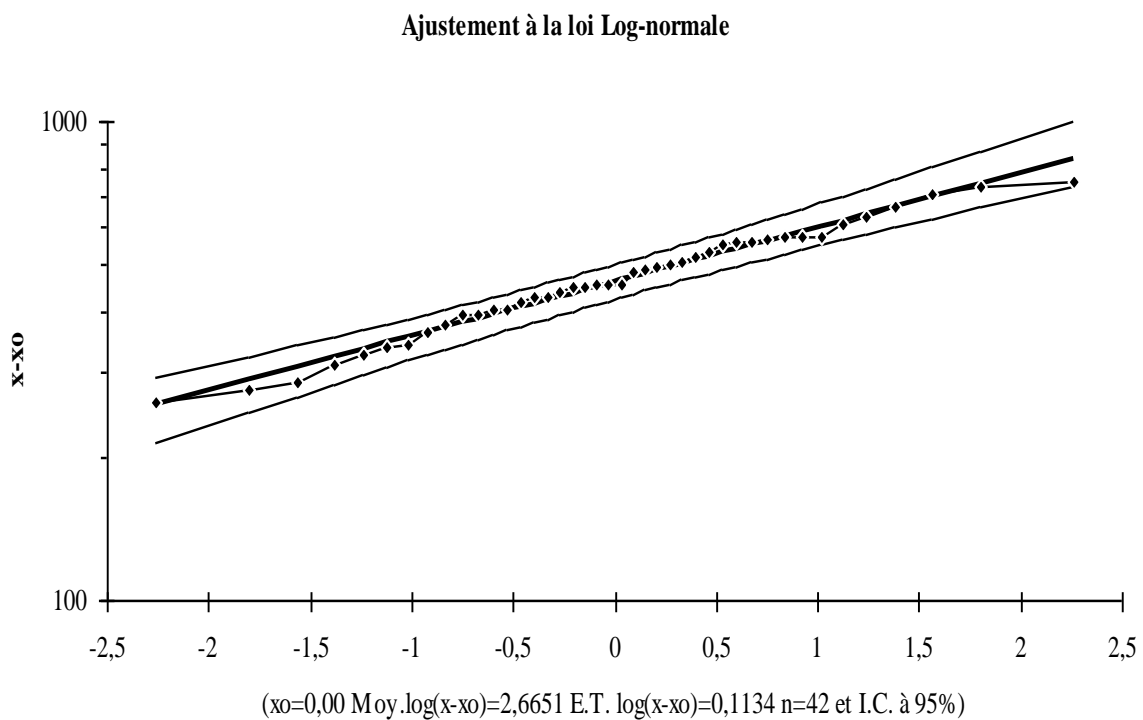


Figure III.6 - Ajustement des précipitations annuelles (Pont de la Traille)

Etude et mise en forme des données

- La précipitation intra-annuelle répartie sur la période 1970/71-2011/12 est présentée dans le tableau III.11 :

Tableau III.11 - Précipitation intra-annuelle 1970/71-2011/12
(Pont de la Traille)

Mois	Moyenne (mm)	C _v
Septembre	31,00	0,95
Octobre	38,80	0,93
Novembre	57,30	0,65
Décembre	66,49	0,71
Janvier	68,04	0,78
Février	62,79	0,79
Mars	55,06	1,03
Avril	45,21	0,60
Mai	34,89	0,95
Juin	7,40	1,34
Juillet	5,03	2,49
Août	5,75	1,83

- Les valeurs maximales sont observées en Décembre-Janvier-Février-Mars, par contre les valeurs minimales sont observées en Juin-Juillet-Août.
 - La variation du coefficient de variation d'une année à l'autre est importante.
- Leur répartition saisonnière est présentée sur la Fig III.7 :

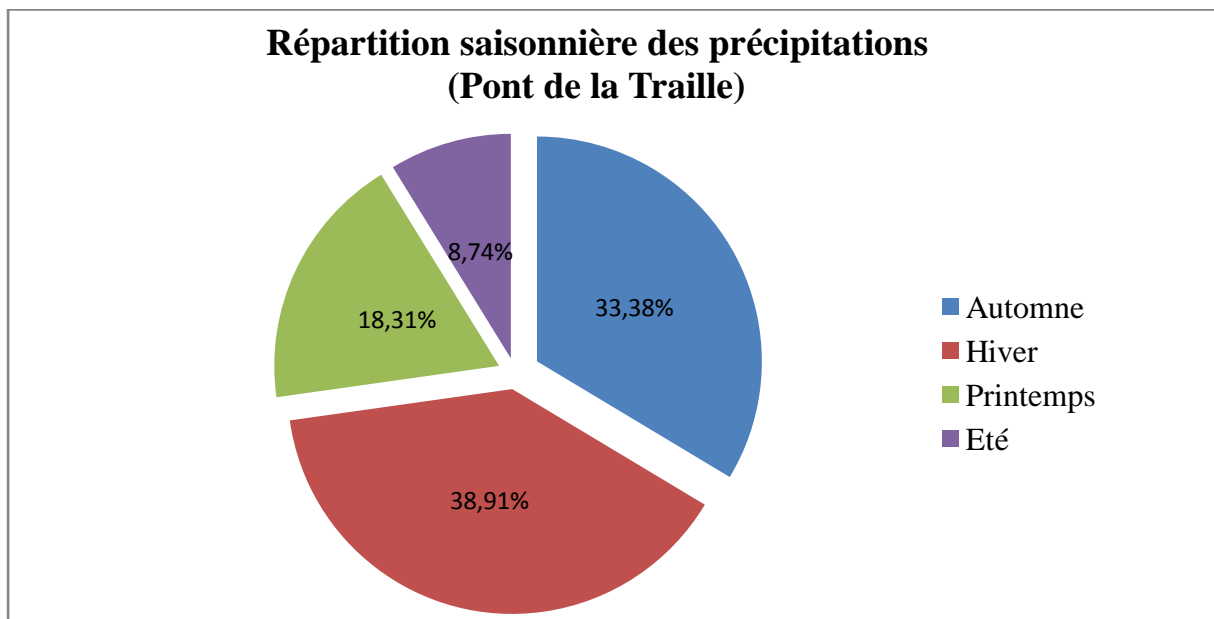


Figure III.7 - Répartition saisonnière des précipitations (Pont de la Traille)

L'Hiver est la saison la plus pluvieuse, l'Automne est également marqué par une forte pluviosité, par contre l'Été est la saison la plus sèche.

2.3 Apports

Les apports jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrologique du cycle de l'eau.

Les apports sont influencés par :

- Le cumul annuel, saisonnier, mensuel et journalier des précipitations et avec leur distribution sur la surface totale du BV ;
 - La surface du BV ;
 - La forme du réseau hydrographique du BV ;
 - La perméabilité du BV ;
 - L'humidité du sol.
- L'apport moyen interannuel enregistré sur la période 1966/67-2000/01 est de 128,74 Hm³, avec un coefficient de variation de 0,80.
 - Un ajustement à la loi de distribution log normale est établi (Fig III.8).

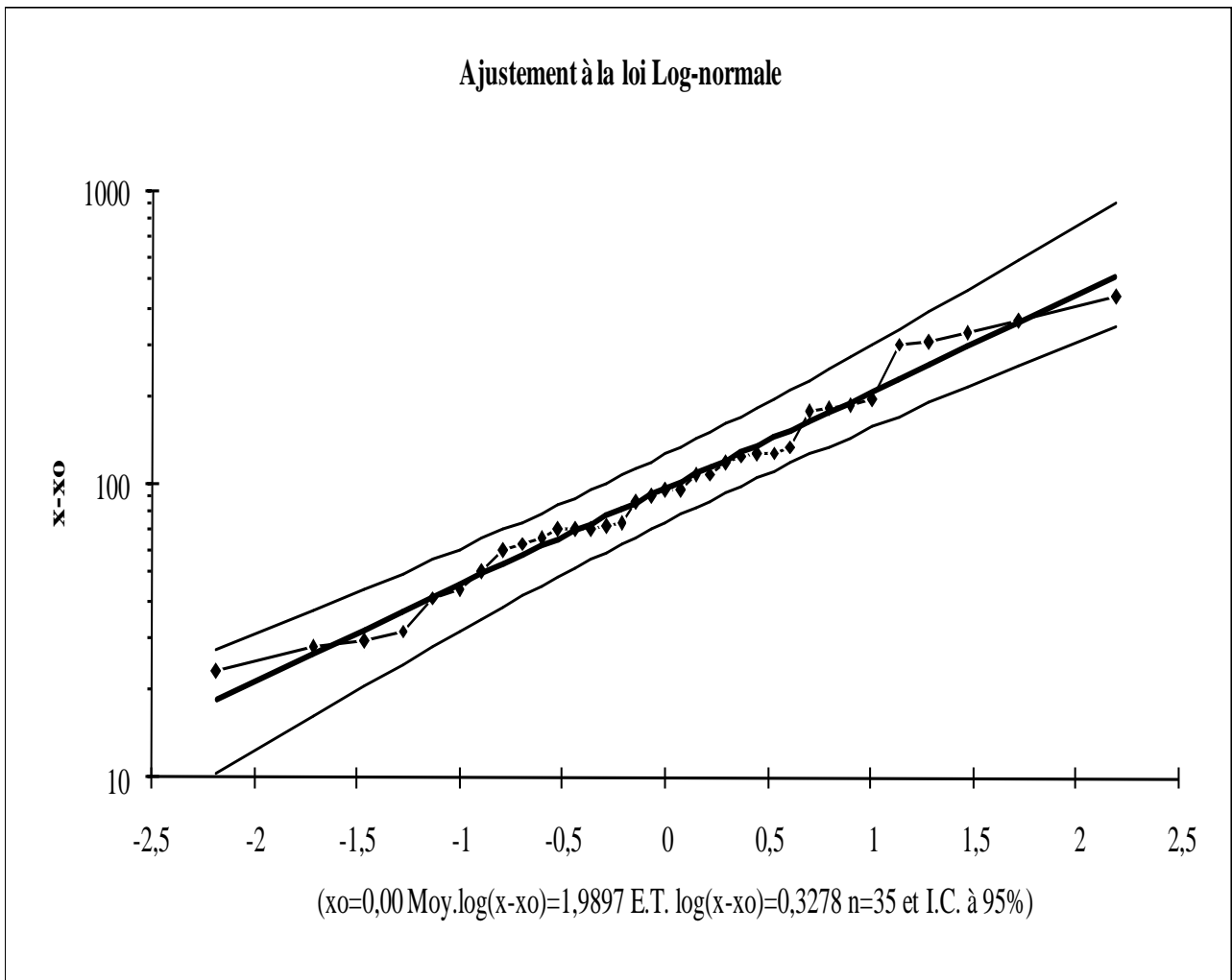


Figure III.8 - Ajustement des apports annuels (Barrage Koudiet Acerdoune)

Etude et mise en forme des données

- L'apport intra-annuel réparti sur la période 1966/67-2000/01 est présenté dans le tableau III.12 :

Tableau III.12 - Variation intra-annuelle des apports 1966/67-2000/01
(Barrage de Koudiet Acerdoune)

	Mois	Moyenne (Hm ³)	C _v
Eté	Septembre	2,87	1,47
	Octobre	5,06	1,50
Automne	Novembre	5,75	1,46
	Décembre	19,36	1,40
Hiver	Janvier	24,79	1,45
	Février	23,12	1,27
	Mars	23,37	1,20
Printemps	Avril	13,11	1,12
	Mai	7,51	0,99
	Juin	2,22	0,88
Eté	Juillet	1	1,75
	Août	0,57	1,37

- Les valeurs maximales sont observées en Décembre-Janvier-Février-Mars, par contre les valeurs minimales sont observées en Juillet-Août.
- Les valeurs des coefficients de variations montrent une variabilité intermensuelle forte que la variabilité interannuelle.
- Leur répartition saisonnière est montrée en Fig III.9

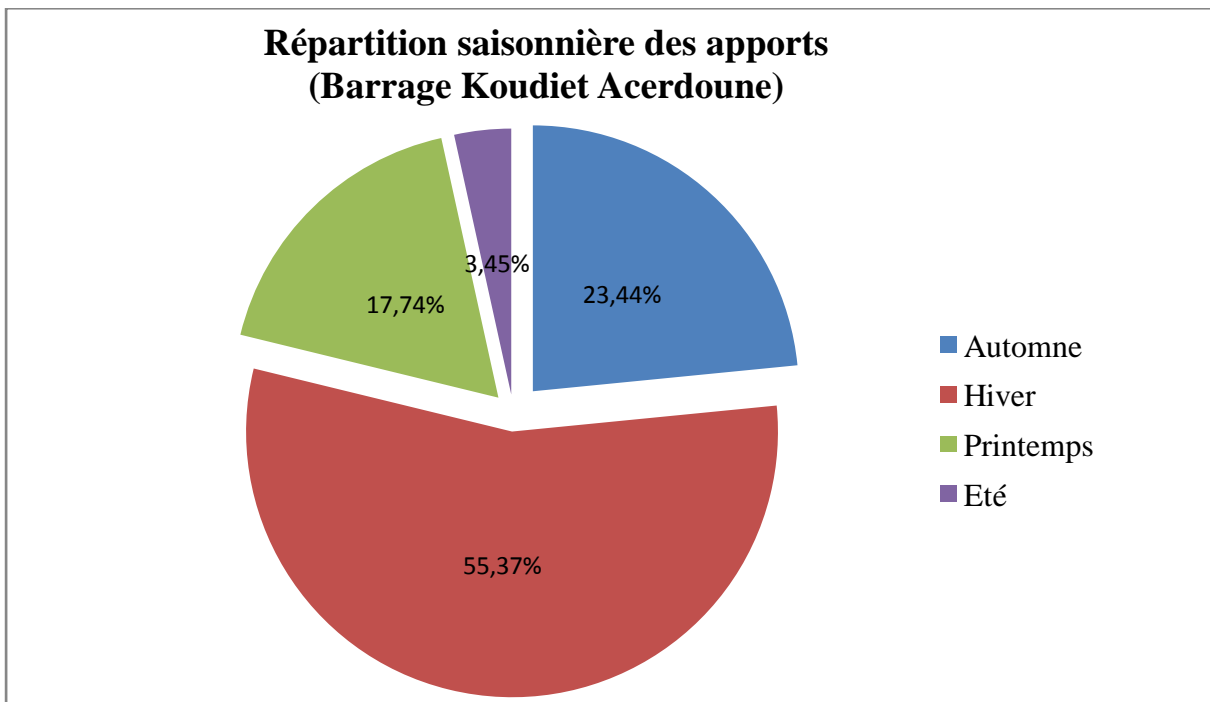


Figure III.9 - Répartitions saisonnières des apports (Barrage de Koudiet Acerdoune)

2.4 Evaporation

- L'évaporation moyenne interannuelle sur la période d'observation 1992/93-2011/12 est de 1647 mm, avec un coefficient de variation de 0,23.
- Un ajustement à la loi de distribution normale est établie (Fig III.10).

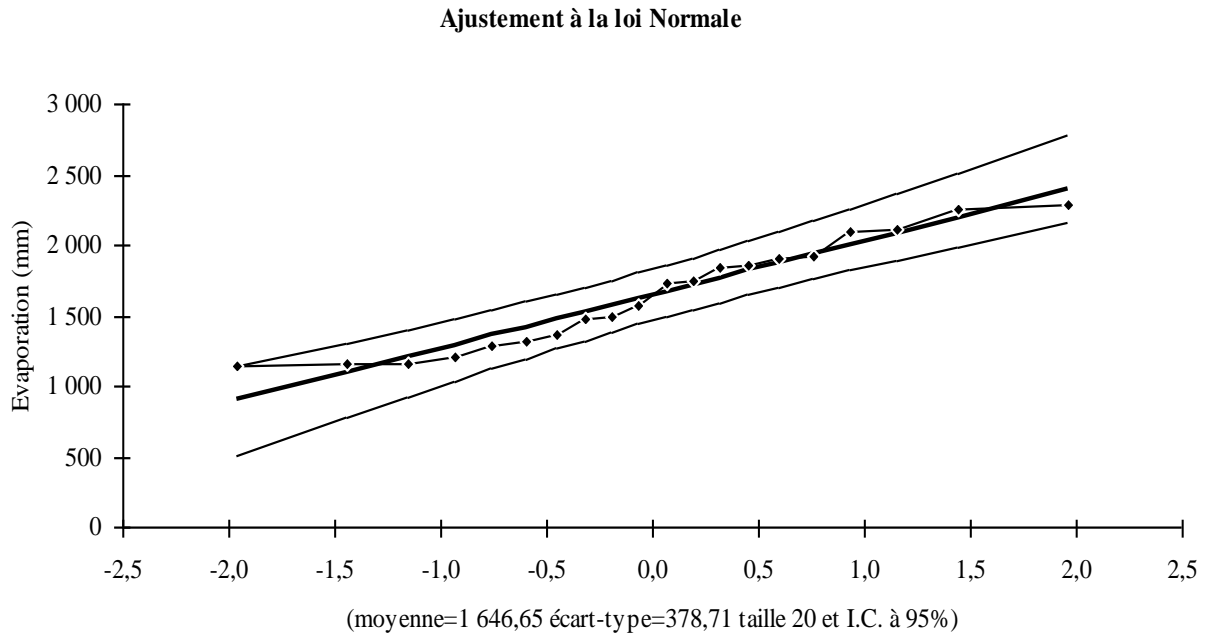


Figure III.10 - Ajustement des évaporations annuelles (Barrage Koudiet Acerdoune)

- L'évaporation intra-annuelle répartie sur la période 1992/93-2011/12 est présentée dans le tableau III.13 :

**Tableau III.13 - Evaporation intra-annuelle 1992/93-2011/2012
(Barrage de Koudiet Acerdoune)**

Mois	Moyenne (mm)	C _v
Septembre	163,63	0,27
Octobre	123,31	0,33
Novembre	67,89	0,36
Décembre	50,07	0,38
Janvier	51,18	0,37
Février	58,34	0,47
Mars	92,57	0,36
Avril	106,16	0,33
Mai	152,23	0,41
Juin	219,85	0,28
Juillet	290,65	0,23
Août	270,79	0,29

- Les valeurs maximales sont observées en Juin-Juillet-Août, par contre les valeurs minimales sont observées en Décembre-Janvier-Février.

2.5 Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle (ETP_0) est calculée par la formule de Boutoutaou et *al.* (2003).

Pour les conditions climatiques de l'Algérie, elle est donnée par l'expression III.8 :

$$E_0 = 157 \cdot \beta \cdot (T + 15) \cdot (1 - H/100) \quad (\text{III.8})$$

Avec :

E_0 : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle, (mm) ;

T : Température moyenne annuelle de l'air, (° C) ;

H : Humidité relative moyenne annuelle de l'air, (%) ;

β : coefficient correctif propre à chaque station météorologique, variant de 0,73 à 1,49 ;

η : Coefficient d'évaporation $\eta = E_R/P$.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.14 :

Tableau III.14 - Evapotranspiration annuelle (Barrage de Koudiet Acerdoune)

Barrage	P (mm)	T (°C)	H (%)	β	ETP_0 (mm)	η	ETR (mm)
Koudiet Acerdoune	482,87	15,5	68,8	1	1489,86	0,84	407,31

- L'évapotranspiration moyenne interannuelle sur la période d'observation 1992/93-2011/12 est de 407,31 mm, avec un coefficient de variation de 0,25.
- Un ajustement à la loi de distribution normale est établie (Fig III.11).

Ajustement à la loi Normale

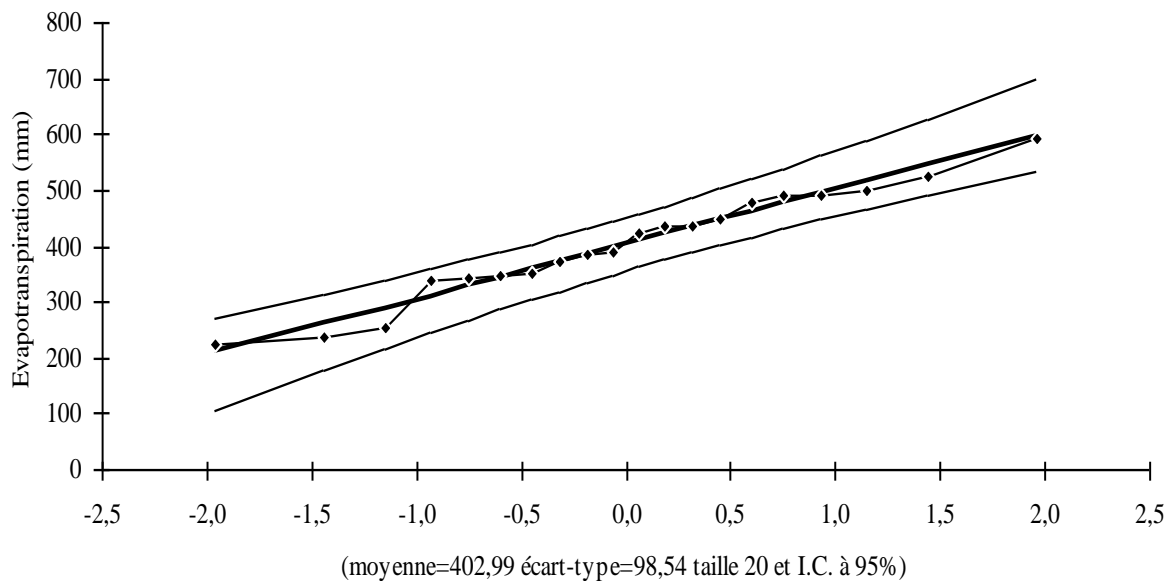


Figure III.11 - Ajustement des évapotranspirations annuelles (Barrage Koudiet Acerdoune)

Etude et mise en forme des données

- L'évaporation intra-annuelle répartie sur la période 1992/93-2011/12 est présentée dans le tableau III.15 :

Tableau III.15 - Evapotranspiration intra-annuelle 1992/93-2011/12
(Barrage de Koudiet Acerdoune)

Mois	Moyenne (mm)	C_v
Septembre	40,10	0,28
Octobre	29,90	0,35
Novembre	16,51	0,35
Décembre	12,24	0,45
Janvier	12,40	0,37
Février	14,32	0,46
Mars	22,29	0,31
Avril	25,85	0,35
Mai	36,86	0,36
Juin	54,69	0,36
Juillet	72,06	0,28
Août	65,77	0,26

- Les valeurs maximales sont observées en Juin-Juillet-Août, par contre les valeurs minimales sont observées en Décembre-Janvier-Février.

2.6 Lâchers

En général, on effectue les lâchers après une crue, c'est-à-dire lors des ruissellements importants. Aussi les lâchers sont effectués pour la gestion du barrage (pour permettre à la vanne de bien fonctionner en cas de crue).

Dans le Tableau III.16 on constate qu'il y a 3 lâchers qui ont été faits durant la période 2010/2012.

Tableau III.16 - Volume des lâchers (Barrage de Koudiet Acerdoune)

Date de lâchers	Volume estimé (m³)
Août 2010	1.103.000
Juillet 2012	478.000
Octobre 2012	100.000

Vu le Tableau III.16, on constate que les lâchers effectués, ne sont pas très importants. Cela est dû à l'année de mise en eau du barrage (2010).

2.7 Fuites

Le problème des fuites d'eau dans les retenues de barrages préoccupe les services de l'hydraulique. En effet, en plus des pertes en eau précieuse, il peut même mettre en péril la sécurité des ouvrages et par conséquent présente des menaces sur les biens et les populations se trouvant en aval.

Les valeurs des fuites intra-annuelles sont présentées dans la Fig III.12

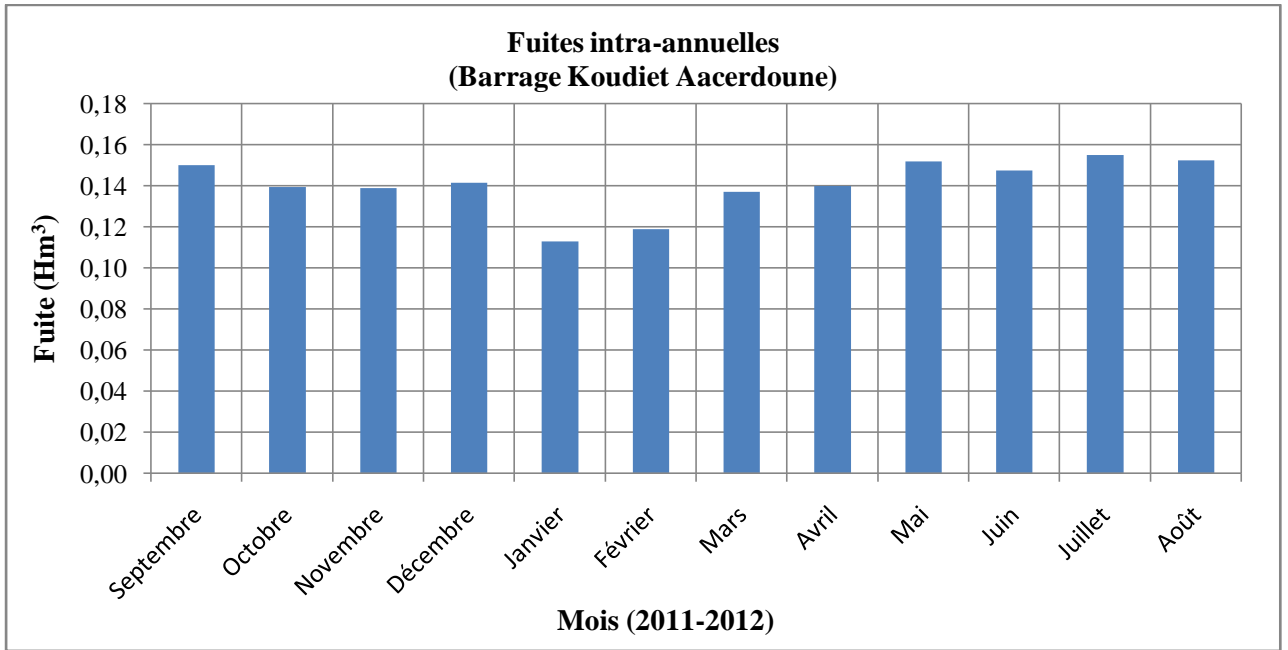


Figure III.12 - Variation intra-annuelle des fuites (Barrage Koudiet Acerdoune) (ANBT)

Les fuites sont calculées à partir de la courbe reliant les fuites mensuelles au volume du réservoir (Fig III.13).

L'équation III.7 exprime la relation entre le volume de fuite et le volume du réservoir (Hm³) :

$$V_{\text{fuite}} = 0,002 \cdot V^{0,669} \quad (\text{III.7})$$

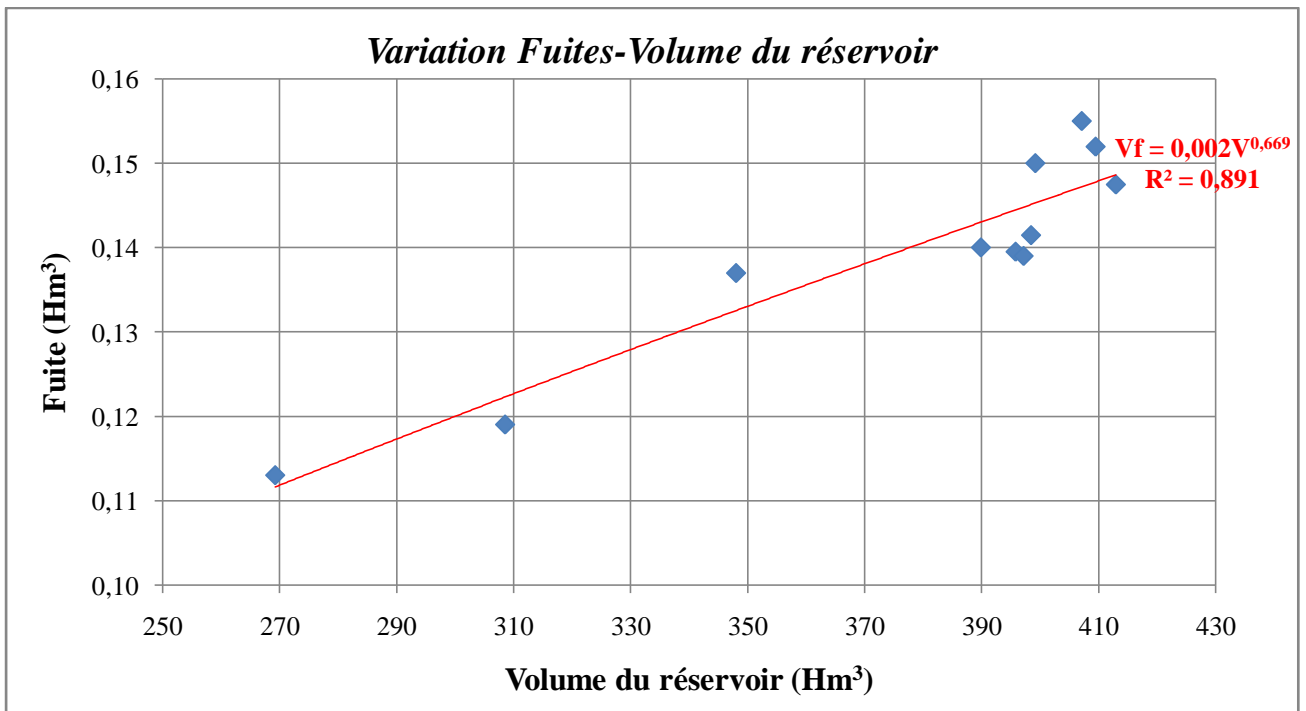


Figure III.13 - Variation des fuites en fonction du volume du réservoir (Barrage Koudiet Acerdoune)

III. Homogénéisation des données

L'homogénéisation des données se fait à l'aide d'un modèle hydrologique, un modèle permet d'approcher de façon figurative des systèmes hydrologiques complexes, en tentant de s'approcher au maximum de ce qui se passe dans la réalité. De nos jours il existe différents types de modèles (entre modèles physiques et empiriques), le choix d'un modèle dépend de plusieurs paramètres tel que : la disponibilité des données pluviométriques et hydrométriques, les facteurs climatiques,...etc.

Pour reconstituer nos données nous avons choisi le modèle de l'analyse en composante principale (ACP).

La démarche utilisée pour la reconstitution des séries est comme suit :

- Nous disposons de n_0 années d'observations et les données observées X . sur ces années, la régression double linéaire entre X d'une part et $C1$ et $C2$ (**vecteurs régionaux**) d'autre part est entreprise pour déterminer les coefficients (a), (b), et (c) de l'équation de régression III.9.

$$\mathbf{Xe} = \mathbf{a C1} + \mathbf{b C2} + \mathbf{c} \quad (\text{III.9})$$

- Pour chaque série, les coefficients (a), (b), et (c) sont déterminés par une régression double avec les vecteur $C1$ et $C2$.
- La validation par le critère de Nash.

3.1 Homogénéisation des précipitations

Le modèle obtenu par analyse en composantes principales a donné des résultats meilleurs d'après la classification de Kachroo avec un critère de Nash = 99,82% pour la série de précipitations mensuelles (**Fig III.16**) et un critère de Nash = 74,74% pour la série de précipitation annuelles (**Fig III.15**).

La régression double avec les deux vecteurs régionaux est présentée dans la Fig III.14.

L'équation de la régression est par l'équation III.10 :

$$\mathbf{Xe} = \mathbf{89,47 C1} + \mathbf{68,52 C2} + \mathbf{477,74} \quad (\text{III.10})$$

Etude et mise en forme des données

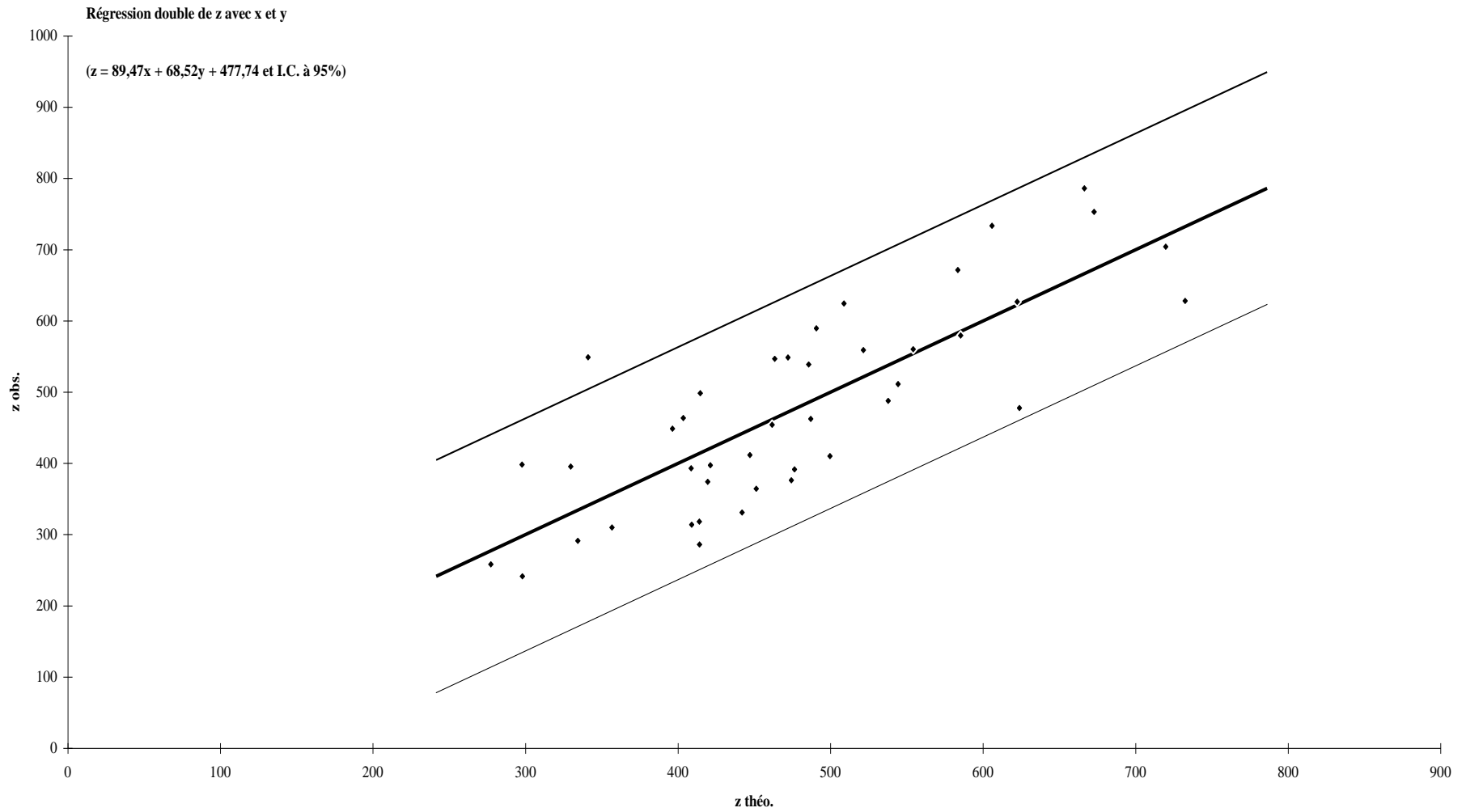


Figure III.14 - Régression double des précipitations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2

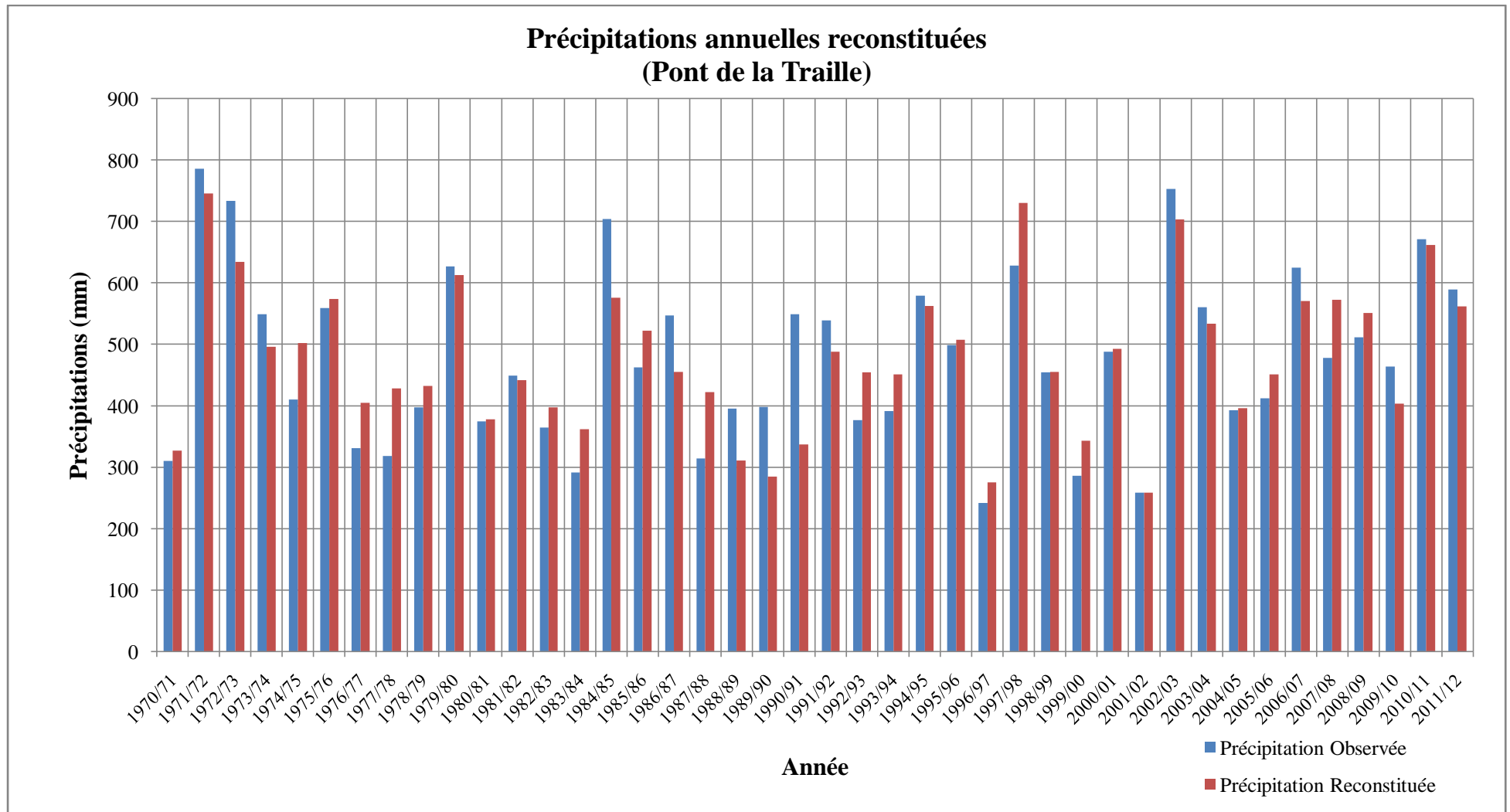


Figure III.15 - Précipitations annuelles reconstituées (Pont de la Traille)

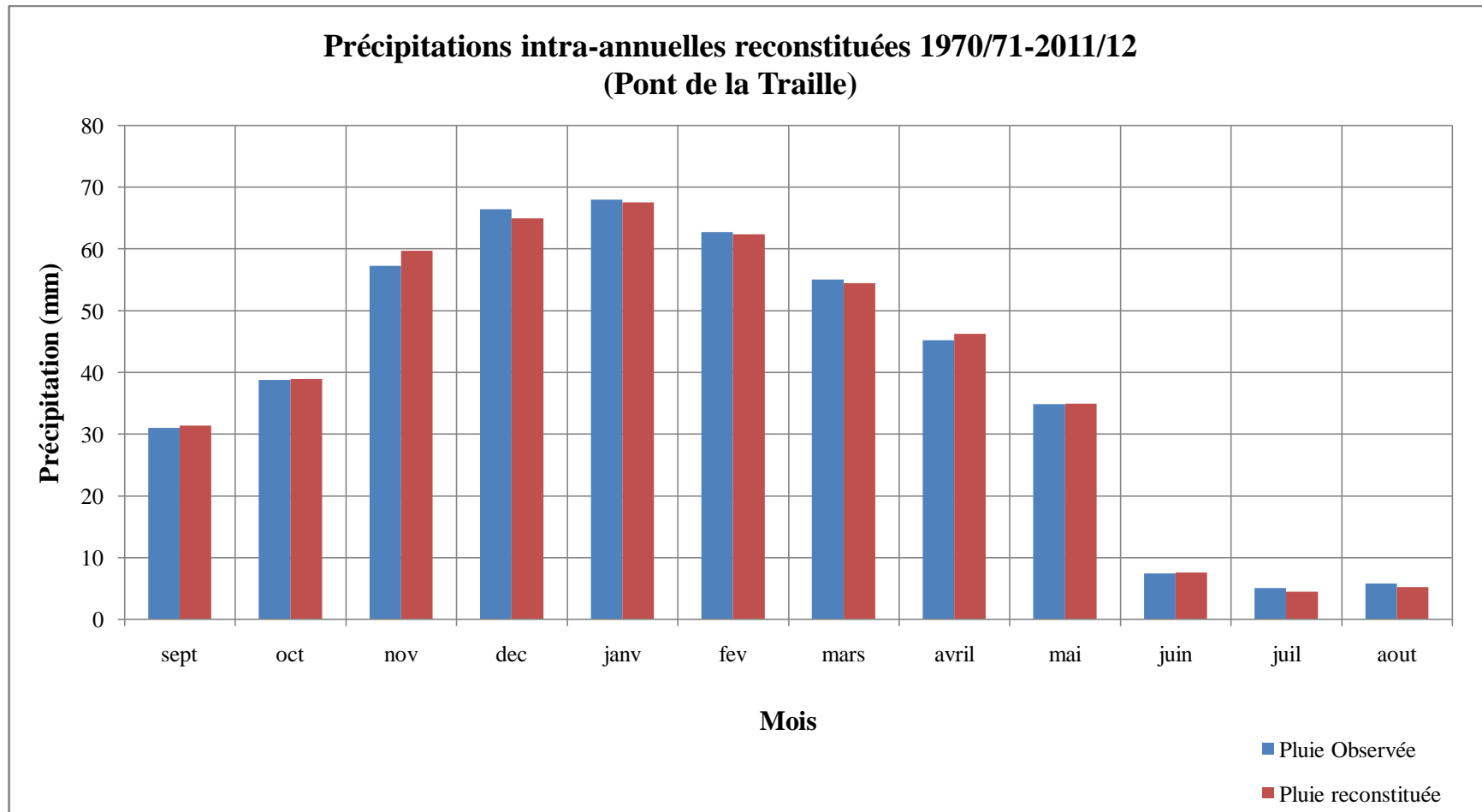


Figure III.16 - Précipitations intra-annuelles reconstituées (Pont de la Traille)

3.2 Homogénéisation des apports

Pour l'analyse des apports, la même démarche que pour la reconstitution des précipitations est appliquée.

Le modèle obtenu par analyse en composantes principales a donné des résultats meilleurs d'après la classification de Kachroo avec un critère de Nash = 99,46% pour la série d'apports mensuels et un critère de Nash = 94.15% pour la série d'apports annuels (**Fig III.17**).

L'équation de la régression est par l'équation III.11 :

$$\mathbf{X_e = 97,20 C1 - 25,21 C2 + 128,74} \quad \mathbf{(III.11)}$$

3.3 Homogénéisation des flux évaporatifs

Le modèle obtenu par analyse en composantes principales a donné des résultats meilleurs d'après la classification de Kachroo avec un critère de Nash = 99,99 % pour la série d'évaporations mensuelles et un critère de Nash = 99,26 % pour la série d'évaporations annuelles (**Fig III.18**).

L'équation de la régression est par l'équation III.12 :

$$\mathbf{X_e = 149,08 C1 - 23,44 C2 + 1646,65} \quad \mathbf{(III.12)}$$

3.4 Homogénéisation des évapotranspirations

Le modèle obtenu par analyse en composantes principales a donné des résultats meilleurs d'après la classification de Kachroo avec un critère de Nash = 99,99 % pour la série d'évapotranspirations mensuelles et un critère de Nash = 99,07 % pour la série d'évapotranspirations annuelles (**Fig III.19**).

L'équation de la régression est par l'équation III.13 :

$$\mathbf{X_e = 38,46 C1 + 3,30 C2 + 402,99} \quad \mathbf{(III.13)}$$

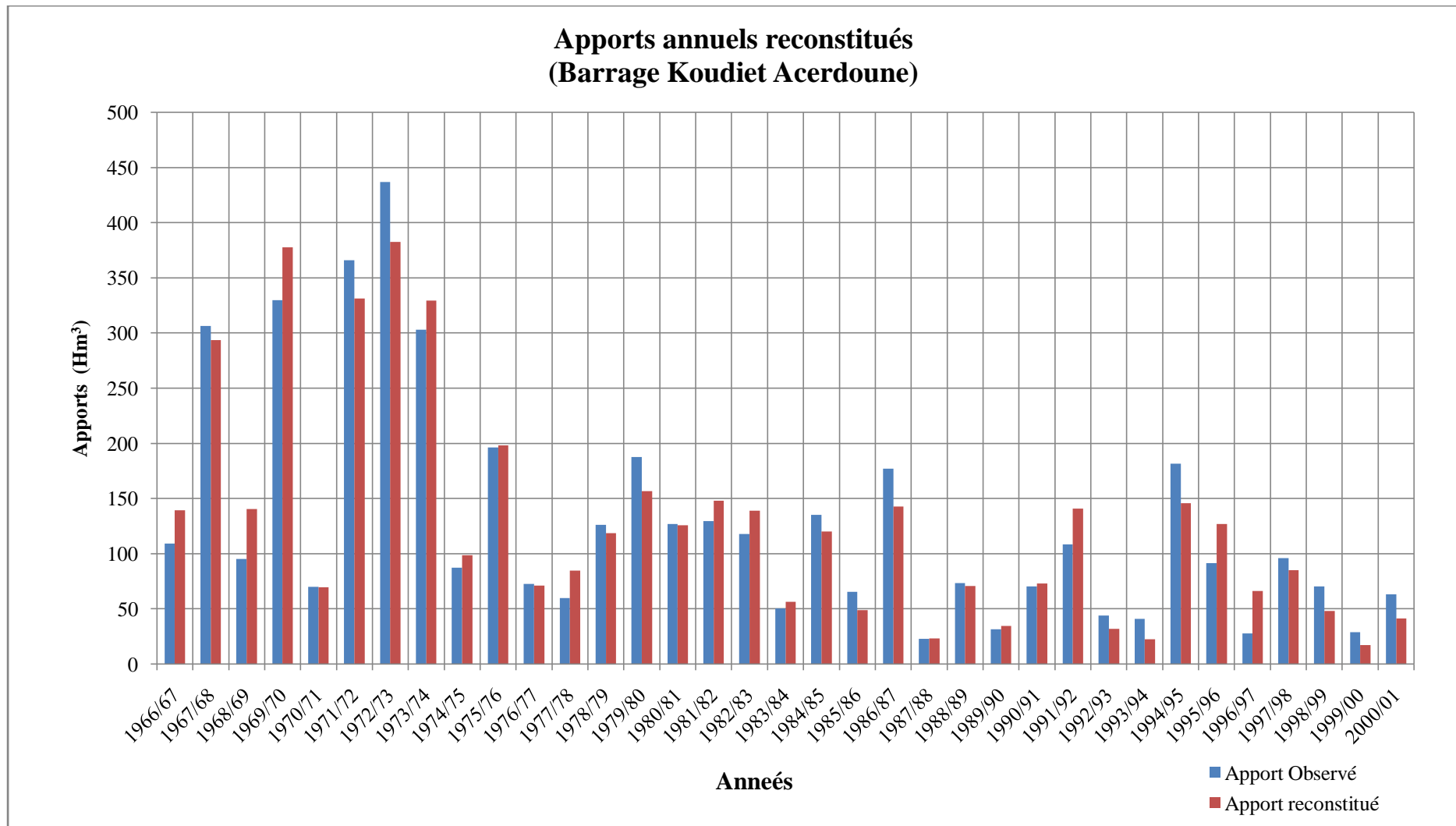


Figure III.17 - Apports annuels reconstitués (Barrage Koudiet Acerdoune)

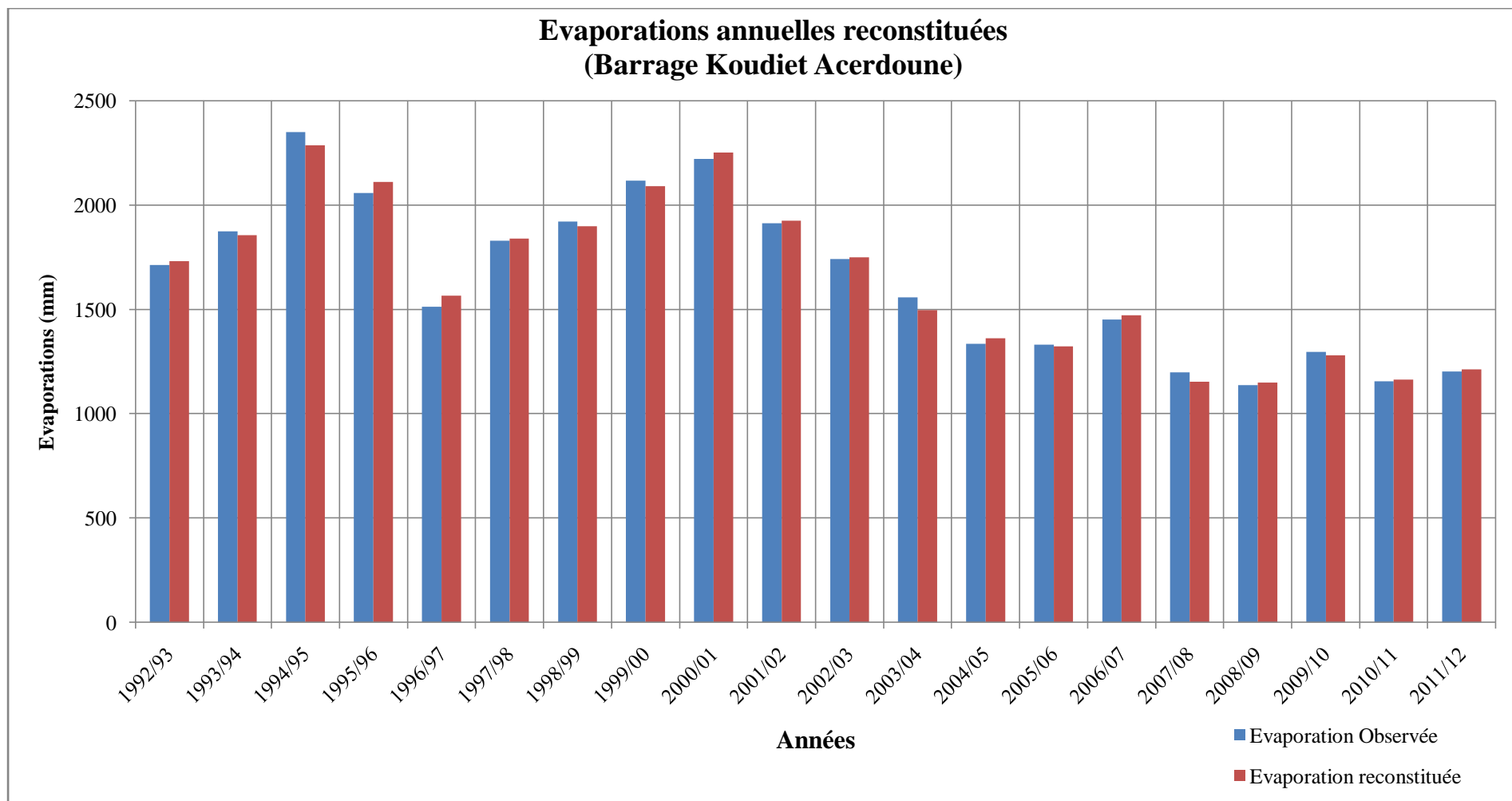


Figure III.18 - Evaporations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune)

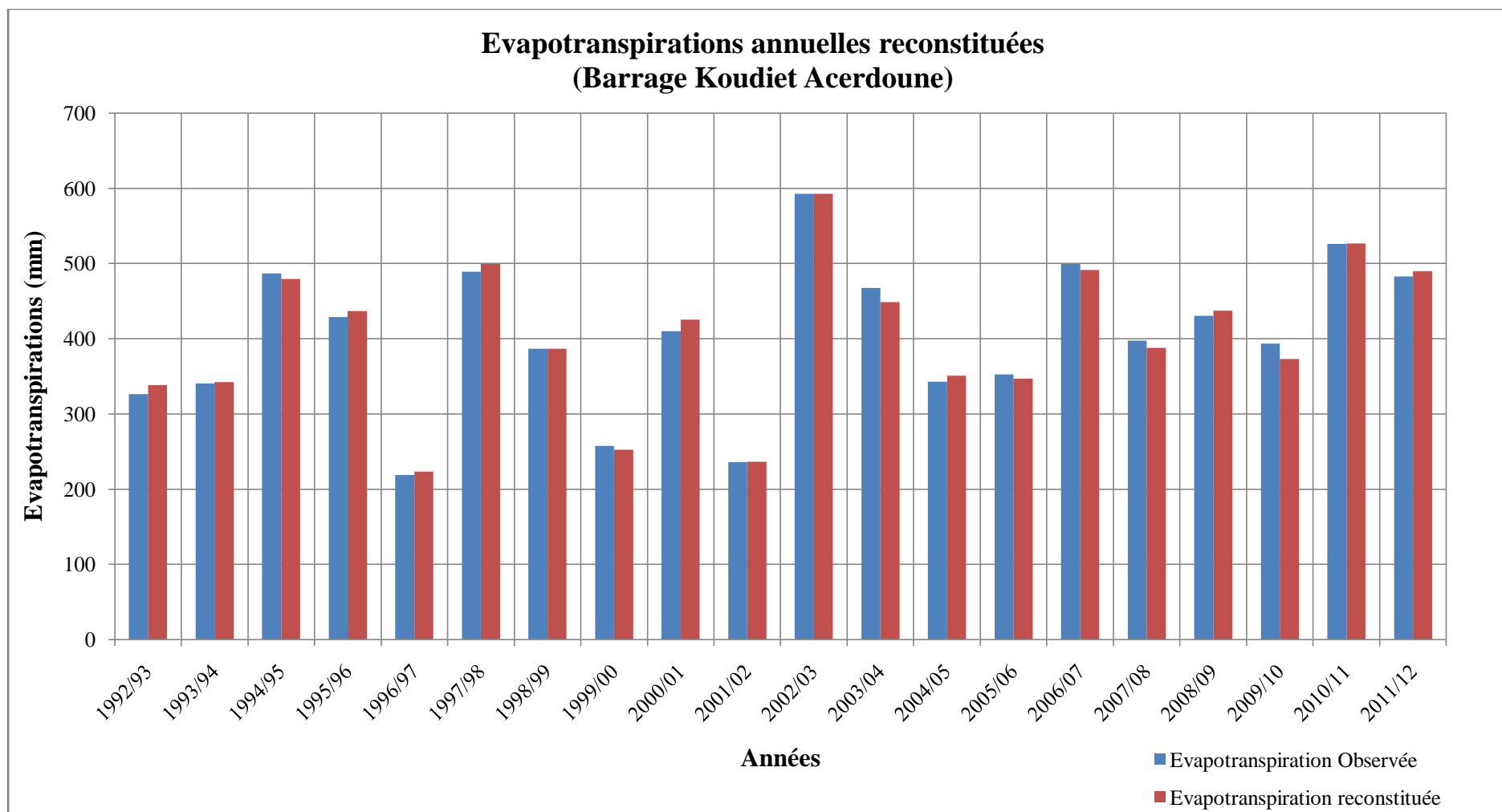


Figure III.19 - Evapotranspirations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune)

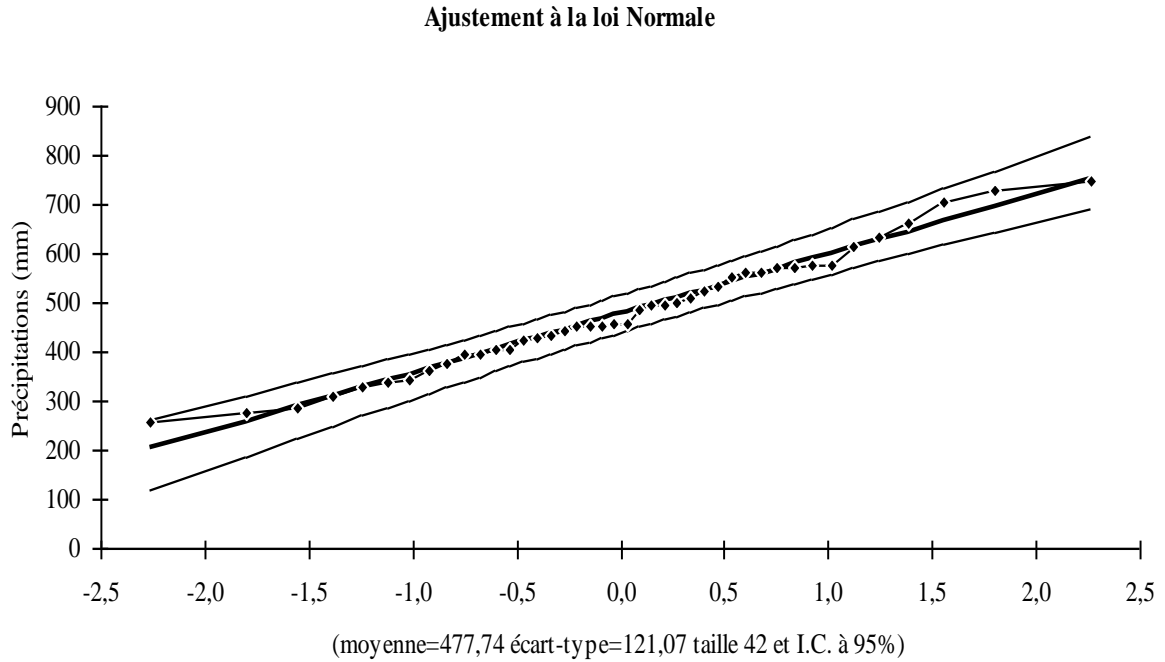


Figure III.20 - Ajustement des précipitations annuelles reconstituées (pont de la Traille)

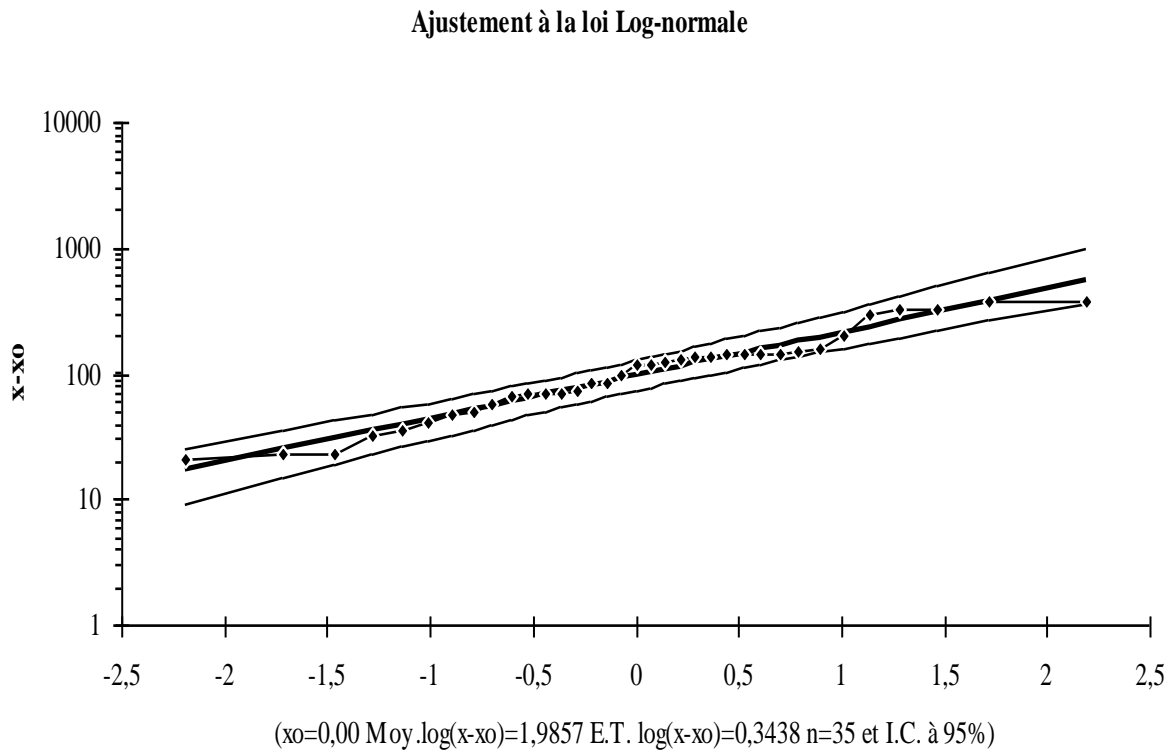


Figure III.21 - Ajustement des apports annuels reconstitués (Barrage Koudiet Acerdoune)

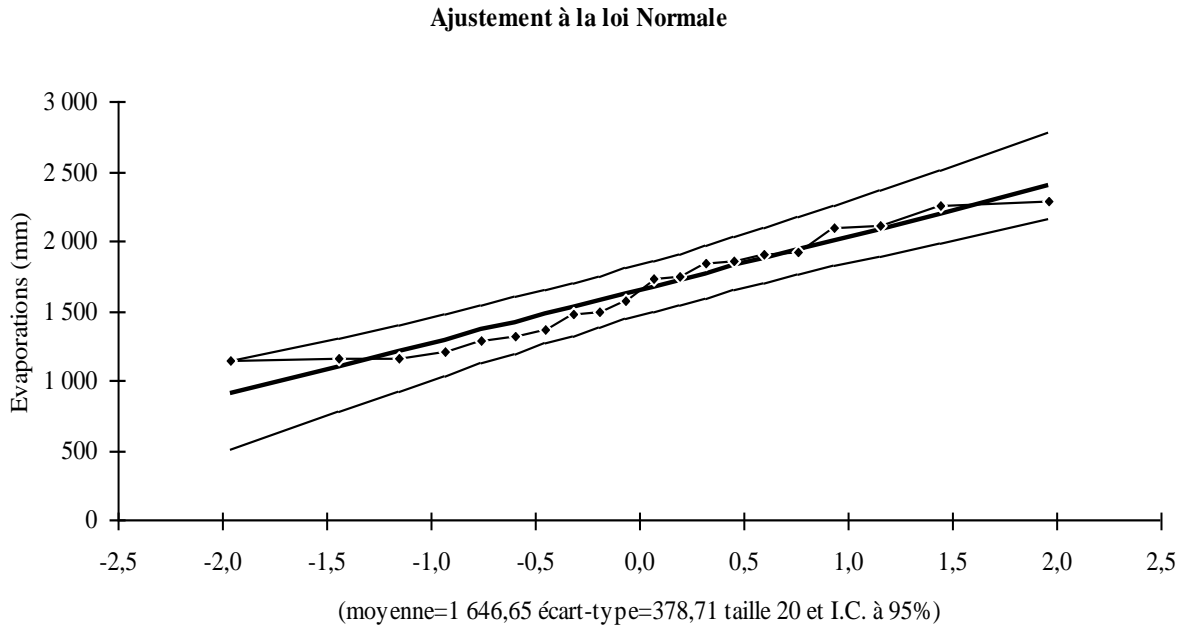


Figure III.22 - Ajustement des évaporations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune)

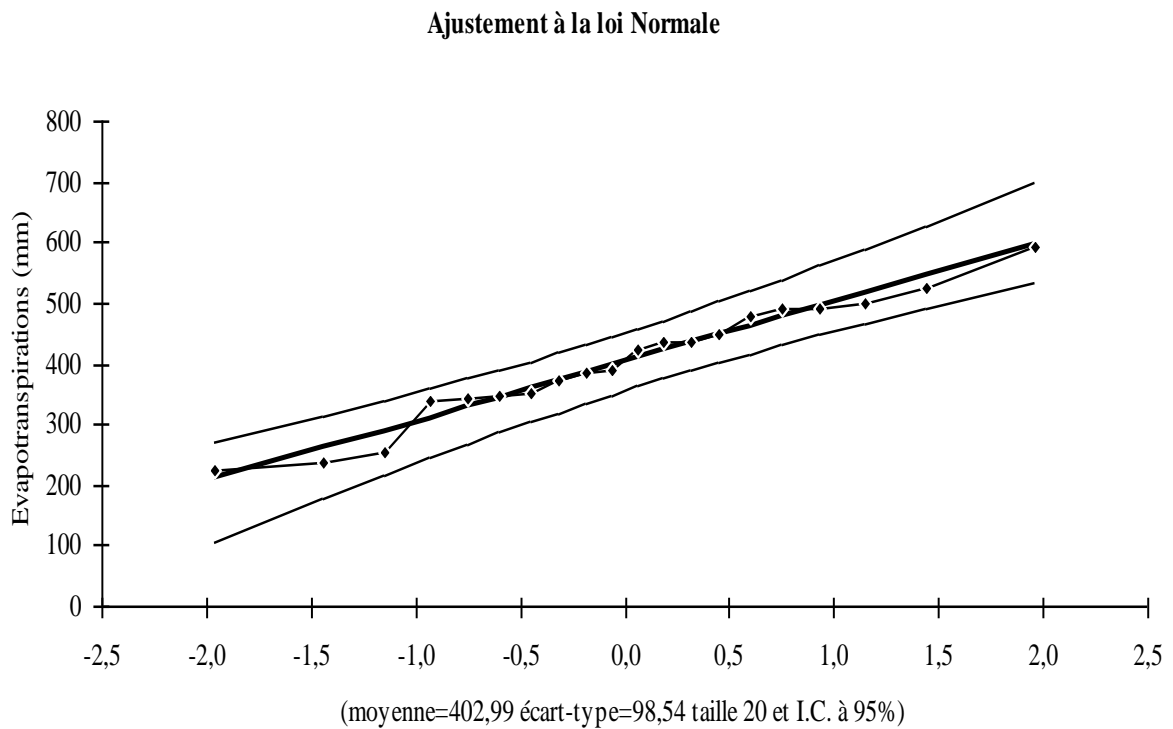


Figure III.23 - Ajustement des évapotranspirations annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune)

3.5 Linéarisation des flux évaporatifs

L'évaporation de la surface de la retenue est estimée à partir d'un bac Colorado situé au barrage. Le coefficient de passage choisi est de **0.60** (Source : ANBT, 2012).

Pour modéliser le fonctionnement du barrage, une relation liant l'évaporation au volume d'eau stocké. Or le volume évaporé dépend de la lame évaporée et de la surface de la retenue (relation III.10) :

$$V_{\text{evap}} = 0,60 \cdot S \cdot Lev \quad (\text{III.10})$$

Ou :

S : Surface de la retenue ;

Lev : Lame d'eau évaporée ;

Les relations hauteur – volume – surface ont permis de faire le lien entre la surface et le volume, linéarisant ainsi le volume évaporé en fonction du volume d'eau stocké (relation III.11).

$$V_{\text{evap}} = a \cdot V + b \quad (\text{III.11})$$

Où : a et b sont des coefficients qui dépendent de la lame évaporée.

La linéarisation des flux évaporatifs en fonction du volume se fait par une régression linéaire entre l'évaporation intra-annuelle et les relations Surface-Volume (Tableau III.17).

Tableau III.17 - Linéarisation des flux évaporatifs en fonction du volume du barrage

Mois	Evap mensuelle moyenne interannuelle (mm)	a	b	R ²
Septembre	163,63	0,0024546	0,2150256	0,98
Octobre	123,31	0,0018525	0,1622759	0,98
Novembre	67,89	0,0010214	0,0894779	0,98
Décembre	50,07	0,0007522	0,0658912	0,98
Janvier	51,18	0,0007682	0,0672965	0,98
Février	58,34	0,0008773	0,0768549	0,98
Mars	92,57	0,0013898	0,1217489	0,98
Avril	106,16	0,0015956	0,1397716	0,98
Mai	152,23	0,0022816	0,1998685	0,98
Juin	219,85	0,0032936	0,2885199	0,98
Juillet	290,65	0,004355	0,3815002	0,98
Août	270,79	0,0040578	0,3554673	0,98

3.6 Statistique de base des séries annuelles reconstituées

Les caractéristiques finales des séries reconstituées sont présentées dans le Tableau III.18

Tableau III.18 - Caractéristiques des séries reconstituées

Caractéristique	Précipitation annuelle	Apport annuel	Evaporation annuelle	Evapotranspiration annuelle
Nombre d'observations	42	35	20	20
Minimum (Hm³)	258,40	17,44	1 148,95	223,28
Maximum (Hm³)	745,96	382,80	2 287,25	592,35
Moyenne (Hm³)	477,74	128,74	1 646,65	402,99
Ecart-type (Hm³)	121,07	100,41	378,71	98,54
Médiane (Hm³)	455,14	118,88	1 649,25	406,37
Coefficient de variation (Cv)	0,25	0,78	0,23	0,24

3.7 Test Appliqués aux données reconstituées

La validité des séries reconstituées est testée est résumée dans le tableau III.19.

Tableau III.19 - Tests appliqués aux données reconstituées

Test	Indépendance Test de Wald Wolfowitz	Stationnarité Test de Kendall	Homogénéité Test de Wilcoxon	Ajustement Test de Khi ²
Précipitations	Significatif U = 0.332	Significatif K = 0.466	Significatif W = 0.215	Significatif X ² = 2.19
Evaporations	Significatif U = 0.89	Significatif K = 1.14	Significatif W = 1.17	Significatif X ² = 3.79
Evapotranspirations	Significatif U = 1.19	Significatif K = 1.46	Significatif W = 1.29	Significatif X ² = 0.40

Au vu du tableau II.19, l'ensemble des séries reconstituées sont homogènes et de bonne qualité.

IV. Conclusion

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) a permis non seulement de déterminer la station représentative de la retenue du barrage de Koudiet Acerdoune mais aussi de reconstitués les séries de données.

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

CHAPITRE IV

BESOINS EN EAU

Besoins en eau

La confrontation des ressources exploitables avec les besoins en eau constitue la base de toute politique de gestion. Aussi, l'évaluation des besoins en eau actuels et future des différents types d'utilisateurs (eau potables, industrielle et agricole) permettra de cerner l'importance du déficit ou de l'excédent d'eau et de projeter une politique d'exploitation la plus rationnelle possible des besoins exprimés.

I. Transferts effectués à partir du barrage de Koudiet Acerdoune

Actuellement des transferts en lieu pour satisfaire le consommateur, à savoir :

- **Transfert-Lot N°01**

AEP des centres urbains situés sur le couloir Barrage Koudiet Acerdoune-Lakhdaria-Draa el Mizan-Ouadhias.

- **Transfert-Lot N°02**

AEP des centres urbains situés sur le couloir Station de traitement-Sour el Ghozlane-Sidi Aissa-Ain Lahdjel.

- **Transfert-Lot N°03**

AEP des centres urbains situés sur le couloir Beni Slimane-Berrouaghia-Ksar el Boukhari-Boughzoul.

Ces transferts intégrant des piquages permettant une alimentation en eau potable convenable de 29 centres annexes.

La Fig IV.1 illustre les transferts à partir du barrage de Koudiet Acerdoune

Besoins en eau



Figure IV.1 - Transferts à partir du barrage de Koudiet Acerdoune (ANBT, 2012)

Besoins en eau

II. Détermination des besoins en eau

Le barrage de Koudiet Acerdoune est destiné à répondre à l'alimentation en eau potable et industriels des centres urbains situés sur les axes Koudiet Acerdoune-Ain el Hadjel-Boughzoul-Ouadhias et à l'irrigation des périmètres de la Mitidja « Est » et du Bas Isser.

- *Besoins en eaux potables*

Ces besoins sont fonction de deux paramètres : la démographie et l'aspect socio-économique.

Le recensement de 2008 (ANBT, 2008) est pris comme base d'estimation, pour la détermination de la population future.

La population pour les n années future est estimée selon la relation IV.1 formule des intérêts composés :

$$N = N_0 (1 + \alpha)^n \quad \text{(IV.1)}$$

N : nombre d'habitants à l'horizon d'étude ;

N_0 : nombre d'habitants à l'année prise comme référence (année 2008) ;

α : taux d'accroissement, qui est égal à 2.7 % selon la moyenne nationale,

n : nombre d'année considérées.

La dotation journalière est fixée par le ministère des ressources en eau (ANBT, 2012) :

- 200 l/hab pour l'horizon moyen terme (2013-2038) ;
- 250 l/hab pour l'horizon long terme (2038-2062).

Les résultats de calculs sont présentés dans les tableaux IV.1 et IV.2.

- Les besoins en eau potable globaux de notre étude sont présentés dans le Tableau IV.3:

Tableau IV.3 - Besoins en eau potable globaux

<i>Horizon</i>	<i>Population (Hab)</i>	<i>Besoins (Hm³)</i>
Moyen terme (2013-2037)	1473690	82,42
Long terme (2038-2062)	2793166	229,72

Besoins en eau

Tableau IV.1- Besoins en eau potable des principaux centres

<i>centres principaux</i>	<i>Population en 2008 (hab)</i>	<i>Taux d'ACC (%)</i>	<i>Population en 2013 (hab)</i>	<i>Population en 2038 (hab)</i>	<i>Population en 2062 (hab)</i>	<i>Production journalière actuelle (m³)</i>	<i>Besoins journalière à Moy terme (m³)</i>	<i>Besoins journalière à long terme (m³)</i>
<i>Kadiria</i>	11754	2.7	13429	26140	50882	1212	4 015,92	11 173,96
<i>Lakhdaria</i>	44777	2.7	51157	99579	193834	4615	15 300,82	42 569,46
<i>Sour El ghouzlan</i>	41463	2.7	47371	92209	179488	4500	13 941,83	39 192,28
<i>Draa El Mizan</i>	23573	2.7	26932	52424	102044	3000	7 484,75	21 840,41
<i>Ouadhia</i>	13836	2.7	15807	30770	59894	2530	3 623,95	12 049,90
<i>Boghni</i>	38406	2.7	43878	85411	166255	2723	14 359,14	37 747,92
<i>El Omaria</i>	21058	2.7	24059	46831	91157	2170	7 196,14	20 020,19
<i>Berrouaghia</i>	52177	2.7	59612	116036	225867	5378	17 829,18	49 604,32
<i>Boughzoul</i>	18962	2.7	21664	42169	82084	1954	6 479,88	18 027,50
<i>Ksar El Boukhari</i>	75135	2.7	85841	167092	325250	7744	25 674,40	71 430,67
<i>Béni Sliman</i>	18173	2.7	20762	40415	78669	1873	6 209,95	17 277,08
<i>Tablat</i>	13574	2.7	15508	30187	58760	1399	4 638,42	12 904,81
<i>Sidi Aïssa</i>	51170	2.7	58461	113796	221508	6000	16 759,29	47 921,18
<i>Aïn El Hadjel</i>	30273	2.7	34587	67324	131048	3925	9 539,76	27 975,64
Total	454331	---	519068	1010383	1915033	49023	153 053,44	429735,32

Besoins en eau

Tableau IV.2 - Besoins en eau potable des annexes

<i>Annexes</i>	<i>Population en 2008 (hab)</i>	<i>Taux d'ACC (%)</i>	<i>Population en 2013 (hab)</i>	<i>Population en 2038 (hab)</i>	<i>Population en 2062 (hab)</i>	<i>Production journalière actuelle (m³)</i>	<i>Besoins journalière à Moy terme (m³)</i>	<i>Besoins journalière à long terme (m³)</i>
Aïn Bessem	24323	2.7	27789	54092	105291	3200	7 618,34	22 430,74
Bir Ghbalou	9696	2.7	11078	21563	41973	999	3 313,57	9 218,31
El Hachimia	13926	2.7	15910	30970	60284	2200	3 993,98	12 474,74
Souk El Khemis	4986	2.7	5696	11088	21584	400	1 817,66	4 854,07
Dirah	8991	2.7	10272	19995	38921	700	3 299,00	8 774,41
Raouraoua	3933	2.7	4493	8747	17025	405	1 344,31	3 739,46
Aomar gare	6295	2.7	7192	13999	27250	649	2 150,88	5 984,45
Djebahia	6169	2.7	7048	13719	26705	500	2 243,84	6 000,68
El Mokrani	1883	2.7	2151	4188	8151	194	643,52	1 790,24
Bouderbala	4084	2.7	4666	9082	17679	421	1 395,47	3 882,58
Zbarbar	8158	2.7	9320	18142	35315	841	2 787,50	7 755,62
Tizi Ghenif	23201	2.7	26507	51596	100434	500	9 819,29	23 948,41
Mechtras	12983	2.7	14833	28873	56202	2222	3 552,55	11 459,04
Assi Youcef	12547	2.7	14335	27903	54314	778	4 802,63	12 443,60
Bounouh	6148	2.7	7024	13672	26614	278	2 456,50	6 200,55
Tizi N'Thlata	14478	2.7	16541	32197	62673	810	5 629,50	14 446,42
Frikat	6460	2.7	7380	14366	27964	500	2 373,27	6 307,32
Aïn Zaouia	4739	2.7	5414	10539	20515	800	1 307,80	4 193,79
Sidi Naamane	8329	2.7	9516	18523	36055	858	2 846,56	7 918,81
El Guelb	5688	2.7	6498	12649	24623	586	1 943,90	5 407,82
El Azizia	8208	2.7	9378	18254	35531	846	2 804,74	7 803,31
Ouled Arbi	443	2.7	506	985	1918	46	151,04	420,82
Seriet	2685	2.7	3068	5971	11623	277	917,23	2 552,36
Sedraïa	3502	2.7	4001	7788	15160	361	1 196,61	3 329,29
Si Hadjeres	6477	2.7	7400	14404	28038	525	2 355,83	6 300,24
Total	208332	---	238016	463305	1005735	19896	72765,52	199637,08

Besoins en eau

- **Besoins en eau industriels**

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, ou intervenir comme auxiliaire au cours du processus de fabrication.

Dans notre démarche nous nous intéressons à satisfaire l'alimentation en eau actuelle et future des industries situées dans les trois axes principaux.

L'évaluation de ces besoins en eau est présentée dans le Tableau IV.4

Tableau IV.4 - Besoins en eau industriels

	<i>Centres</i>	<i>Besoins industriels journalière (m³)</i>	<i>Besoins industriels annuels (Hm³)</i>
Axe I	Boghni	800	0,22
	Frikat	600	0,15
	Draa el Mizan	600	0,15
	Tizi Ghenif	500	0,11
	Lakhdaria	2800	0,66
	Ouadhias	800	0,18
Axe II	Sour el Ghozlane	3500	1,02
	Sidi Aissa	1000	0,27
	Djebelia	600	0,15
	Bouira	900	0,18
Axe III	Ksar el Boukhar	1000	0,26
	Berrouaghia	2500	0,58
	Boughzoul	600	0,15
	Total	16 200	5,91

(Source : DHW)

Les besoins industriels annuels sont : 6 Hm³.

- **Besoins en eau d'irrigation**

L'eau est le premier facteur limitant des cultures. La meilleure irrigation est celle qui fournit à la plante la quantité d'eau optimale dont elle a besoin au moment précis de son cycle végétatif.

Son but est de maintenir en permanence les réserves d'eau du sol de telle manière qu'elles soient toujours utilisables par la plante.

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.

L'eau prélevée à partir du barrage de Koudiet Acerdoune permet d'irriguer 17 000 Ha du périmètre de la Mitidja Est (Hamiz) et 1 000 Ha du périmètre du Bas Isser.

1- Périmètre du Hamiz (ou Mitidja Est)

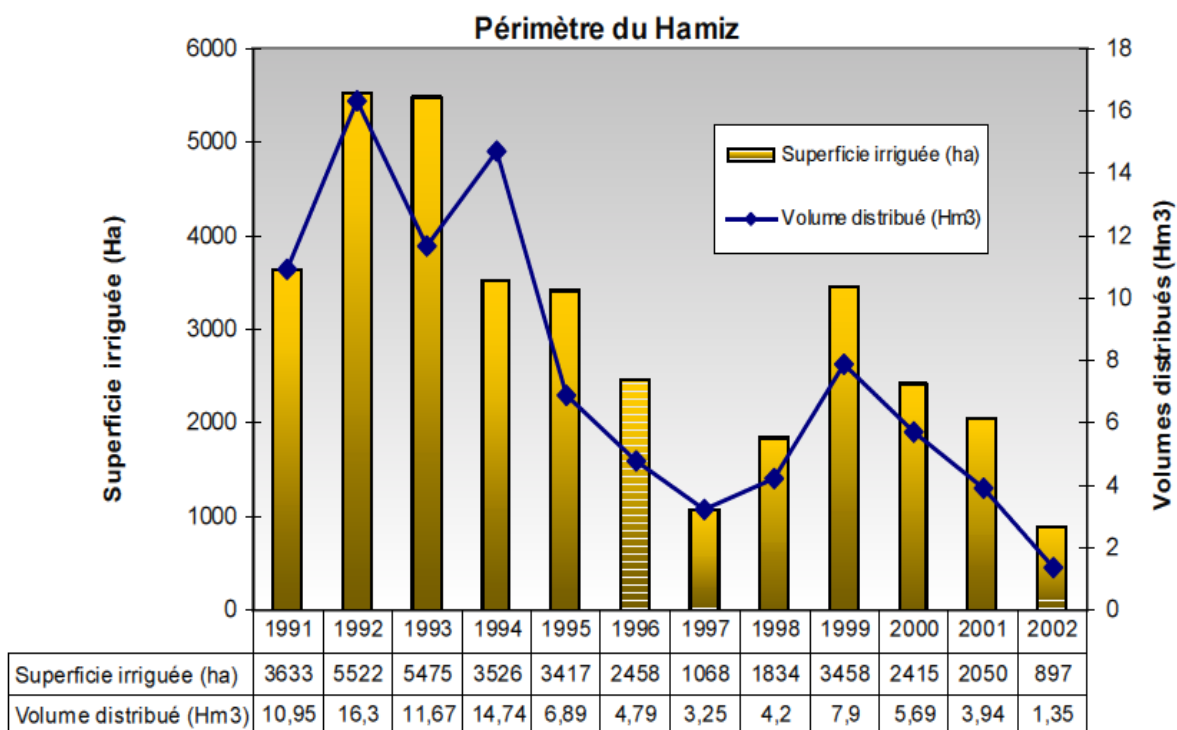
Réalisé en 1937, et d'une superficie équipée de 17 000 ha pour 11 000 ha irrigables, le périmètre du Hamiz est situé sur les wilayas d'Alger, Boumerdes et de Blida. Il est alimenté par 3 sources distinctes :

- Le barrage du Hamiz d'un volume régularisable de 15,6 Hm³
- Le marais de Reghaia
- La nappe de Bouréah

Les sécheresses des dernières années ont considérablement réduit les volumes disponibles pour l'agriculture à partir du barrage car la priorité est donnée à l'alimentation en AEP d'Alger et donc aux transferts vers le barrage de Kedara. (ONID, 2001)

Le volume restant actuellement pour l'irrigation est d'environ 5 Hm³, destiné surtout aux cultures pérennes, aux fourrages et à la tomate industrielle. En année sèche, le périmètre du Hamiz est principalement irrigué grâce au marais de Réghaia.

En figure VI.2, ont présentes les volumes alloués et les surfaces irriguées correspondantes :



(ONID, 2005)

Figure IV.2 - Volumes distribués et superficies irriguées sur le périmètre du Hamiz

2- Périmètre du Bas Isser

Le Bas Isser est constitué d'une plaine alluviale recouverte sur 1 300 ha de sols aptes à l'irrigation. Ce dernier est situé dans la wilaya de Boumerdes. Il bénéficie d'un climat littoral tempéré doux et très favorable à l'agriculture.

Les assolements retenus comme caractéristiques des cultures irriguées de cette zone par l'ANRH sont basés sur le maraîchage, la pomme de terre et les légumes secs en rotation avec des céréales et un peu de fourrage. L'agrumiculture et les arbres fruitiers occupent par ailleurs une surface de 20% dans le plan de culture (ONID, 2001).

Les besoins en eau de ces périmètres sont présentés dans le Tableau IV.5

Tableau IV.5 - Besoins en eau d'irrigation de la Mitidja « Est » et Bas Isser

<i>Périmètres</i>	<i>Surface équipée (ha)</i>	<i>Superficie Irrigable (ha)</i>	<i>Besoins annuels d'irrigations (Hm³)</i>
<i>Hamiz</i>	17 000	11 000	45,7
<i>Bas Isser</i>	1 300	1000	7,3
Total	18 300	12 000	53

La répartition des besoins en eau d'irrigation en fonction de l'année est présentée dans le Tableau IV.6 :

Tableau IV.6 - Répartitions des besoins mensuels des périmètres

<i>Mois</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>
<i>Besoins mensuels en %</i>	9,6	1,8	0	0	0	0	0	4,7	11,7	27,7	27,4	17,1
<i>Besoins mensuels en Hm³</i>	5,09	0,95	0	0	0	0	0	2,49	6,20	14,68	14,52	9,06

La répartition annuelle des besoins en eau globale des différents utilisateurs est présentée dans la Fig VI.3.

III. Conclusion

A long terme, les besoins totaux des trois types de consommation s'élèvent à 288,72 Hm³ pour l'année 2062, répartis comme suit :

- AEP → 229,72 Hm³
- AEI → 6 Hm³
- Irrigation → 53 Hm³

La satisfaction de ces besoins ne sera possible qu'à condition de régulariser les apports dans le barrage qui redistribue la ressource dans le temps, en retenant les débits en période excédentaire pour les affecter en période déficitaire.

C'est l'un des moyen principaux pour supprimer les variations du débit naturel et les besoins des usagers d'une part et de réduire l'effet des crues d'autre part.

Besoins en eau

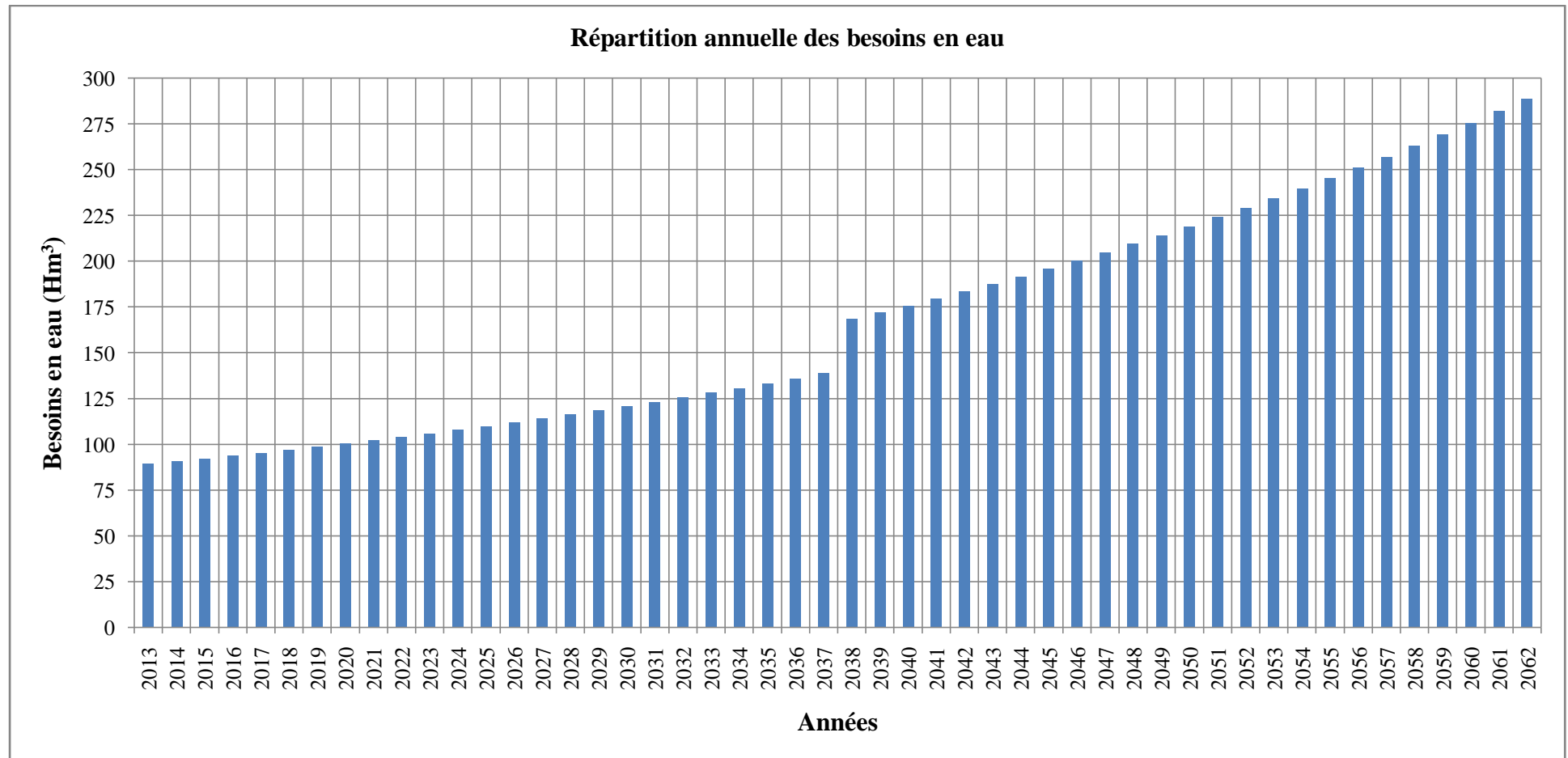


Figure IV.3 - Répartition annuelle des besoins en eau globale des différents utilisateurs

CHAPITRE V

MODELE DE GESTION

Modèle de gestion

En science et en génie, le mot « modèle » peut prendre différentes significations, selon le contexte dans lequel il est employé.

Dans notre cas, il est utilisé dans un contexte de simulation prédictive. En envisageant plusieurs approches quant à la gestion du barrage de Koudiet Acerdoune.

I. Objectif du modèle

Le modèle qui sera développé est principalement destiné à simuler la gestion opérationnelle du barrage de Koudiet Acerdoune à objectifs multiples, sur un pas de temps annuels et mensuel. Il permet d'évaluer la satisfaction de ces objectifs, en fonction des apports en eau et des consignes de gestion envisagées.

Accessoirement, il permet de définir certaines consignes de maintien de stock ou de revanche dans la retenue.

De ce fait, le modèle de gestion établi par nos soins est nommé « MODMAN », pour une traduction littérale en anglais : « MOdel Dam MANagement ».

Ce modèle de gestion de barrage est développé grâce aux données concernant le barrage de Koudiet Acerdoune sur l'Oued Isser, que l'on pourra généraliser à d'autres barrages présentant le même nombre d'objectifs en s'adaptant à son ordre de priorité.

Les simulations effectuées par « MODMAN » consistent à calculer, chaque mois, le volume alloué et le taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs, en tenant compte des critères suivants :

- Contraintes de gestion imposées par les caractéristiques physiques de l'ouvrage (capacité du barrage) ;
- Consignes de sécurité visant à protéger l'ouvrage : les vidanges à prévoir ;
- Consignes de gestion associées aux objectifs de l'ouvrage : les priorités.

En fonction de la situation hydrologique, ces contraintes et consignes imposent chacune une limite minimale ou maximale sur le débit total pouvant être lâché du barrage. Prises en compte par ordre de priorité décroissant, ces limites sont alors combinées pour en déduire le débit total à lâcher du barrage.

A cet effet, l'objectif essentiel du « MODMAN » est de satisfaire, dans la mesure du possible, la demande en eau de tous les utilisateurs par ordre de priorité et réservant un volume de sécurité pour les années sèches.

Modèle de gestion

1.1 Contraintes et consigne

Pour les contraintes de gestion, 2 types sont à considérer :

- **Contraintes physiques**

Elles sont imposées par les caractéristiques du barrage, qui sont :

- Capacité de stockage maximale du barrage ;
- Volume mort causé par l'envasement du barrage ;
- Non superposition des apports et des demandes ;
- Evaporation de plan d'eau.

- **Contraintes institutionnelle**

Elles sont caractérisées par le seuil minimal mensuel duquel on ne peut aller. Il est déterminé de manière arbitraire par le gestionnaire. Quand on dit arbitraire : cela dépendra, par exemple, des règlements en vigueur et de la possibilité d'exploitation d'autres sources. Il représente une entrée pour le programme.

Pour les consignes de gestion, aussi, 2 types sont à considérer :

- **Consignes de sécurité de l'ouvrage** : telle que l'évacuation d'eau par vannage en début et pendant la crue. Nous définissons un niveau au-delà duquel on ne peut dépasser : la revanche.
- **Consignes liées aux objectifs** : Le programme permet de simuler des consignes associées à des objectifs de gestion qui peuvent être variables dans l'année, mais doivent être identiques d'une année à une autre. Pour analyser l'effet d'une évolution interannuelle des objectifs de gestion, il est nécessaire d'effectuer plusieurs simulations envisageant ces différents objectifs.

1.2 Ordre de priorité

Les priorités d'allocation de la ressource entre les différents secteurs dans le cadre des planifications et opérations liées à l'eau se font en général de la manière suivante :

- AEP
- AEI
- Production d'énergie hydroélectrique
- Ecologie/environnement
- IRR

Si on respecte cette manière de faire, la priorité sera respectée selon l'ordre suivant :
AEP, AEI et IRR

Mais on ne peut s'arrêter sur ce choix pour le moment, car il faudra comparer entre les demandes relatives des différents secteurs pour voir si cela est possible, ou s'il y a changement à opérer.

Modèle de gestion

II. Structure du modèle

Le modèle évolue en trois (3) niveaux de temps (Fig V.1).

- **Niveau interannuel** : Il consiste à réguler les volumes stockés au barrage pour couvrir le déficit des années sèches causé par la variation des apports.
En d'autres termes, on peut imaginer avoir une sécheresse d'une année qu'on va aplanir pour avoir une satisfaction constante au fil des ans. A l'issue de ce niveau, le volume à allouer est déterminé au début et à la fin d'année.
- **Niveau annuel** : Il consiste à répartir le volume annuel estimé pendant l'étape précédente entre les mois de l'année selon leurs demandes respectives. On a défini la demande mensuelle comme étant un pourcentage de la demande totale.
- **Niveau mensuel** : Il s'agit là, de distribuer le volume mensuel estimé pendant l'étape précédente entre les différents secteurs ou objectifs. La manière de répartir ce volume entre les trois secteurs : AEP, AEI, IRR sera définie selon l'ordre de priorité.

- Structure du Modèle -

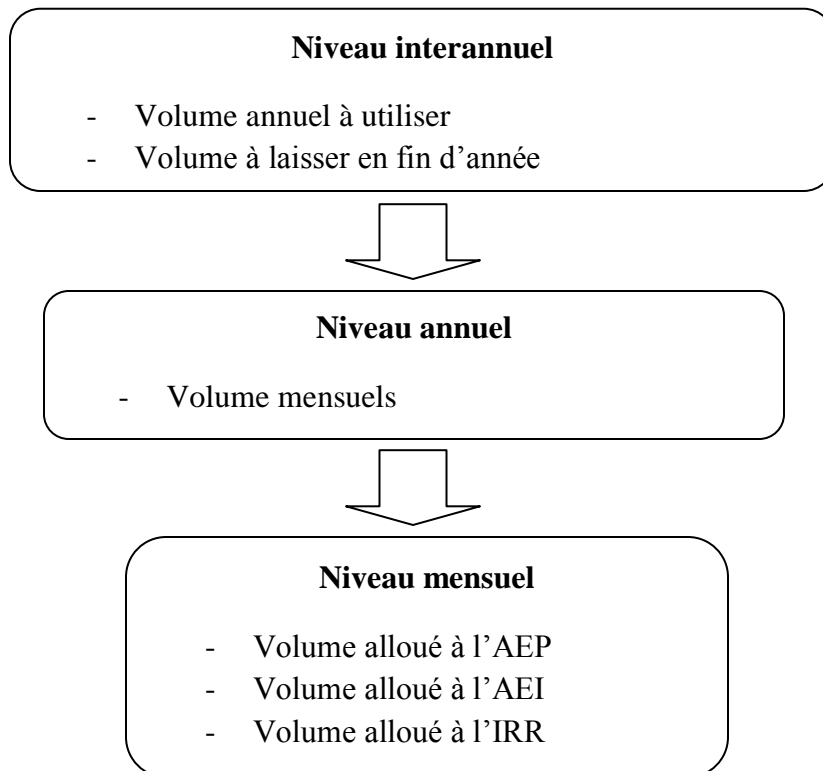


Figure V.1 - Structure du modèle

Le modèle calcule aussi le taux de satisfaction global et celui propre à chaque secteur. Ce dernier est calculé suivant un ordre de priorité fixé par nos soins comme suit :

Modèle de gestion

III. Organigramme de calcul

3.1 Organigramme général

L'organigramme général du calcul est présenté dans la Fig V.2

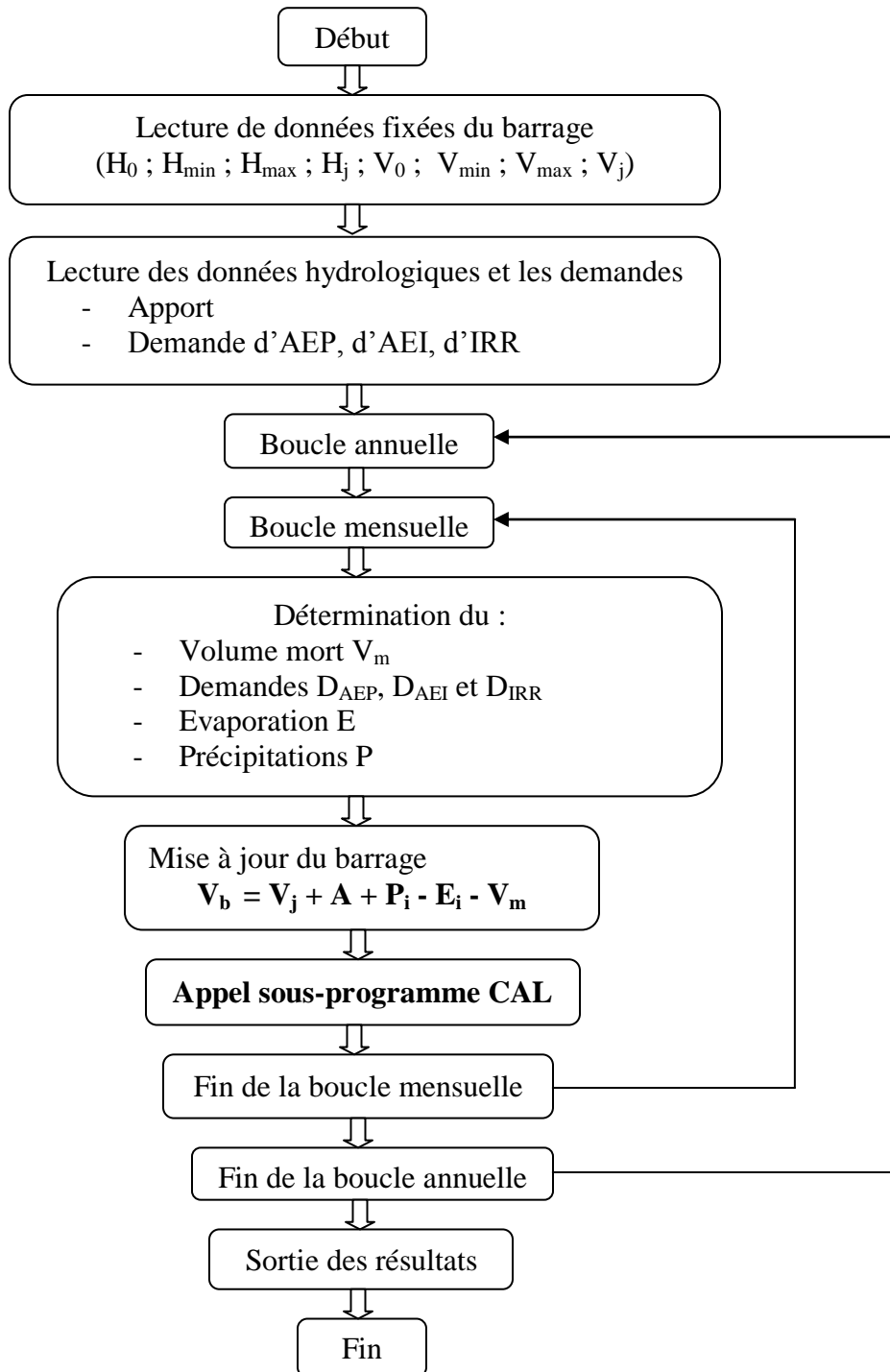


Figure V.2 - Organigramme général du modèle

3.2 Organigramme du sous-programme CAL

L'organigramme du sous-programme CAL est présenté dans la Fig V.3 :

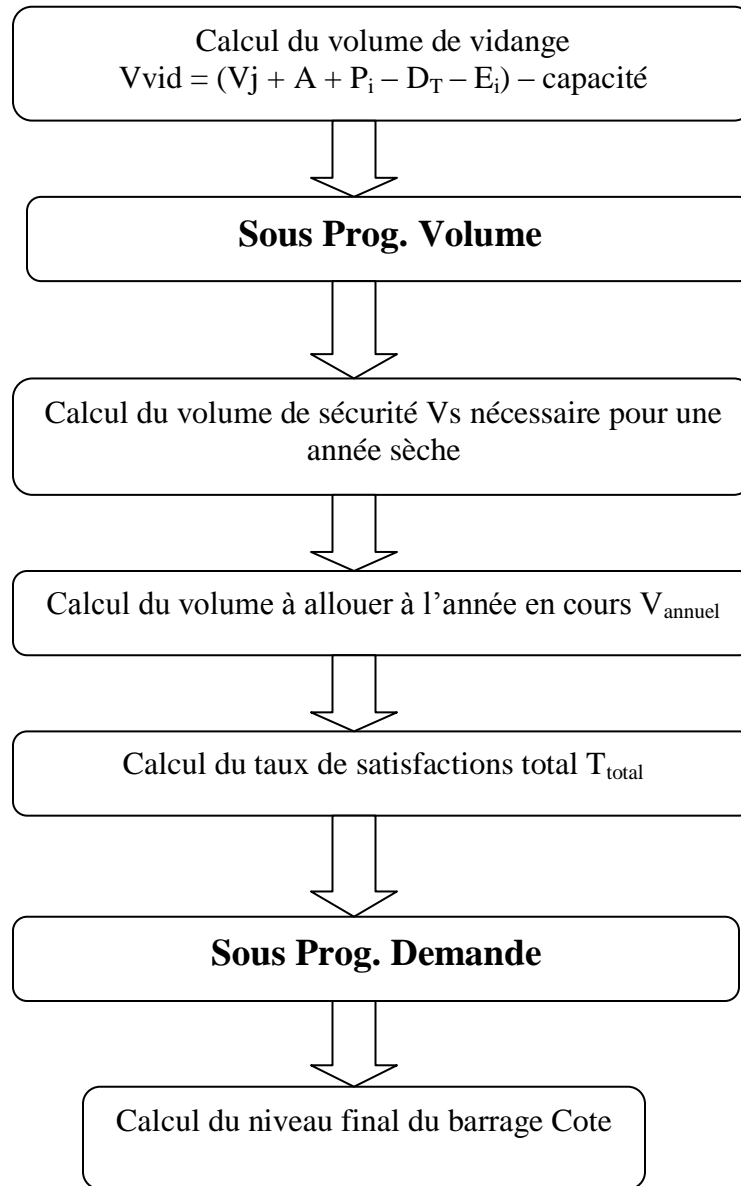


Figure V.3 - Organigramme du sous-programme CAL du modèle

IV. Opérations du modèle

4.1 Lecture des données fixes au barrage

Ceux sont des données intégrées dans le modèle concernant l'état initial du barrage, pour lequel le modèle commence la simulation :

$$\begin{array}{ll} H_0 = 213 \text{ m} & ; \quad V_0 = 0 \text{ Hm}^3 \\ H_{\min} = 275 \text{ m} & ; \quad V_{\min} = 191,54 \text{ Hm}^3 \\ H_{\max} = 311 \text{ m} & ; \quad V_{\max} = 640 \text{ Hm}^3 \\ H_j = 300,10 \text{ m} & ; \quad V_j = 468,93 \text{ Hm}^3 \end{array}$$

Avec :

H_0 : Hauteur correspondant à un volume nul ;

H_{\min} : Hauteur minimale correspondant au volume mort, au-dessous de laquelle on cesse de prélever dans la retenue ;

H_{\max} : Hauteur maximale à laquelle l'évacuateur de crue commence à fonctionner ;

H_j : Hauteur correspondant au volume du barrage pour le 1^{er} Janvier 2013, à laquelle le modèle commence leur simulation.

4.2 Lecture des données hydrologiques

- **Apports**

Le fichier des données comprendra quatre séries d'apports étudiés au chapitre III et chapitre V répartie en deux parties ; les apports annuels et mensuels pour 50 ans.

- **Evaporation du plan d'eau Vevap**

Le calcul de l'évaporation se fait selon la linéarisation du volume évaporé en fonction du volume d'eau stocké selon la relation V.1 :

$$\mathbf{V_{evap} = a.V + b} \quad \mathbf{(V.1)}$$

Cette relation est intégrée au modèle avec les paramètres a et b qui sont déterminées pour chaque mois (Chap III).

- **Précipitations P**

Le modèle tient compte des précipitations tombées sur la retenue du barrage, elles seront prise égale aux précipitations intra-annuelles reconstituées (Pont de la Traille) étudiées au Chap III.

- **Fuites d'eau**

Les fuites résultent d'une trop grande pression de l'eau à l'amont d'une paroi fragilisée. Le contrôle et la maintenance régulières du barrage font en sorte de diminuer la quantité d'eau perdue par fuites.

On doit y remédier dès qu'on a repéré la zone qui fuit pour les raisons suivantes :

- Eviter des pertes sèches d'eau ;
- Eviter que le phénomène ne s'aggrave, car une fissure a tendance à s'agrandir au fil du temps si aucune solution n'y est apportée ;
- Protection du barrage, car des fissurations pourraient conduire à sa rupture.

Remarque :

Comme les fuites sont proportionnelles à la pression de l'eau, le volume des fuites serait négligeable devant le volume stocké du barrage (Chap III), pour cela ce volume ne sera pas pris en compte dans notre modèle.

4.3 Lecture des demandes

- **Demande en eau potable D_{AEP}**

Les besoins en eau potable ont été déterminés au chapitre IV et sont modulés au pas de temps mensuel, cette demande à satisfaire sera de 229,72 Hm³ en 2062.

Le fichier de la demande d'AEP comprendra deux matrices, une pour la demande annuelle (50ans) utilisé pour la boucle j, et une autre pour la demande mensuelle (600 mois) utilisé pour la boucle i.

- **Demande en eau industrielle D_{AEI}**

Pour appliquer notre modèle, nous avons considéré la demande annuelle en eau industrielle égale à 6 Hm³ soit 0.5 Hm³ mensuellement (Chap IV).

Aussi, le fichier comprendra deux matrices : annuelle et mensuelle.

- **Demande en eau d'irrigation D_{IRR}**

Les besoins en eau futurs des périmètres Mitidja Est - Bas Isser, ont été obtenus à partir du bilan hydrique étudié par l'ONID (chap IV). Ils sont estimés annuellement à 53 hm³, répartis en fonction de l'année par des pourcentages précis, la période d'irrigation commence en mois d'Avril et se termine au mois d'Octobre.

- **Demande en eaux totale D_T**

La demande annuelle totale quantifiant les sorties « objectifs » du barrage s'élève à :

$$AEP + AEI + IRR = 229,72 + 6 + 53 = 288,72 \text{ Hm}^3$$

Soit en pourcentage :

$$AEP = 79.56 \%, AEI = 2,07 \% \text{ et } IRR = 18,36 \%$$

L'AEI ne représentant que 2,07 % de la demande totale, sa non-satisfaction ne pourra pas influencer significativement le taux global de satisfaction. Par contre, ce dernier sera grandement influencé par l'AEP et l'IRR. A cet effet, ce secteur sera considéré comme prioritaire par rapport aux autres secteurs.

Redéfinissons maintenant les priorités entre les différents secteurs :

- AEI ;
- AEP ;
- IRR.

Modèle de gestion

4.4 Boucle centrale

Elle comprend deux boucles : une boucle annuelle et une boucle mensuelle qui comprend les opérations de fonctionnement proprement dite du modèle.

4.4.1 Boucle annuelle

Elle permet :

- Appel et calcul des données hydrologiques de l'année ;
- Calcul de la demande de chaque secteur et totale de l'année ;
- Calcul du volume mort du barrage de l'année ;
- Mise à jour du barrage ;
- Appel du sous-programme CAL ;
- Détermination de l'état final du barrage.

4.4.2 Boucle mensuelle

Elle permet :

- Appel et calcul des données hydrologiques du mois ;
- Calcul de la demande de chaque secteur et totale du mois ;
- Calcul de la fourniture, du taux de satisfaction du mois.

4.5 Sous programmes CAL

Le sous programmes CAL est la base du modèle, il permet de tester et calculer tous les opérations du modèle (volume de vidange, volume de sécurité, taux de satisfaction, niveau finale du barrage) et cela a l'aide du Sous Programme Volume.

• Estimation du volume de vidange V_{vid}

Cette perte sèche désigne les évacuations soit par la vidange de fond, soit par déversement par l'évacuateur de crue.

Quant on prévoit qu'il y aura un apport très important, qui va dépasser la capacité du barrage, intuitivement, nous allons desservir et satisfaire la demande globale à cent pour cent (100%).

Le volume de vidange est estimé par la relation V.2 :

$$V_{vid} = (\text{Volume du barrage} - \text{Demande totale}) - \text{Volume maximum du barrage} \quad (\text{V.2})$$

Tel que :

$$\text{Volume du barrage} = \text{Volume initial} + \text{Précipitation} - \text{Evaporation} - \text{Volume mort}$$

Modèle de gestion

- **Taux de satisfaction total T_{total}**

Il est calculé par la relation V.3 :

$$T_{total} = V_{annuel} / \text{Demande totale} \quad (\text{V.3})$$

- **Estimation du niveau finale du barrage « Côte »**

L'estimation du niveau final du barrage est calculée par la relation Niveau-Volume (Chap II)

$$H_{j+1} = (V_{j+1} / 0,00364)^{0,38} + 213$$

4.5.1 Sous Programme Volume

Le Sous Programme « Volume » permet de tester les volumes avec les demandes, puis il calcule : le volume de sécurité, le volume utile alloué à l'année en cours et les taux de satisfaction des différents secteurs à l'aide du Sous Programme « Demande ».

- **Estimation du volume de sécurité V_s**

Le volume de sécurité permet, dans la mesure du possible, d'atténuer la sécheresse localisée ou prolongée prévue.

Pour commencer, quand doit-on parler de sécheresse ?

On dira qu'il y a sécheresse quand l'apport annuel utile (apport – évaporation) ne peut atteindre le seuil minimum que l'on s'est fixé.

La sécheresse qu'on considère comme sévère, se présente de deux manières :

- Localisée : qui ne dure qu'une seule année, elle est facilement rattrapable ;
- La sécheresse prolongée : qui s'étale sur deux ou trois ans avec des apports très faibles.

A cet état là, on ne doit pas satisfaire la demande pendant les années humides à 100%, un stockage d'un volume de sécurité est nécessaire pour permettre leur utilisation durant les années sèches.

Notre modèle va tester l'année qui suit l'année de simulation, puis calcul le « V_s » pour cette année s'il est nécessaire.

Le seuil minimum de calcul est de 60% de la demande totale.

$$V_s = \text{Volume utile} - (\text{Seuil minimal} - \text{Apports futurs})$$

Modèle de gestion

- **Le volume utile alloué à l'année en cours V_u**

$$V_u = \text{Apport} + \text{Précipitation} - \text{Evaporation} - V_s - V_{\text{vid}}$$

- **Sous Programme Demande**

C'est un sous programme intégré au Sous Programme « Volume », leur rôle est de tester et comparer les volumes aux demandes, ensuite, il détermine le taux de satisfaction de chaque secteur (T_{AEP} , T_{AEI} et T_{IRR}).

Les algorithmes du modèle sont présentés dans les figures V.4, V.5 et V.6.

4.6 Sortie des résultats

Les résultats finaux de la simulation comprennent :

- La côte et le volume final du barrage (après fourniture) ;
- Le volume utile pour l'année en cours ;
- Le volume de vidange ;
- Le volume de sécurité ;
- Le taux de satisfaction total ;
- Les taux de satisfaction des différents secteurs.

4.7 Code de calcul

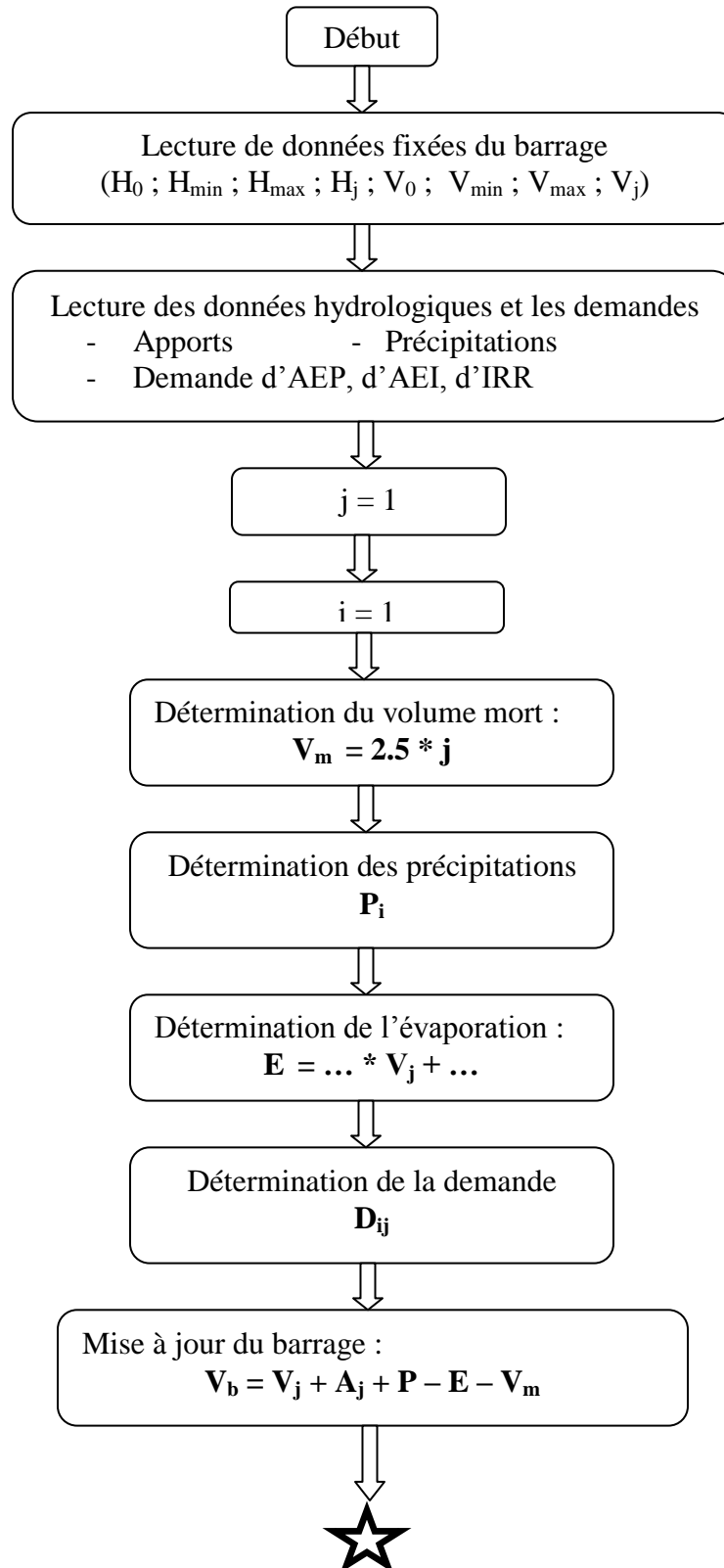
Notre modèle a été programmé par Scilab.

Scilab est un environnement dédiée à la manipulation numérique et graphique, plus précisément c'est un outil d'ingénierie mathématique qui offre de nombreuses applications en automatisme, Algèbre linéaire, traitement du signal, optimisation et résolution de problèmes non-linéaires. C'est un logiciel très similaire au plus connu Matlab. La grande différence est que, Matlab est un logiciel tandis que Scilab est un logiciel gratuit, « open source », développé par un institut français : l'INRIA (1994)

Modèle de gestion

V. Algorithme générale du « MODMAN »

L'algorithme général du « MODMAN » est présenté dans la Fig V.4



Modèle de gestion

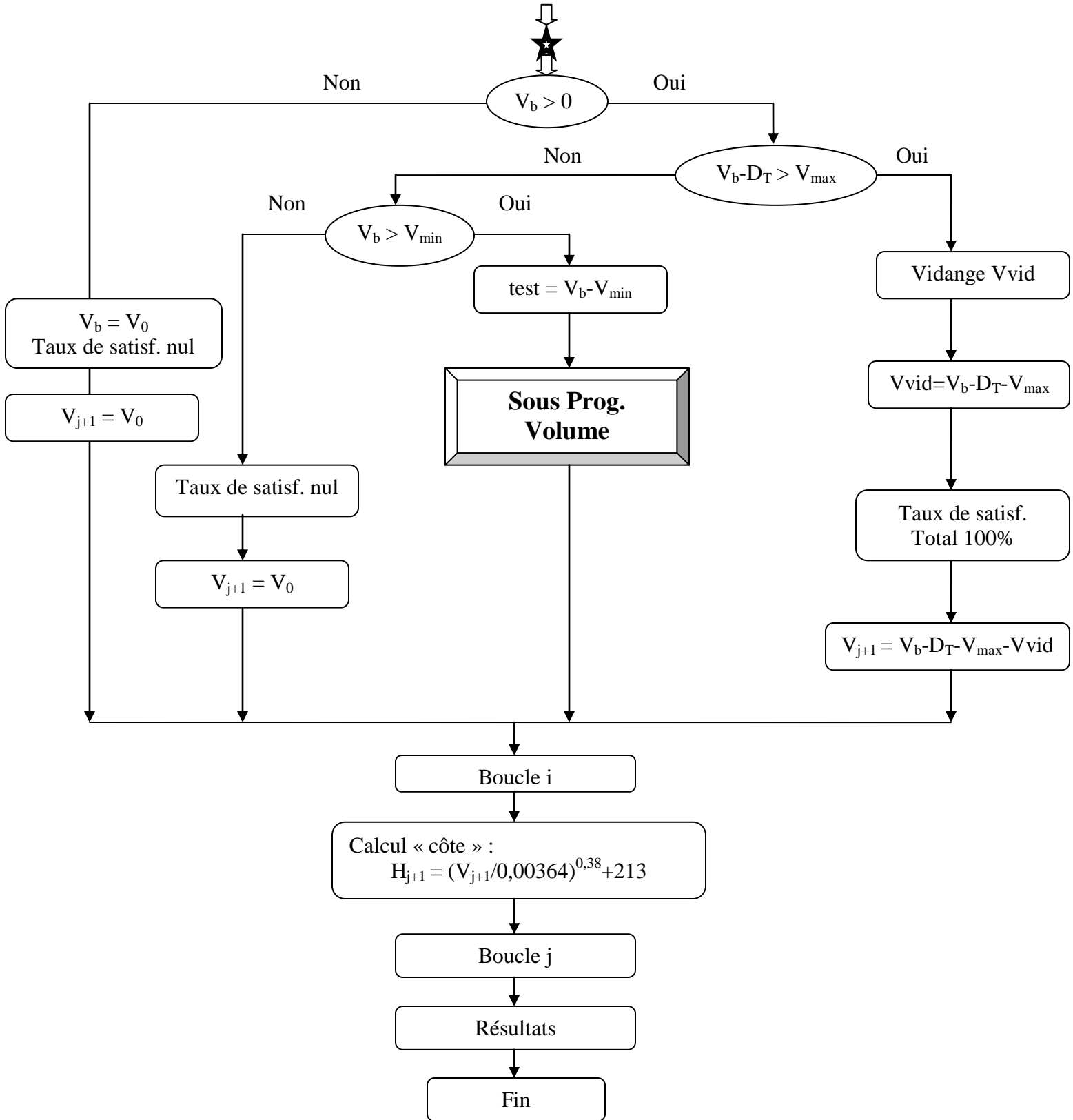


Figure V.4 - Algorithme générale du « MODMAN »

5.1 Algorithme du Sous Prog. Volume

L'algorithme du Sous Prog. Volume est présenté dans la Fig V.5

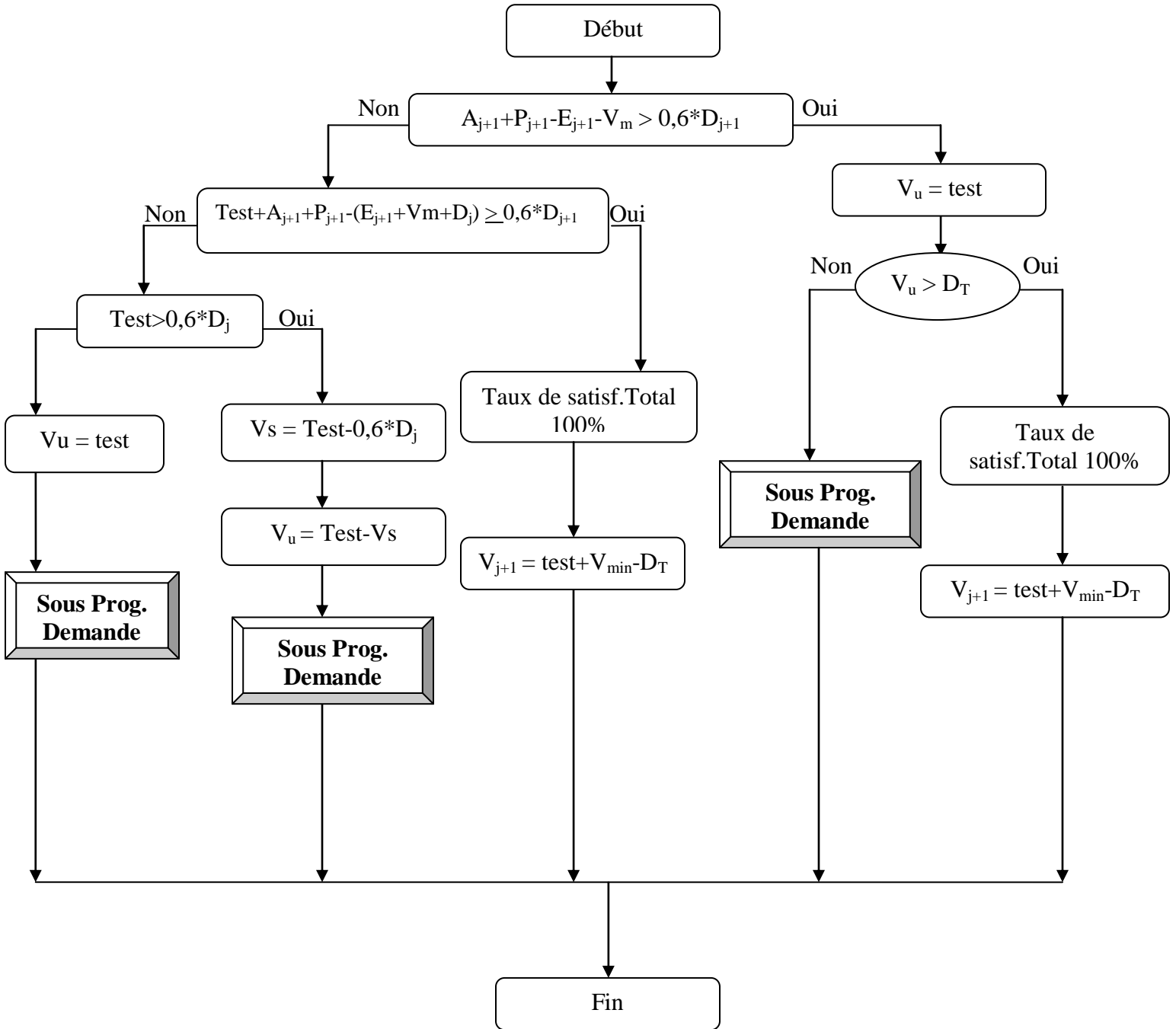


Figure V.5 - Algorithme du Sous Prog. Volume

5.2 Algorithme du Sous Prog. Demande

L'algorithme du Sous Prog. Demande est présenté dans la Fig V.6

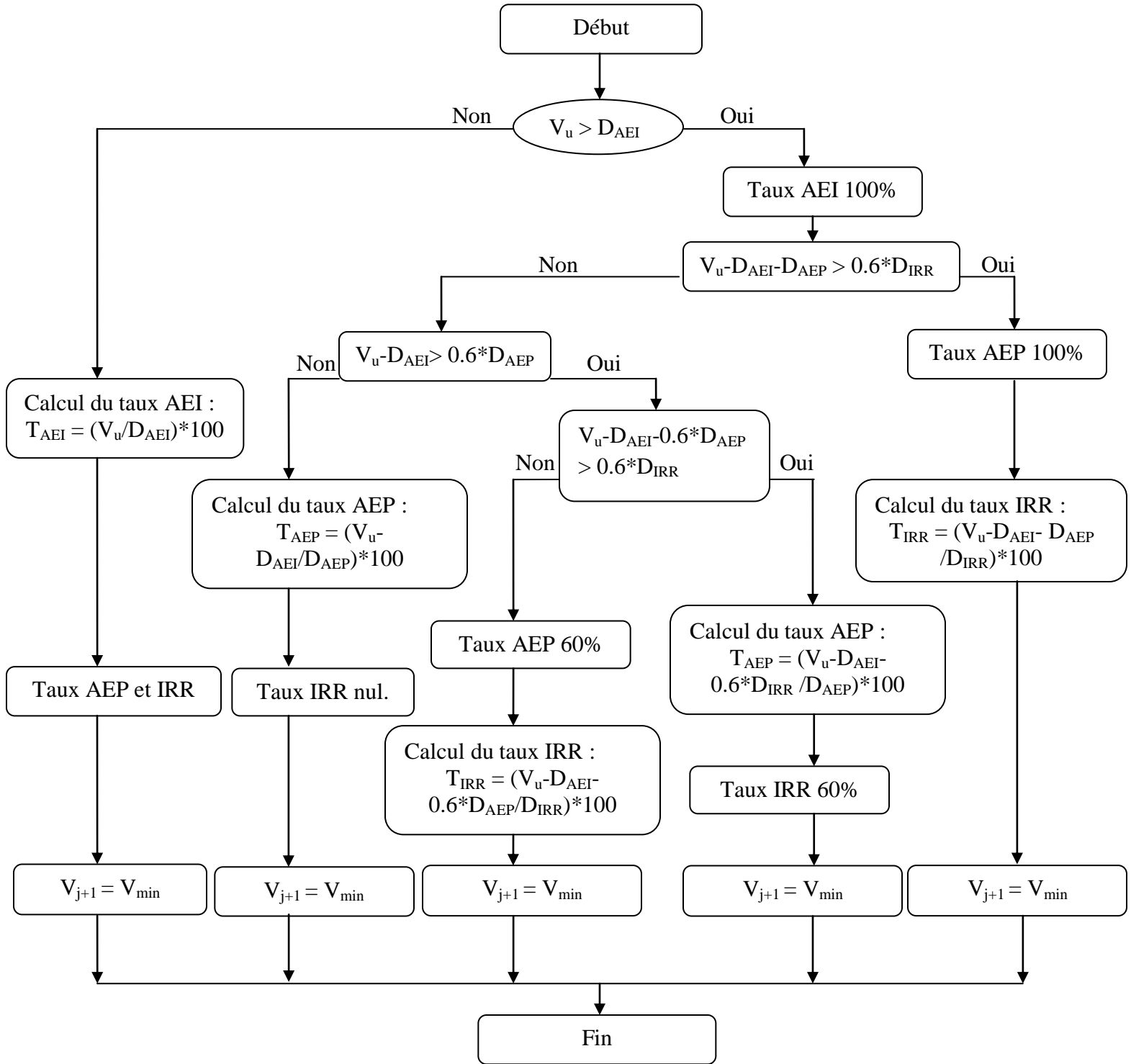


Figure V.6 - Algorithme du Sous Prog. Demande

Modèle de gestion

VI. Applications du modèle de gestion « MODMAN »

Après avoir mis au point le programme sous Scilab, le modèle est testé pour différents scenario :

- 1- En période sèche ;
- 2- En période humide ;
- 3- En période moyenne ;
- 4- Avec les apports reconstitués du barrage Koudiet Acerdoune.

• Période sèche

La période sèche est définie comme étant une probabilité de 4/5 d'être dépassé chaque période (l'utilisation de l'apport probable à 20% généralisé sur toute la période de simulation).

Elle permet de caractériser une année de faible hydraulicité.

• Période moyenne

Elle correspond à un pourcentage cumulé de 50% (c'est-à-dire que 50 % des valeurs sont supérieures à la médiane et 50 % lui sont inférieures).

• Période humide

La période humide est définie comme étant une probabilité de 1/5 d'être dépassé chaque période (l'utilisation de l'apport probable à 80% généralisé sur toute la période de simulation).

Elle permet de caractériser une année de forte hydraulicité.

L'ajustement à une loi de distribution de fréquence permet d'estimer les apports probables.

La loi log normale a permis d'identifier les apports comme le montre le tableau V.1 :

$$x_{p\%} = e^{\overline{\ln x} + u_{p\%} \cdot \sigma_{\ln x}}$$

Avec :

$u_{p\%}$: Variable réduite de Gauss a une probabilité donnée ;

σ : Ecart type de la série ; ($\sigma = 100,30 \text{ Hm}^3$)

\bar{x} : Moyenne arithmétique annuelle de la série ; ($\bar{x} = 128,74 \text{ Hm}^3$)

Tableau V.1 - Apports probables aux différentes périodes

Apport Prob (%)	Période		
	Sèche	Moyenne	Humide
20	50	-	-
50	-	97	-
80	-	-	189

6.1 Interprétation

- **Période sèche**

Cette simulation ne reflète pas la réalité, mais elle permet aux gestionnaires du barrage de connaître les années et les mois secs, ou ils vont intervenir pour gérer la distribution du volume du barrage par rapport à la demande.

Aussi, elle nous indique l'année à partir de laquelle nous serons obligés de disposer des ressources supplémentaires (mobilisation, nappe, centres de dessalement...) pour couvrir le déficit enregistré ou bien d'avertir les populations et les agriculteurs de ce déficit.

La gestion du barrage en période sèche traduit que seulement les (04) premières années (2013-2016) sont satisfaites à 100% et (03) ans avec le seuil minimum de 60% (2017-2019). A partir de cette date, la demande d'irrigation accuse un déficit total jusqu'à la fin de la gestion et la demande en eau potable subit aussi un décroissement jusqu'à un taux 0% en 2031, à partir de cette période, le barrage aura dépassé sa durée de vie théorique qui est estimée à 20 ans d'exploitations.

Il est à noter, que ce déficit est causé par l'augmentation rapide de la demande en eau d'AEP des trois axes par rapport au volume annuel du barrage.

Les solutions proposées dans ce cas sont :

- Soit d'alimenter l'axe N°1 (Lakhdaria-Draa el Mizan-Ouadhias) à partir des deux barrages existants dans cette région (barrage de Hamiz et barrage de Kaddara) ;
- Soit d'irriguer une partie du périmètre de la Mitidja Est (Hamiz) à partir du barrage existants de Beni Omrane ;
- Soit de délaisser cette politique d'exploitation temporairement et faite des restrictions soit sur la surface à irriguer soit sur les fournitures d'eau des différents usagers.

- **Période moyenne**

La gestion du barrage en période moyenne, montre une certaine amélioration dans la satisfaction des besoins en eau, on remarque que notre barrage peut satisfaire jusqu'à 12 ans avec un taux de 100%, 04 ans avec le seuil minimum et 10 ans avec un taux varie entre 20-60 %.

Cette simulation ne reflète pas la réalité aussi, mais elle permet aux gestionnaires du barrage de tester et d'avoir une idée sur la durée de vie du barrage par rapport à la satisfaction des besoins en eau qui est de l'ordre de 39 ans.

Modèle de gestion

- **Période humide**

La gestion du barrage en période humide, est une simulation loin de la réalité, mais elle peut montrer au gestionnaire que le barrage peut satisfaire les besoins en eau des différents utilisateurs à 100 % dans les 31 ans d'avenir (jusqu'à 2043), avec le seuil minimum d'une année et avec un taux varie entre 20-60 % pour les années 2045-2062.

Aussi, elle définit les années dont le quel le barrage est plein, pour que les gestionnaires se prépare à une évacuation d'eau (testé la stabilité du barrage, l'évacuateur de crue et la vidange de font).

- **Apports reconstitués**

La gestion du barrage avec les apports réels reconstitués, est le scénario réel du fonctionnement du barrage, on peut visualiser au cours des années, le volume de sécurité, la vidange, le taux de satisfaction à 100%, le taux avec le seuil minimum, les années sèches, les années humide....etc.

L'analyse des résultats obtenus par cette simulation indique :

- Le barrage peut satisfaire les besoins totaux en eaux de 2013 jusqu'à 2030 ;
- Avec le seuil minimum du 2031-2033 ;
- Le barrage va subir 7 fois des lâchers d'eau (2014-2016, 2018-2020 et l'année 2022) ;
- Une longue période de sécheresse de 03 et 04 ans successifs (2034-2037 et 2039-2041),
- A partir de l'année 2043, le volume du barrage devient inférieur à la prise d'eau minimale d'exploitation, soit un barrage pratiquement vide s'il ne sera pas alimenté.

Les solutions proposées dans le cas d'une longue période de sécheresse sont :

- Soit alimenter l'axe N°2 (Sour el Ghozlane-Sidi Aissa-Ain Lahdjel) à partir du barrage qui doit être exploitable dans cette période (barrage El Malleh) ;
- Soit de préserver un volume d'eau, pour alimenter l'axe N°3 (Beni Slimane-Berrouaghia-Ksar el Boukhari-Boughzoul) et irriguer le périmètre du Bas Isser par le barrage de Ladrat;
- Soit de d'implanter un nouveau barrage sur l'Oued El Mellah pour l'alimentation de l'axe N°3.

Modèle de gestion

Tableau V.2 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période sèche

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
1	422,60	297,07	320,17	89,11	100	100	100	100	-	-
2	373,39	293,20	272,46	90,60	100	100	100	100	-	-
3	321,32	288,76	221,92	92,14	100	100	100	100	-	-
4	266,42	283,55	168,60	93,71	100	100	100	100	-	-
5	246,86	281,54	57,20	95,33	100	60	55,7	60	55,32	-
6	224,28	279,08	58,19	96,99	100	60	55,7	60	32,74	-
7	198,73	276,11	59,20	98,69	100	60	55,7	60	7,19	-
8	191,54	275	38,96	100,44	100	60	15,28	38,79	-	-
9	191,54	275	29,44	102,24	100	54,18	0	28,79	-	-
10	191,54	275	26,94	104,09	100	46,45	0	25,88	-	-
11	191,54	275	24,44	105,98	100	39,25	0	23,06	-	-
12	191,54	275	21,94	107,93	100	32,58	0	20,33	-	-
13	191,54	275	19,44	109,93	100	26,39	0	17,68	-	-
14	191,54	275	16,94	111,99	100	20,64	0	15,13	-	-
15	191,54	275	14,44	114,10	100	15,32	0	12,66	-	-
16	191,54	275	11,94	116,26	100	10,37	0	10,27	-	-
17	191,54	275	9,44	118,49	100	5,78	0	7,97	-	-
18	191,54	275	6,94	120,77	100	1,52	0	5,75	-	-
19	191,54	275	4,44	123,12	73,98	0	0	3,61	-	-
20	191,54	275	1,94	125,53	32,32	0	0	1,54	-	-

Modèle de gestion

(Suite du Tableau V.2)

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
21	190,98	275	0	128,01	0	0	0	0	-	-
22	187,93	274,79	0	130,55	0	0	0	0	-	-
23	182,46	274,10	0	133,16	0	0	0	0	-	-
24	174,61	273,09	0	135,84	0	0	0	0	-	-
25	164,46	271,73	0	138,60	0	0	0	0	-	-
26	152,05	270,01	0	168,32	0	0	0	0	-	-
27	137,44	267,86	0	171,95	0	0	0	0	-	-
28	120,67	265,21	0	175,68	0	0	0	0	-	-
29	101,81	261,95	0	179,51	0	0	0	0	-	-
30	80,91	252,53	0	183,44	0	0	0	0	-	-
31	58,00	244,95	0	187,48	0	0	0	0	-	-
32	33,14	230,09	0	191,63	0	0	0	0	-	-

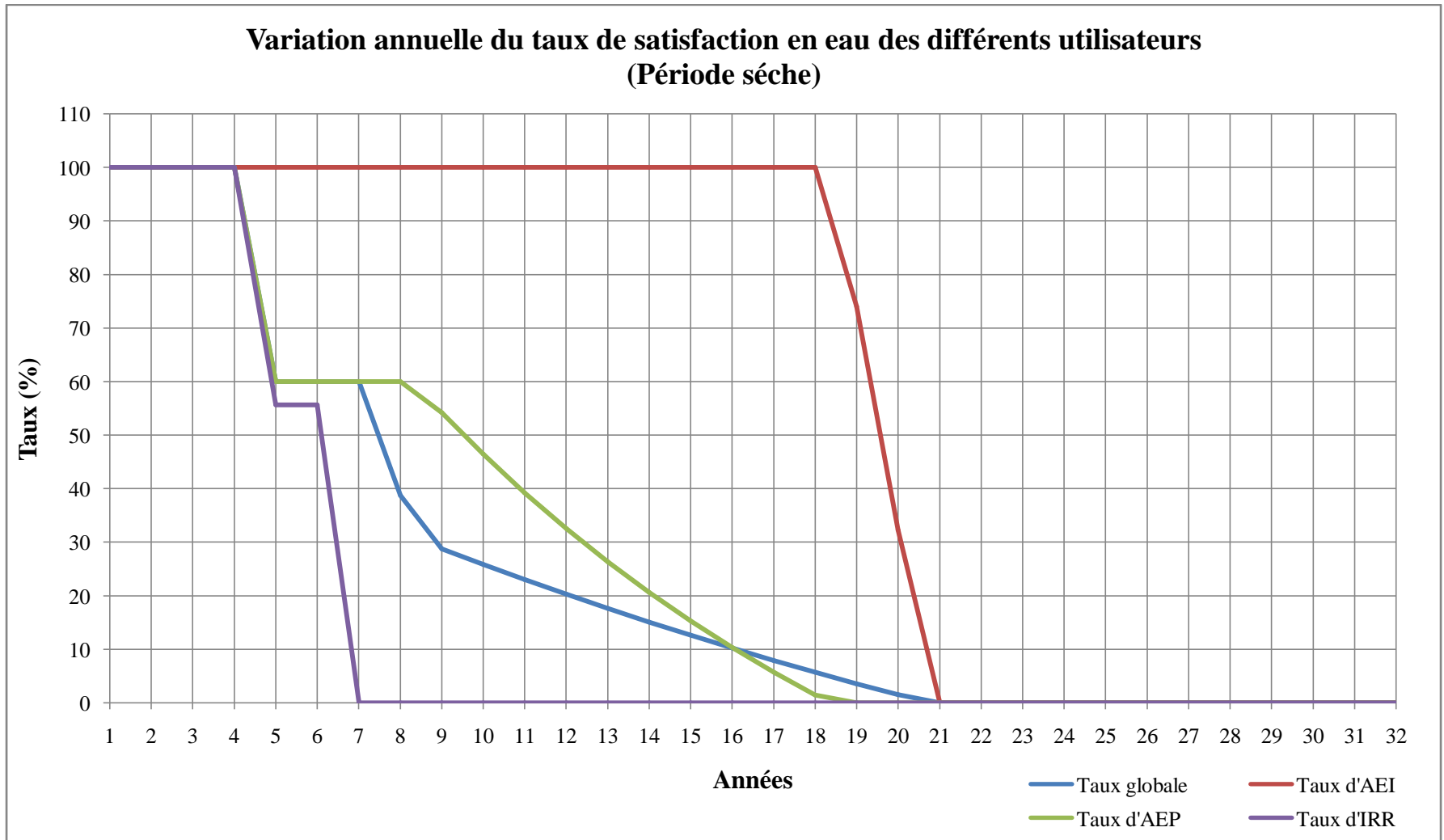


Figure V.7 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période sèche)

Modèle de gestion

Tableau V.3 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période moyenne

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
1	469,60	300,51	367,17	89,11	100	100	100	100	-	-
2	466,26	300,27	365,33	90,60	100	100	100	100	-	-
3	458,96	299,75	359,56	92,14	100	100	100	100	-	-
4	447,76	298,94	349,94	93,71	100	100	100	100	-	-
5	432,71	297,83	336,51	95,33	100	100	100	100	-	-
6	413,87	296,40	319,32	96,99	100	100	100	100	-	-
7	391,31	294,65	298,44	98,69	100	100	100	100	-	-
8	365,02	292,52	273,91	100,44	100	100	100	100	-	-
9	335,04	289,97	245,76	102,24	100	100	100	100	-	-
10	301,45	286,94	213,99	104,09	100	100	100	100	-	-
11	264,27	283,33	178,71	105,98	100	100	100	100	-	-
12	223,54	279,00	139,93	107,93	100	100	100	100	-	-
13	223,25	278,97	65,96	109,93	100	60	55,47	60	31,71	-
14	219,23	278,51	67,19	111,99	100	60	55,47	60	27,69	-
15	211,56	277,63	68,45	114,10	100	60	55,47	60	20,02	-
16	200,26	276,30	69,76	116,26	100	60	55,47	60	8,72	-
17	191,54	275	64,95	118,49	100	60	43,87	54,81	0	-
18	191,54	275	53,94	120,77	100	60	20,52	44,66	-	-
19	191,54	275	51,44	123,12	100	60	13,16	41,78	-	-
20	191,54	275	48,94	125,53	100	60	5,69	38,98	-	-
21	191,54	275	46,44	128,01	100	58,60	0	36,28	-	-
22	191,54	275	43,94	130,55	100	53,03	0	33,66	-	-
23	191,54	275	41,44	133,16	100	47,78	0	31,12	-	-
24	191,54	275	38,94	135,84	100	42,87	0	28,67	-	-
25	191,54	275	36,44	138,60	100	38,24	0	26,29	-	-

Modèle de gestion

(Suite du Tableau V.3)

Années	V _b (Hm ³)	Côte (m)	V _u (Hm ³)	Demande (Hm ³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V _s (Hm ³)	V _{vid} (Hm ³)
26	191,54	275	33,94	168,32	100	25,56	0	20,16	-	-
27	191,54	275	31,44	171,95	100	22,53	0	18,29	-	-
28	191,54	275	28,94	175,68	100	19,66	0	16,47	-	-
29	191,54	275	26,44	179,51	100	16,96	0	14,73	-	-
30	191,54	275	23,94	183,44	100	14,41	0	13,05	-	-
31	191,54	275	21,44	187,48	100	12,02	0	11,44	-	-
32	191,54	275	18,94	191,63	100	9,76	0	9,88	-	-
33	191,54	275	16,44	195,89	100	7,63	0	8,39	-	-
34	191,54	275	13,94	200,26	100	5,62	0	6,96	-	-
35	191,54	275	11,44	204,76	100	3,73	0	5,59	-	-
36	191,54	275	8,94	209,37	100	1,95	0	4,27	-	-
37	191,54	275	6,44	214,11	100	0,28	0	3,01	-	-
38	191,54	275	3,94	218,98	65,65	0	0	1,80	-	-
39	191,54	275	1,44	223,98	23,98	0	0	0,64	-	-
40	190,48	275	0	229,11	0	0	0	0	-	-
41	186,94	274,66	0	234,38	0	0	0	0	-	-
42	180,99	273,91	0	239,80	0	0	0	0	-	-
43	172,69	272,83	0	245,36	0	0	0	0	-	-
44	162,08	271,41	0	251,07	0	0	0	0	-	-
45	149,22	269,60	0	256,93	0	0	0	0	-	-
46	134,18	267,36	0	262,96	0	0	0	0	-	-
47	116,99	264,60	0	269,14	0	0	0	0	-	-
48	97,21	261,19	0	275,50	0	0	0	0	-	-
49	76,12	256,89	0	282,02	0	0	0	0	-	-
50	53,11	251,23	0	288,72	0	0	0	0	-	-

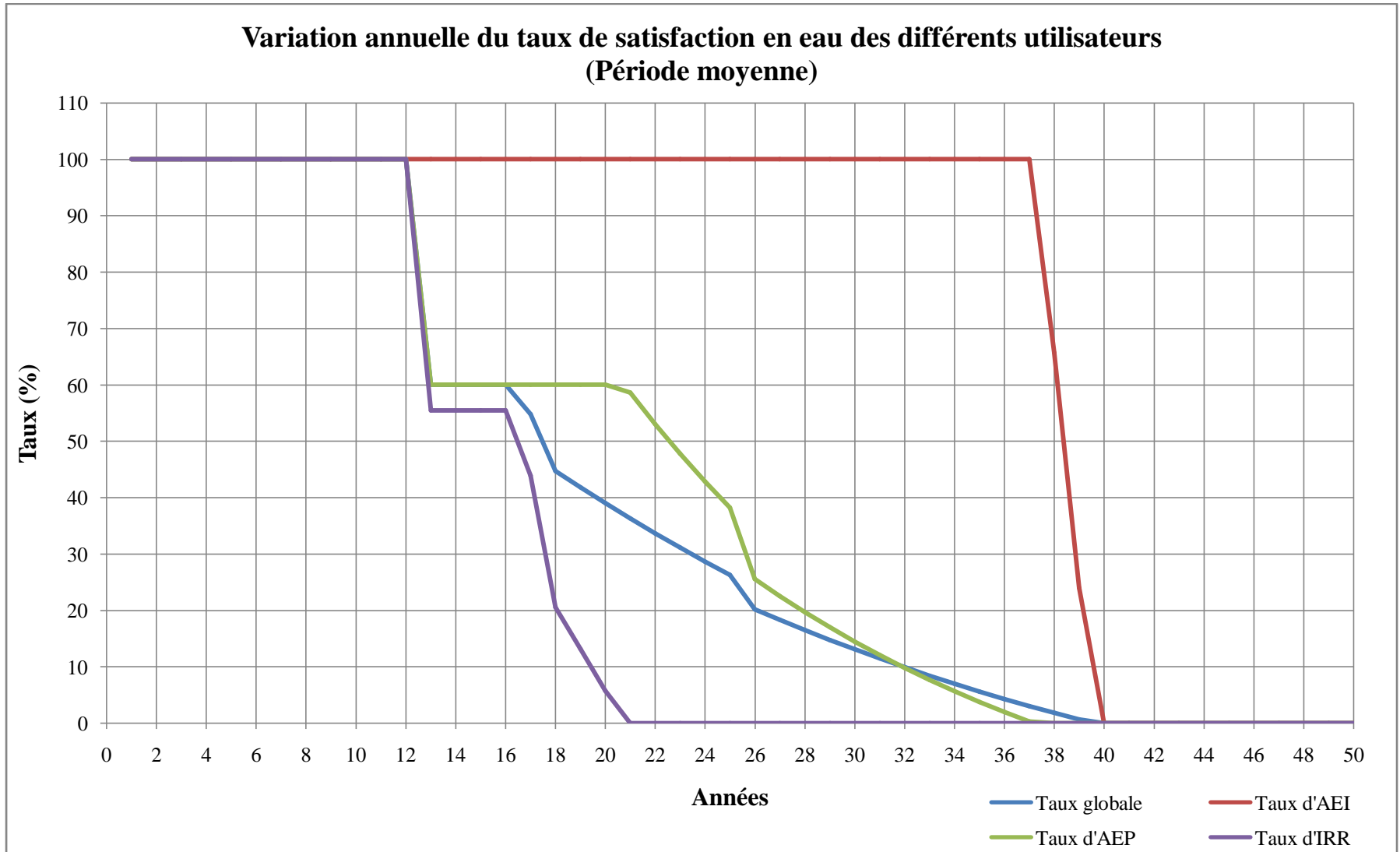


Figure V.8 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période moyenne)

Modèle de gestion

Tableau V.4 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune en période humide

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
1	561,60	306,66	459,17	89,11	100	100	100	100	-	-
2	640	311	-	90,60	100	100	100	100	-	8,05
3	640	311	-	92,14	100	100	100	100	-	80,54
4	640	311	-	93,71	100	100	100	100	-	76,46
5	640	311	-	95,33	100	100	100	100	-	72,34
6	640	311	-	96,99	100	100	100	100	-	68,19
7	640	311	-	98,69	100	100	100	100	-	64,01
8	640	311	-	100,44	100	100	100	100	-	59,75
9	640	311	-	102,24	100	100	100	100	-	55,42
10	640	311	-	104,09	100	100	100	100	-	51,10
11	640	311	-	105,98	100	100	100	100	-	46,70
12	640	311	-	107,93	100	100	100	100	-	42,25
13	640	311	-	109,93	100	100	100	100	-	37,75
14	640	311	-	111,99	100	100	100	100	-	33,19
15	640	311	-	114,10	100	100	100	100	-	28,60
16	640	311	-	116,26	100	100	100	100	-	23,92
17	640	311	-	118,49	100	100	100	100	-	19,18
18	640	311	-	120,77	100	100	100	100	-	14,41
19	640	311	-	123,12	100	100	100	100	-	9,57
20	640	311	-	125,53	100	100	100	100	-	4,64
21	639,67	311	576,14	128,01	100	100	100	100	-	-
22	634,31	311	573,31	130,55	100	100	100	100	-	-
23	623,95	310,49	565,58	133,16	100	100	100	100	-	-
24	608,67	309,57	552,97	135,84	100	100	100	100	-	-
25	588,49	308,34	535,56	138,60	100	100	100	100	-	-

Modèle de gestion

(Suite du Tableau V.4)

Années	V _b (Hm ³)	Côte (m)	V _u (Hm ³)	Demande (Hm ³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V _s (Hm ³)	V _{vid} (Hm ³)
26	536,58	305,05	513,36	168,32	100	100	100	100	-	-
27	479,81	301,22	460,20	171,95	100	100	100	100	-	-
28	418,15	296,73	402,29	175,68	100	100	100	100	-	-
29	351,65	291,40	339,61	179,51	100	100	100	100	-	-
30	280,30	284,92	272,21	183,44	100	100	100	100	-	-
31	204,15	276,76	200,07	187,48	100	100	100	100	-	-
32	199,81	276,24	114,97	191,63	100	60	55,47	60	8,27	-
33	191,54	275	116,51	195,89	100	60	53,56	59,48	-	-
34	191,54	275	105,94	200,26	100	60	28,65	52,90	-	-
35	191,54	275	103,44	204,76	100	60	18,85	50,52	-	-
36	191,54	275	100,94	209,37	100	60	8,91	48,21	-	-
37	191,54	275	98,44	214,11	100	59,60	0	45,98	-	-
38	191,54	275	95,94	218,98	100	56,21	0	43,81	-	-
39	191,54	275	93,44	223,98	100	53,01	0	41,72	-	-
40	191,54	275	90,94	229,11	100	49,93	0	39,69	-	-
41	191,54	275	88,44	234,38	100	47,00	0	37,73	-	-
42	191,54	275	85,94	239,80	100	44,21	0	35,84	-	-
43	191,54	275	83,44	245,36	100	41,56	0	34,01	-	-
44	191,54	275	80,94	251,07	100	39,02	0	32,24	-	-
45	191,54	275	78,44	256,93	100	36,60	0	30,53	-	-
46	191,54	275	75,94	262,96	100	34,29	0	28,88	-	-
47	191,54	275	73,44	269,14	100	32,10	0	27,29	-	-
48	191,54	275	70,94	275,50	100	30,00	0	25,75	-	-
49	191,54	275	68,44	282,02	100	28,00	0	24,27	-	-
50	191,54	275	65,94	288,72	100	26,09	0	22,84	-	-

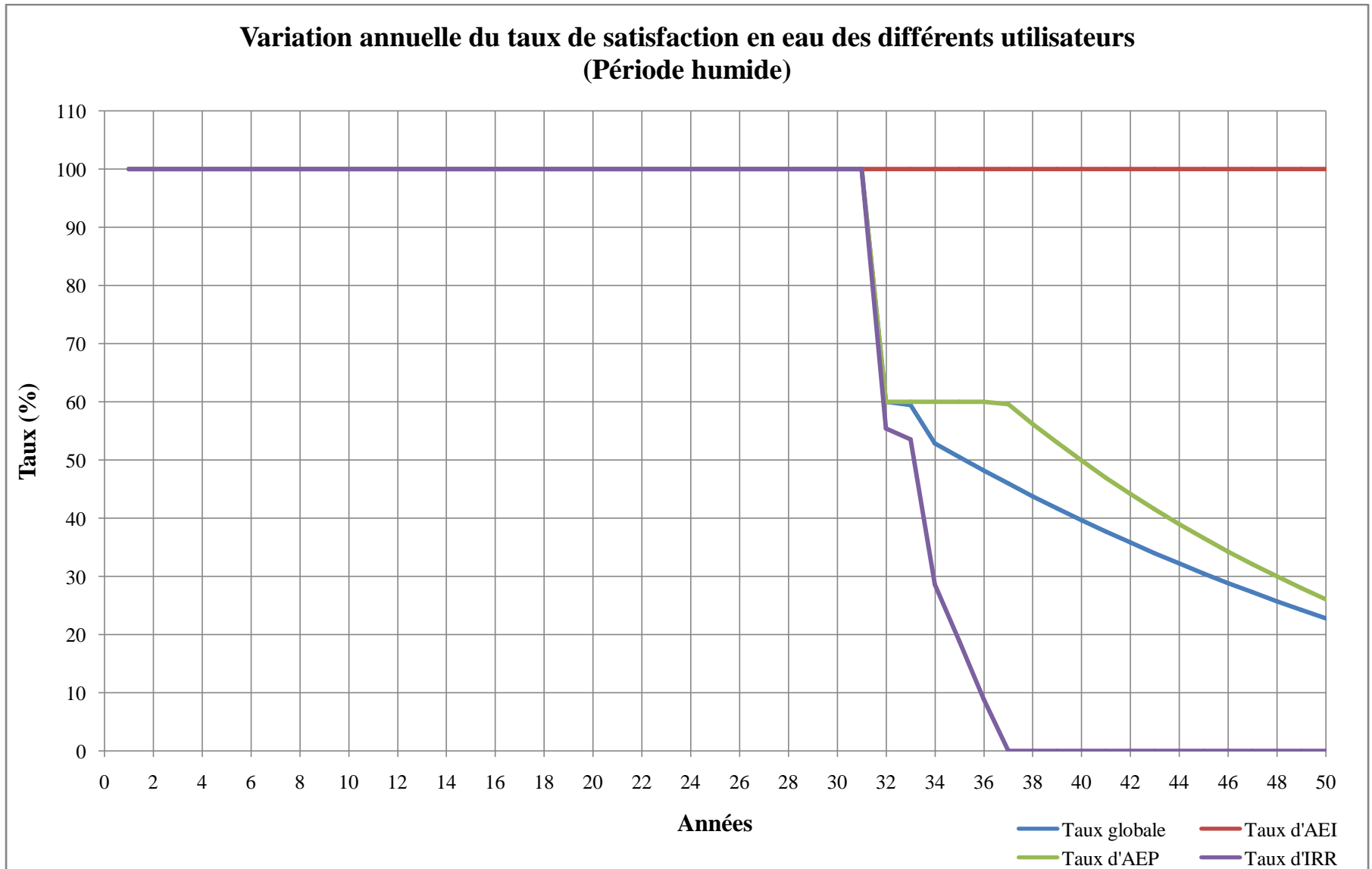


Figure V.9 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Période humide)

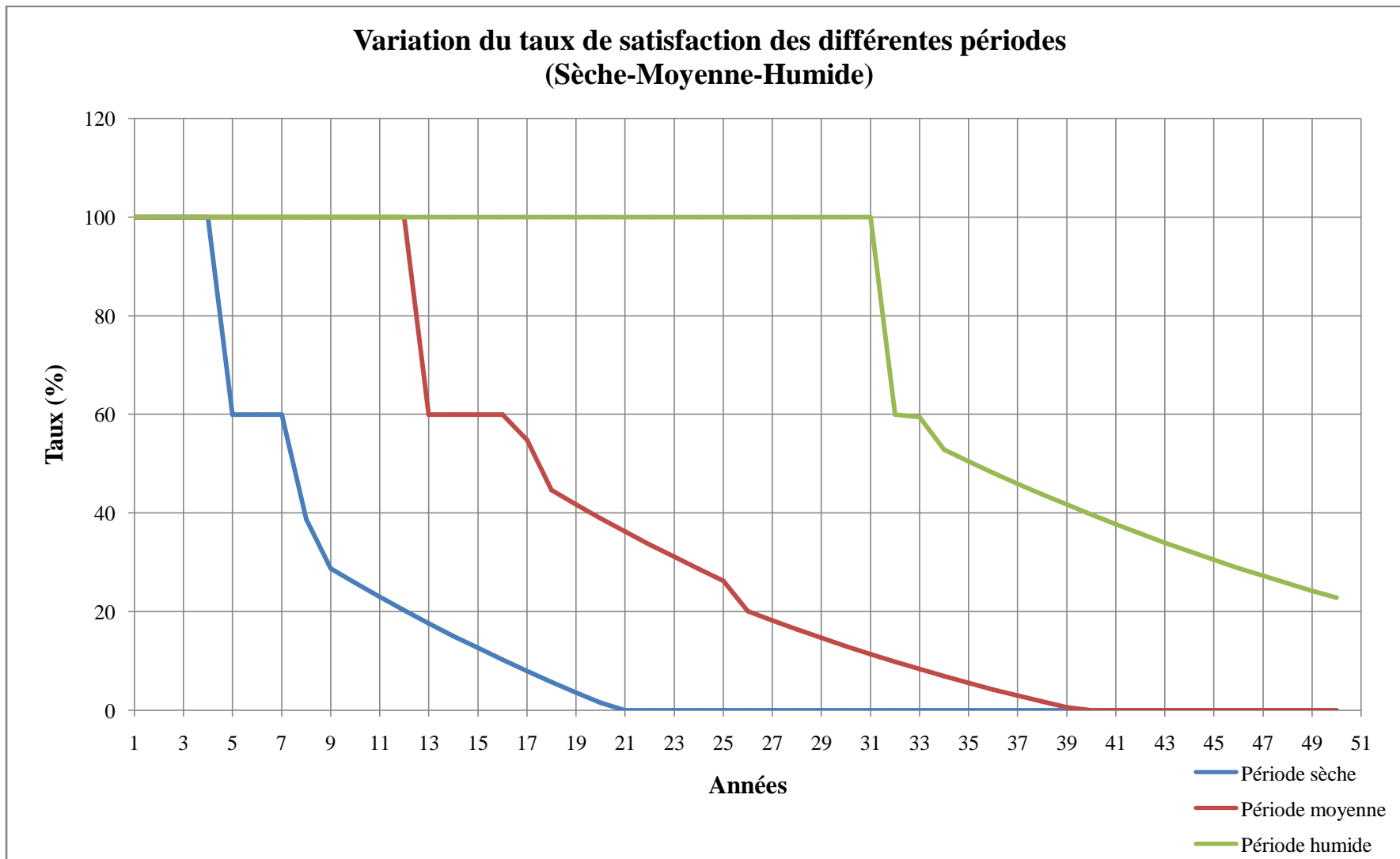


Figure V.10 - Variation du taux de satisfaction des différents périodes

Modèle de gestion

Tableau V.5 - Gestion annuelle du barrage Koudiet Acerdoune avec les apports reconstitués

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
1	512,29	303,45	409,86	89,11	100	100	100	100	-	-
2	640	311	-	90,60	100	100	100	100	-	64,62
3	640	311	-	92,14	100	100	100	100	-	32,12
4	640	311	-	93,71	100	100	100	100	-	265,32
5	592,92	308,61	496,72	95,33	100	100	100	100	-	-
6	640	311	-	96,99	100	100	100	100	-	164,61
7	640	311	-	98,69	100	100	100	100	-	257,81
8	640	311	-	100,44	100	100	100	100	-	200,27
9	605,4	309,37	516,12	102,24	100	100	100	100	-	-
10	640	311	-	104,09	100	100	100	100	-	26,73
11	568,79	307,12	483,23	105,98	100	100	100	100	-	-
12	508,5	303,19	424,89	107,93	100	100	100	100	-	-
13	479,28	301,19	397,67	109,93	100	100	100	100	-	-
14	484,18	301,53	404,63	111,99	100	100	100	100	-	-
15	453,49	299,35	376,03	114,10	100	100	100	100	-	-
16	441,23	298,46	365,95	116,26	100	100	100	100	-	-
17	415,25	296,51	342,21	118,49	100	100	100	100	-	-
18	302,7	287,08	231,93	120,77	100	100	100	100	-	-
19	300,96	286,89	73,87	123,12	100	60	55,47	60	109,42	-
20	191,54	275	107,81	125,53	100	100	66,55	85,88	107,81	-

Modèle de gestion

(Suite du Tableau V.5)

Années	V_b (Hm³)	Côte (m)	V_u (Hm³)	Demande (Hm³)	Taux d'AEI (%)	Taux d'AEP (%)	Taux d'IRR (%)	Taux global (%)	V_s (Hm³)	V_{vid} (Hm³)
21	206,93	277,09	76,81	128,01	100	60	55,47	60	15,39	-
22	177,03	273,4	0	130,55	0	0	0	0	-	-
23	191,54	275	1,02	133,16	17	0	0	0,77	-	-
24	168,13	272,23	0	135,84	0	0	0	0	-	-
25	181,47	273,97	0	138,60	0	0	0	0	-	-
26	191,54	275	68,12	168,32	100	60	23,89	48,17	-	-
27	157,94	270,84	0	171,95	0	0	0	0	-	-
28	113,45	264	0	175,68	0	0	0	0	-	-
29	185,59	274,49	0	179,51	0	0	0	0	-	-
30	191,54	275	50,17	183,44	100	35,49	0	27,35	-	-
31	182,17	274,06	0	187,48	0	0	0	0	-	-
32	189,64	274,92	0	191,63	0	0	0	0	-	-
33	157,35	270,75	0	195,89	0	0	0	0	-	-
34	95,55	260,78	0	200,26	0	0	0	0	-	-
35	53,85	251,43	0	204,76	0	0	0	0	-	-

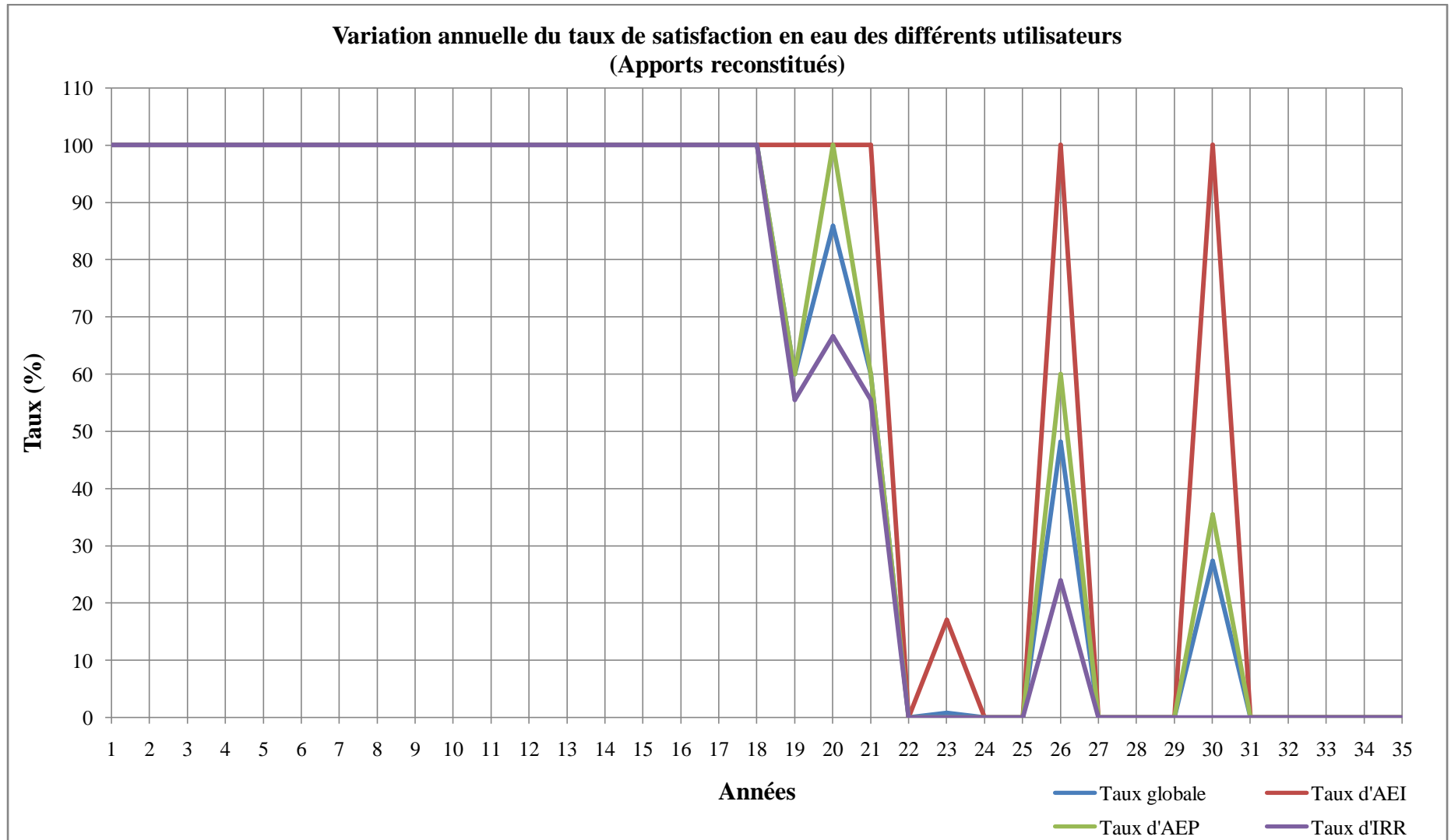


Figure V.11 - Variation annuelle du taux de satisfaction en eau des différents utilisateurs (Apports reconstitués)

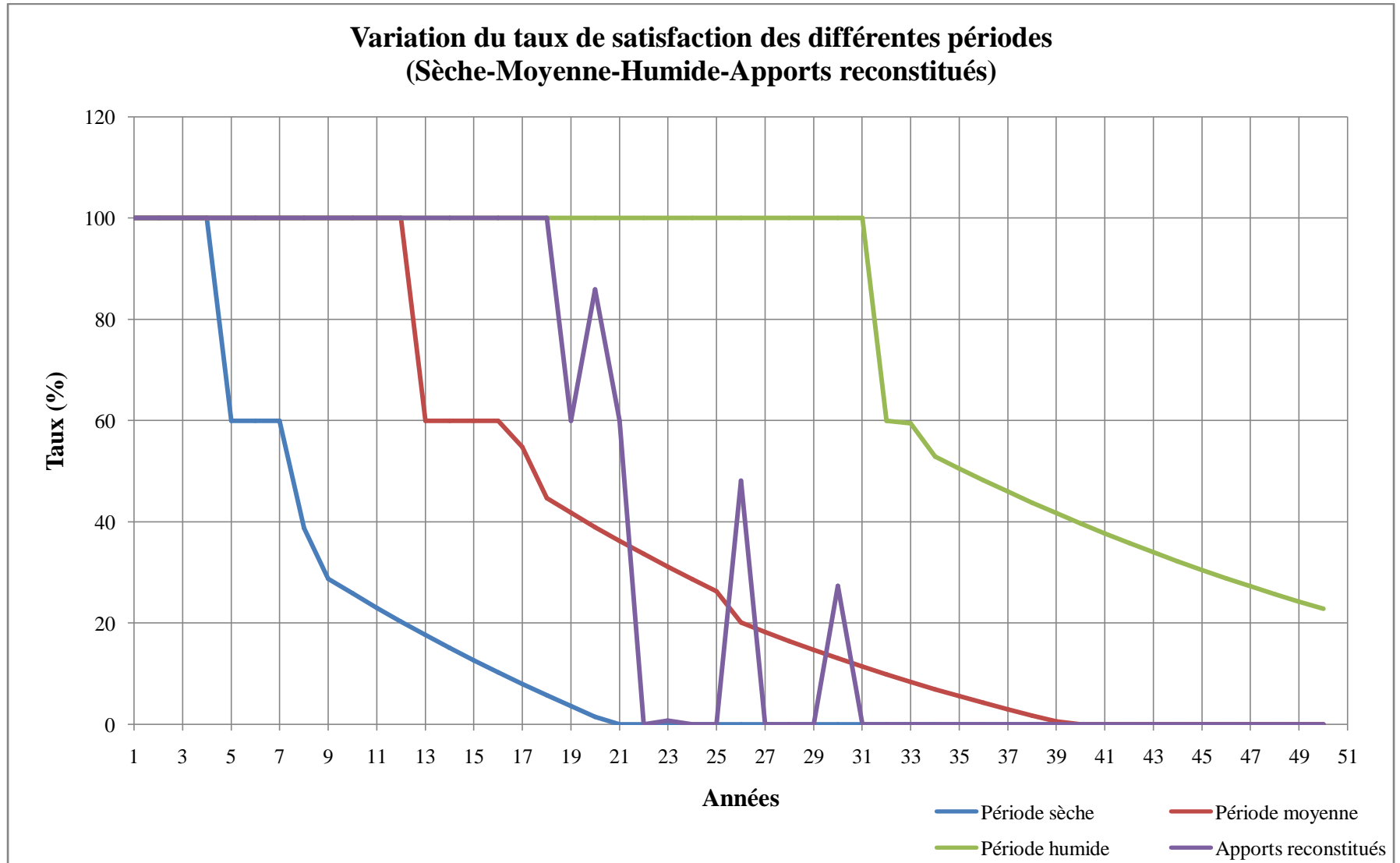


Figure V.12 - Variation du taux de satisfaction des différents périodes

CONCLUSION GENERALE

Lorsque nous avons entamé ce travail, l'objectif principal était de dégager une méthodologie susceptible d'apporter une contribution au problème de la gestion de la ressource en eau, et cela par l'élaboration d'un modèle de gestion d'un barrage.

MODMAN est un modèle constituant un outil d'aide à la décision contribuera à moyen et long terme à la satisfaction des besoins en eau de la population, de l'industrie, et de l'irrigation des périmètres Mitidja Est-Bas Isser à partir du barrage de Koudiet Acerdoune.

Le barrage de Koudiet Acerdoune, régularise un volume annuel de 178 Mm³ pour les trois secteurs avec un apport moyen annuel de 128,74 Mm³. Malgré cette quantité d'eau, il n'arrive pas à satisfaire la demande à long terme, ceci est dû à la grande variation interannuelle des écoulements et aussi à l'envasement du barrage.

Pour arriver à un partage rationnel des ressources, il est nécessaire de disposer des données plus précises. Aussi une collecte et critique d'un grand nombre de données, une étude climatologique des différents paramètres a été entreprise afin de cerner les caractéristiques du site étudié. L'ACP a été utilisée pour la reconstitution des données.

Les différentes techniques appliquées à la gestion des barrages ont été abordées, les avantages et inconvénients de chacune d'elles ont été mis en évidence.

Pour la région étudiée, une étude a été faite afin de quantifier les besoins d'AEP, d'AEI et d'IRR à moyen et long terme.

MODMAN est programmée à l'aide du code de calcul Scilab, il utilise des algorithmes et des sous programmes pour simuler les résultats.

L'analyse des résultats obtenus à partir du modèle de gestion montre que la satisfaction des besoins en eau à moyen terme est relativement possible à condition d'une collaboration et une coordination entre les différents usagers de l'eau et le gestionnaire du barrage soit établie. Par contre, la satisfaction des besoins à long terme n'est pas possible par les moyens actuels.

Cette coordination doit se concrétiser par la mise en place d'une politique d'exploitation optimale du barrage en fonction des prévisions données par le modèle de gestion.

Le fonctionnement du modèle établi dépend de la simulation (Apport, Précipitation,..etc), d'où l'intérêt pratique et essentiel de cette méthode.

Enfin, on peut dire que la méthodologie adoptée est d'une grande importance, car elle permet d'avoir un outil d'aide à la décision applicable pour des barrages similaires compte tenu, bien entendu, de ses caractéristiques propres.

Ce travail constitue un préalable à la gestion des barrages en **ALGERIE**, visant une utilisation plus rationnelle d'une ressource naturelle renouvelable mais limitée : **L'EAU**.

Pour améliorer ce modèle on propose :

- Améliorer la qualité de la simulation ;
- Elargir la prévision de la sécheresse de 3 à 4 ans qui suit l'année d'étude ;
- Passer à la gestion journalière ;
- Généraliser et intégrer le calcul du volume mort dans le modèle ;
- Faire un comparatif entre plusieurs modèles afin de désigner le plus approprié ;
- Intégrer le volume des fuites dans le calcul ;
- 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) ;
- Développement du modèle de gestion en étudiant en amont la relation pluie-débit, qui permettra de faire une prévision sur les débits entrant au barrage et par-delà d'anticiper sur la décision de satisfaire les demandes avalées.

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Askew, J. (1974) Optimum reservoir policies and the imposition of a reliability constraint, *Water resources res.* Vol. 10. Num. 1, 51-56.

Bader, J. , Lamagat, J., Guiguen, N. (2003) Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs, *Hydrol. Sci. J.* 48(4).

Bermad, K. (1990) Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir : Application au barrage de la Chaffia, W. Annaba, mémoire de magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

Bobée, B., Boucher, P., Demard, H. (1978) Demande en eau des résidences : analyse statistique des débits de pointe, *Rapport scientifique N° 90. I.N.R.S-Eau.*

Bouziane, A. (1989) Contribution à la modélisation stochastique de débits mensuels et à la recherche de la meilleure règle de gestion d'un réservoir, Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain.

Boutoutaou, D., Haager, A. (2003) Détermination du ruissellement annuel des cours d'eau de l'Algérie. *Sciences agronomiques* pp 31-32. Moscou.

Butcher, S. (1971) Stochastic dynamic programming for optimum reservoir operation, *Water resources bull.* Vol. 7. Num. 1, 115-123.

Cancelliere, A., Giuliano, G., Nicolosi, V. (2005) A Reservoir Operation DSS based on Optimization and Neuro-Fuzzy Technique, *Water Engineering for the Future : Choices and Challenges*, Seoul, pp. 271-279.

Conover, W.J. (1980) *Practical Non parametrics*, John Wiley Pub. Second edition.

Coyne et Bellier (1984) Règles de gestion du barrage de CHARPAL et analyse des possibilités d'augmentation de la capacité du barrage. *Rapport technique commandé par la ville de MENDE.* Documents Coyne et Bellier.

Fang, X., Voron, B., Bocquhjlou, C. (1990) Programmation dynamique : application à la gestion d'une retenue pour l'irrigation, *Hydrol. Sci. J.* 34,4, 8.

Fisher, R.A. (1936) The use of a multiple measurements in Taxonomic Problems, *Ann. of Eugenics*, 7, II, pp.179-188.

Gousbaille, A., Miquel, J. (1986) Gestion des barrages réservoirs en avenir incertain : SHF. *L'impact des activités humaines sur les eaux continentales*, rapport N°11.

Hamadène, A. (2011), Contribution à l'analyse de la sécheresse : Etude et prévisions : Cas du bassin de l'Oued Isser, W. Boumerdes, mémoire de magister, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, pp. 35-82.

Jean, M., Galand, A. (1989) Gestion des périmètres d'irrigation en temps réel en face d'une sécheresse, La houille blanche, N°7/8.

Kachroo, R. K. (1986) HOMS workshop on river flow forecasting, Nanjing, China. Unpublished internal report, Dep. Eng. Hydrol., University College Galway, Ireland, 149 p.

Karamouz, M., Zahraie, B., Araghinejad, S. (2005) Decision Support System for Monthly Operation of Hydropower Reservoirs : A Case Study, Journal of Computing in Civil Engineering 19(2) : pp.194-207.

Keddar, A. (2006), Impact des aménagements hydrauliques sur le ruissellement : Cas des micro-bassins expérimentaux de Beni Slimane, W. Médea, mémoire de magister, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, pp 39-76.

Kendall, M., Stuart, A., Ord, J.K. (1983) The advanced theory of statistics, 4^e ed., Griffin & Co.

Kottegoda, N. (1980) Stochastic water resources technology.

Krimil, F. (2009) Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foug el Gherza W.Biskra, MFE, Université de Batna.

Lachance, M. (1996) Statistique de base, notes de cours. I.N.R.S-Eau.

Lebdi, F., Lamddalena, N. (2002) Projet water saving in irrigated agriculture (WASIA), rapport final, pp. 219-245, Tunisie.

Lebdi, F. Slimani, M., Parent, E. (1997) Stratégie empirique d'un système de ressource en eau: exemple d'un périmètre irrigué en zone semi-aride. Revue des sciences de l'eau, 10(1), pp. 121-134.

Miquel, J., Roche, P. (1983) La gestion d'un réservoir de soutien d'étiage peut-elle être optimale en cas de prévisions imparfaites?, IAHS Pub. no. 147.

Nettari, K. (2002) Contribution à l'amélioration de la gestion des barrages réservoirs : Application au barrage de la Chaffia, W. Annaba, mémoire de magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

Pabiot, F. (1999) Optimisation de la gestion d'un barrage collinaire en zone semi-aride, MFE, Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes.

Parent, E. (1991) Elaboration des consignes de gestion des barrages réservoirs, Thèse de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, pp 15-25 pp 87-94.

Revelle, C.S., Joeres, E., Kirby, W. (1969). The linear decision rule in reservoir management and design; 1 : Development of the stochastic model. Water Resources Research, 4(4) : pp.767-777.

Savarenskiy, O.T. (1940) Metod rascheta regulirovaniya stoka, Gidrotekh, Stroit, 2 : pp. 24-28.

Souag-Gamane, D. (2007) Développement d'outils pour la gestion des barrages réservoirs basés sur la simulation et la prévision des paramètres hydrométéorologiques, Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedié - Alger.

Souag, D. (1993) Contribution à la gestion d'un réservoir par les modèles de règle de décision linéaire (LDR) et modélisation des débits, mémoire de Magister, Ecole nationale polytechnique d'Alger.

Thierry, C. (2004) Scilab, Université Lyon 1, 43, Bd. du onze novembre, 69622 Villeurbanne Cedex.

Touaïbia, B., Achite, M. (2003) Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Hydrol. Sci. J. 48(2).

Touaïbia, B. (2004) Manuel pratique d'hydrologie, Ed. Madani. Blida. DZ. 166 p.

Touaïbia, B., Yéoune, F. (2005) Initiation à la statistique : Cours & Exercices, Ed. Madani. Blida. DZ. 161 p.

Turgeon, A. (1980) Optimal operation of multireservoir power systems with stochastic inflows. Water Resources Research, 16(2) : pp. 275-283.

Wilcoxon, F. (1945) Individual comparisons by ranking methods. Biometrics, 1, pp. 80-83.

Yang, X., Parent, E., Michel, C. & Roche, P. (1991) Gestion d'un réservoir pour la régulation des débits. La Houille Blanche, 6 : pp. 433-440.

Yeh, G. (1985) Reservoir management and operations models : a state of art review. Water Resources Research, 21(12) : pp. 1797-1818.

Sito-graphie

Site internet de l'office national de la météorologie (www.meteo.dz) ; Consulté le : Jan 2012

Site internet de la revue la sécheresse (www.secheresse.info) ; Consulté le : Avr 2012

Site internet de la Comité national français de l'AISH (www.hydrologie.org) ; Consulté le : Sep 2012

Site internet du logiciel Scilab (www.scilab.org) ; Consulté le : Mai 2013

ANNEXE

LISTE DES FIGURES

ANNEXE A

Figure A.1 - Régression double des apports annuels avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2.....	131
Figure A.2 - Apports intra-annuels reconstitués (Barrage Koudiet Acerdoune).....	132
Figure A.3 - Régression double des évaporations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2.....	133
Figure A.4 - Evaporations intra-annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune)...	134
Figure A.5 - Régression double des évapotranspirations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2.....	135
Figure A.6 - Evapotranspirations intra-annuelles reconstituées (Barrage Koudiet Acerdoune).....	136

ANNEXE B

Figure B.1 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'AEI aux différentes périodes	137
Figure B.2 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'AEP aux différentes périodes	138
Figure B.3 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'IRR aux différentes périodes	139
Figure B.4 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période sèche).....	140
Figure B.5 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période moyenne).....	141
Figure B.6 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période humide).....	142
Figure B.7 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Apports reconstitués).....	143

ANNEXE A

SERIES RECONSTITUEES

ANNEXE A

ANNEXE A : SERIES RECONSTITUEES

A.1 APPORTS RECONSTITUES

A.1.1 REGRESSION DOUBLE AVEC LES VECTEURS REGIONAUX

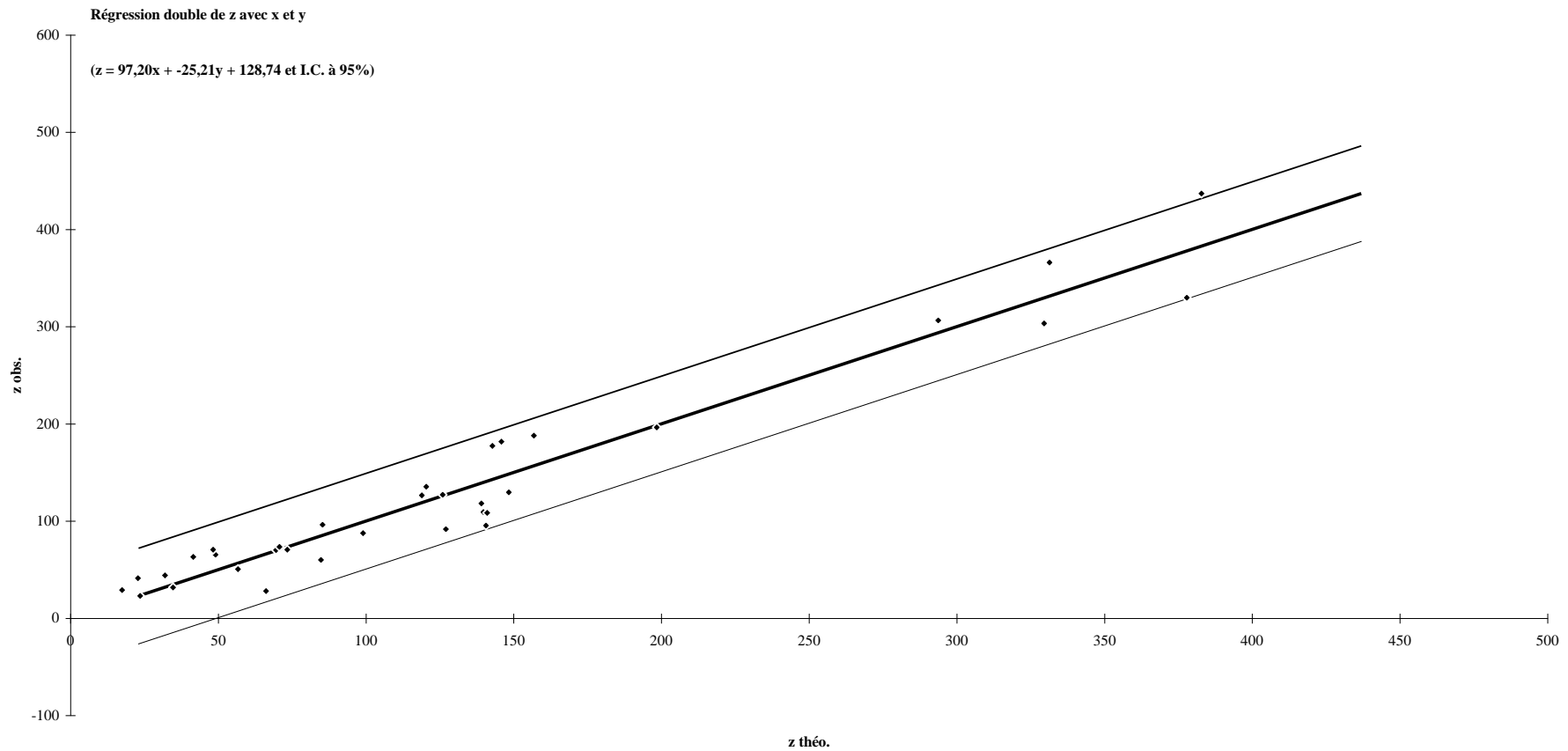


Figure A.1 - Régression double des apports annuels avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2

ANNEXE A

A.1.2 APPORTS INTRA-ANNUELS RECONSTITUES 1966/67-2000/01 : BARRAGE KOUDIET ACERDOUNE

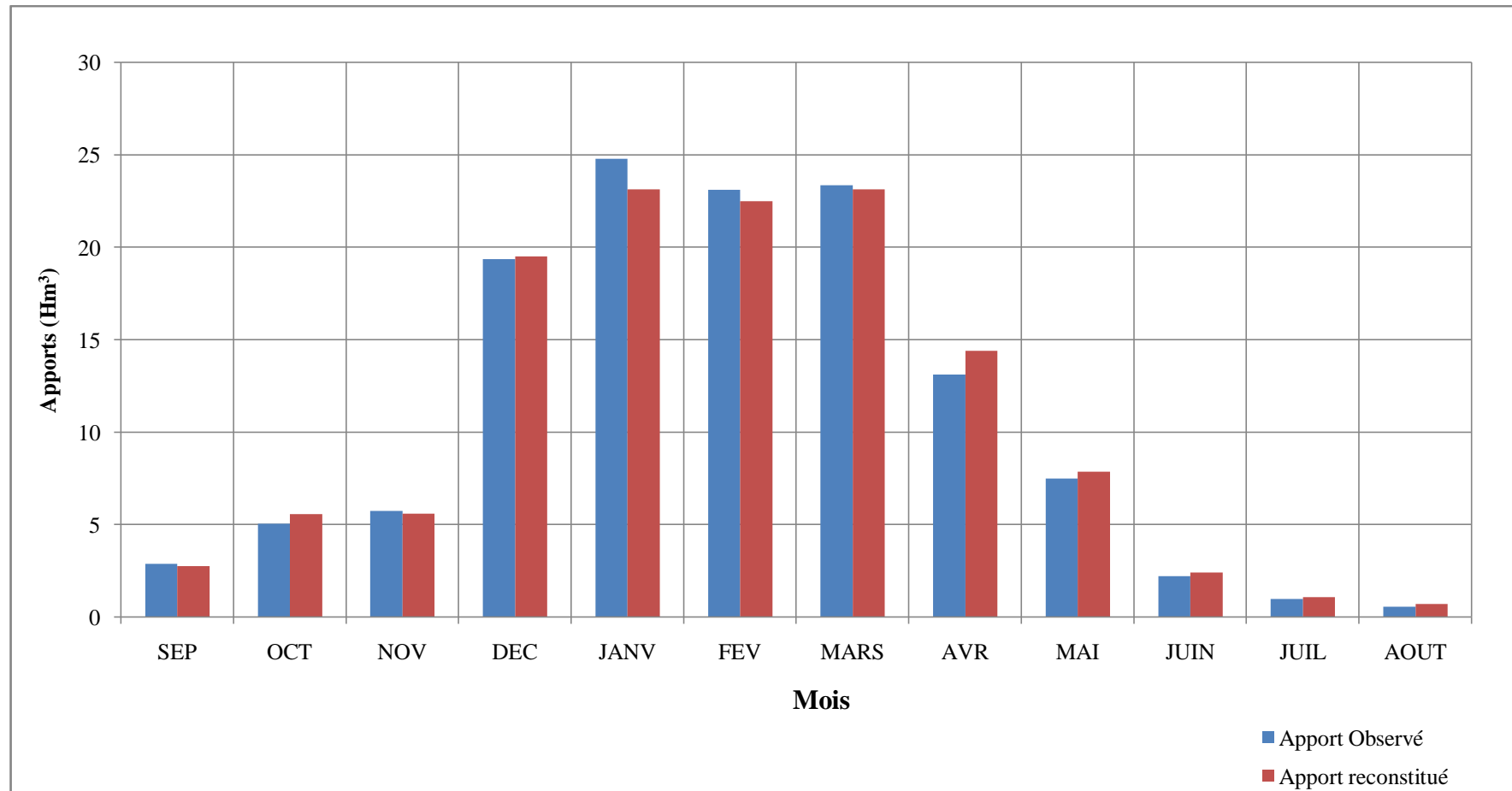


Figure A.2 - Apports intra-annuels reconstitués 1966/67-2000/01 (Barrage Koudiet Acerdoune)

ANNEXE A

A.2 EVAPORATIONS RECONSTITUEES

A.2.1 REGRESSION DOUBLE AVEC LES VECTEURS REGIONAUX

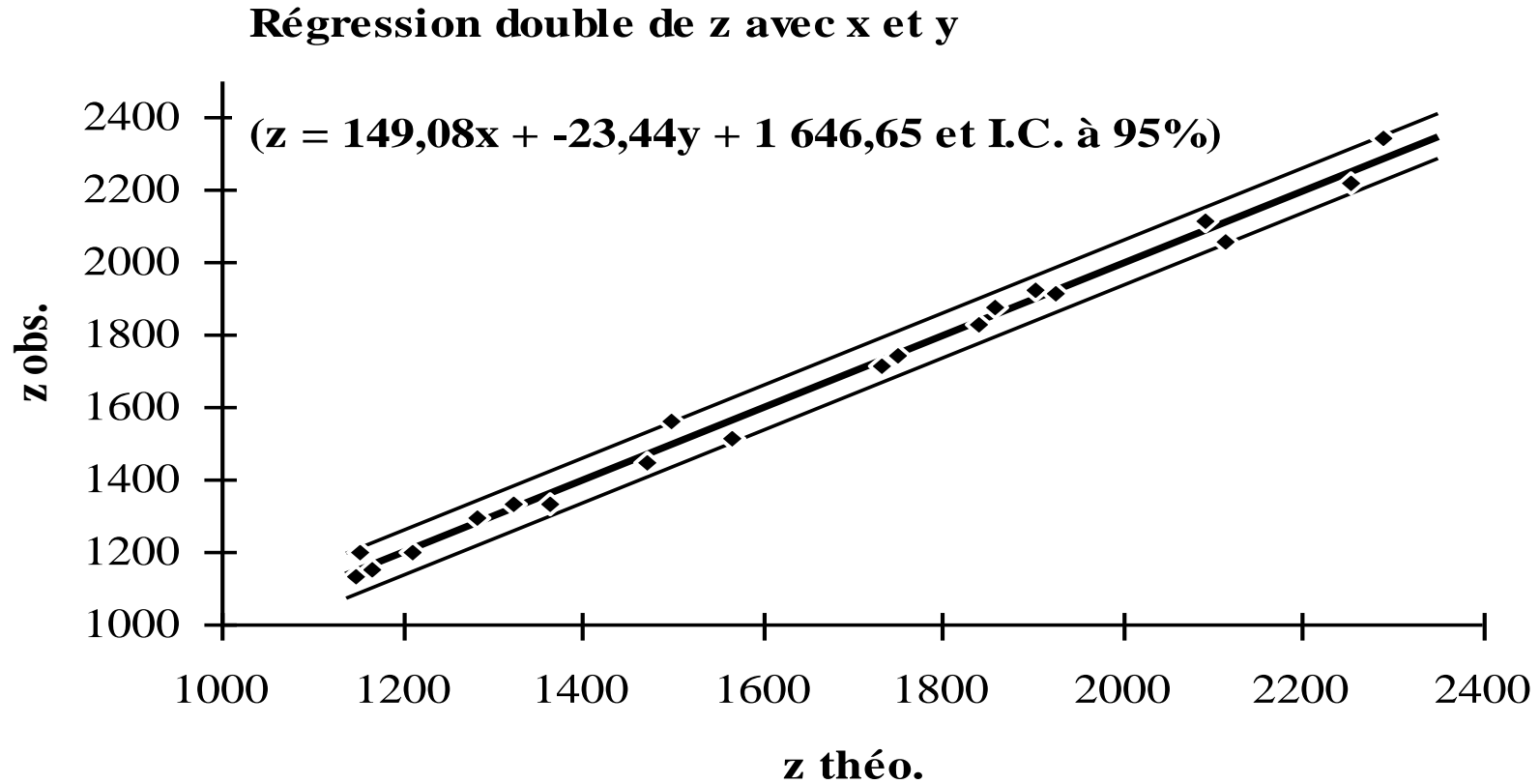


Figure A.3 - Régression double des évaporations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2

ANNEXE A

A.2.2 EVAPORATIONS INTRA-ANNUELLES RECONSTITUEES 1992/93-2011/12 : BARRAGE KOUDIET ACERDOUNE

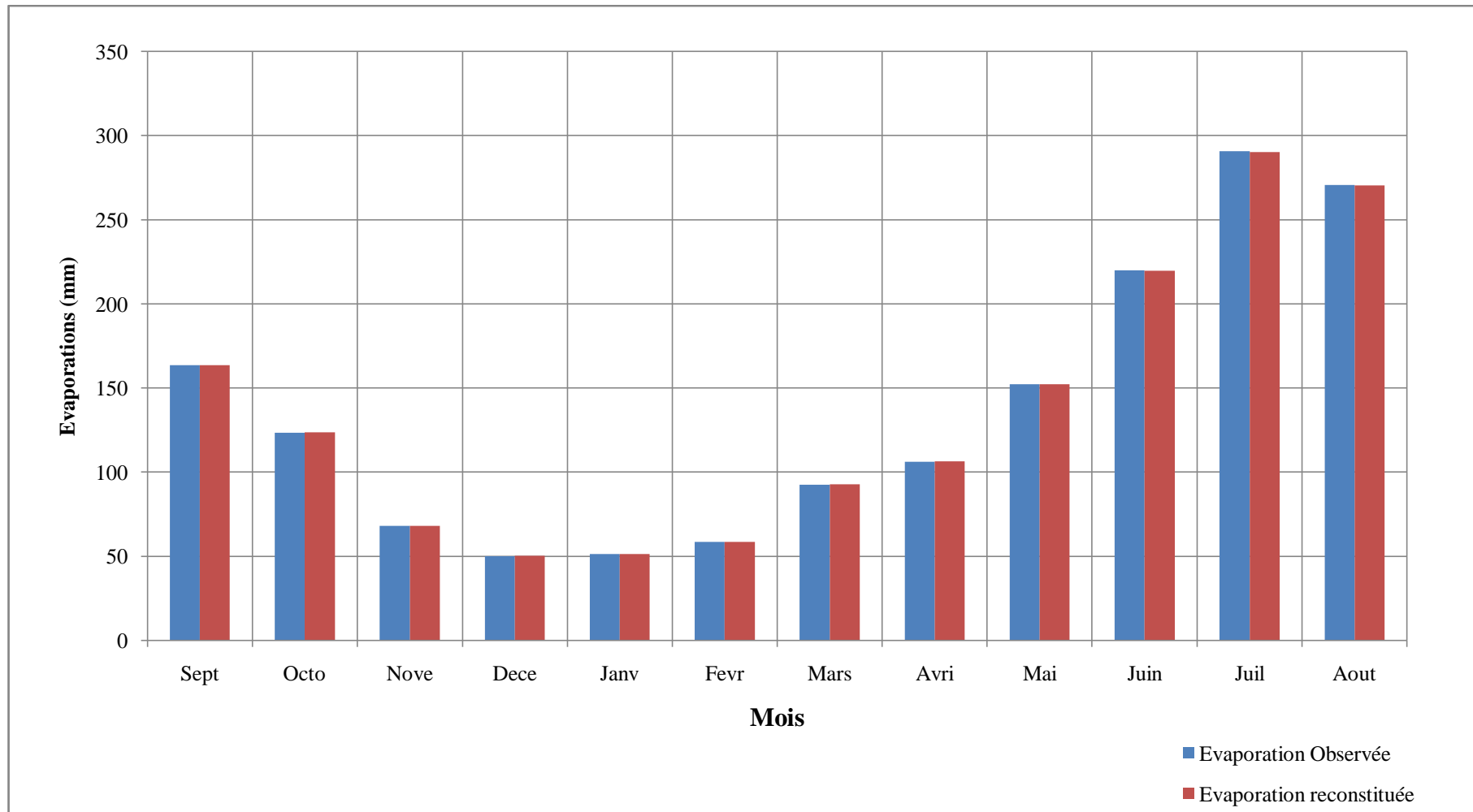


Figure A.4 - Evaporations intra-annuelles reconstituées 1992/93-2011/12 (Barrage Koudiet Acerdoune)

ANNEXE A

A.3 EVAPOTRANSPIRATIONS RECONSTITUEES

A.3.1 REGRESSION DOUBLE AVEC LES VECTEURS REGIONAUX

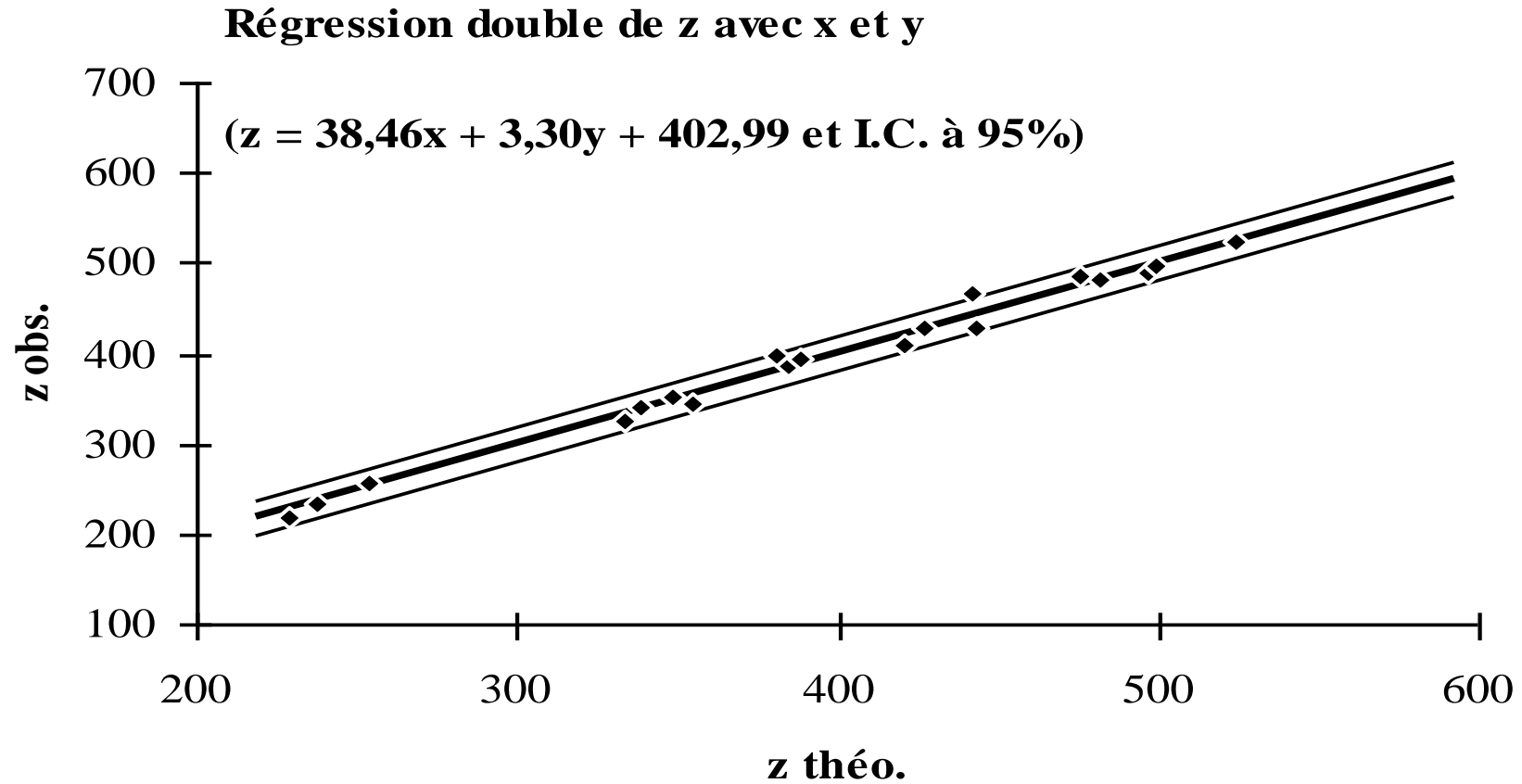


Figure A.5 - Régression double des évapotranspirations annuelles avec les deux vecteurs régionaux C1 et C2

ANNEXE A

A.3.2 EVAPOTRANSPIRATIONS INTRA-ANNUELLES RECONSTITUEES 1992/93-2011/12 : BARRAGE KOUDIET ACERDOUNE

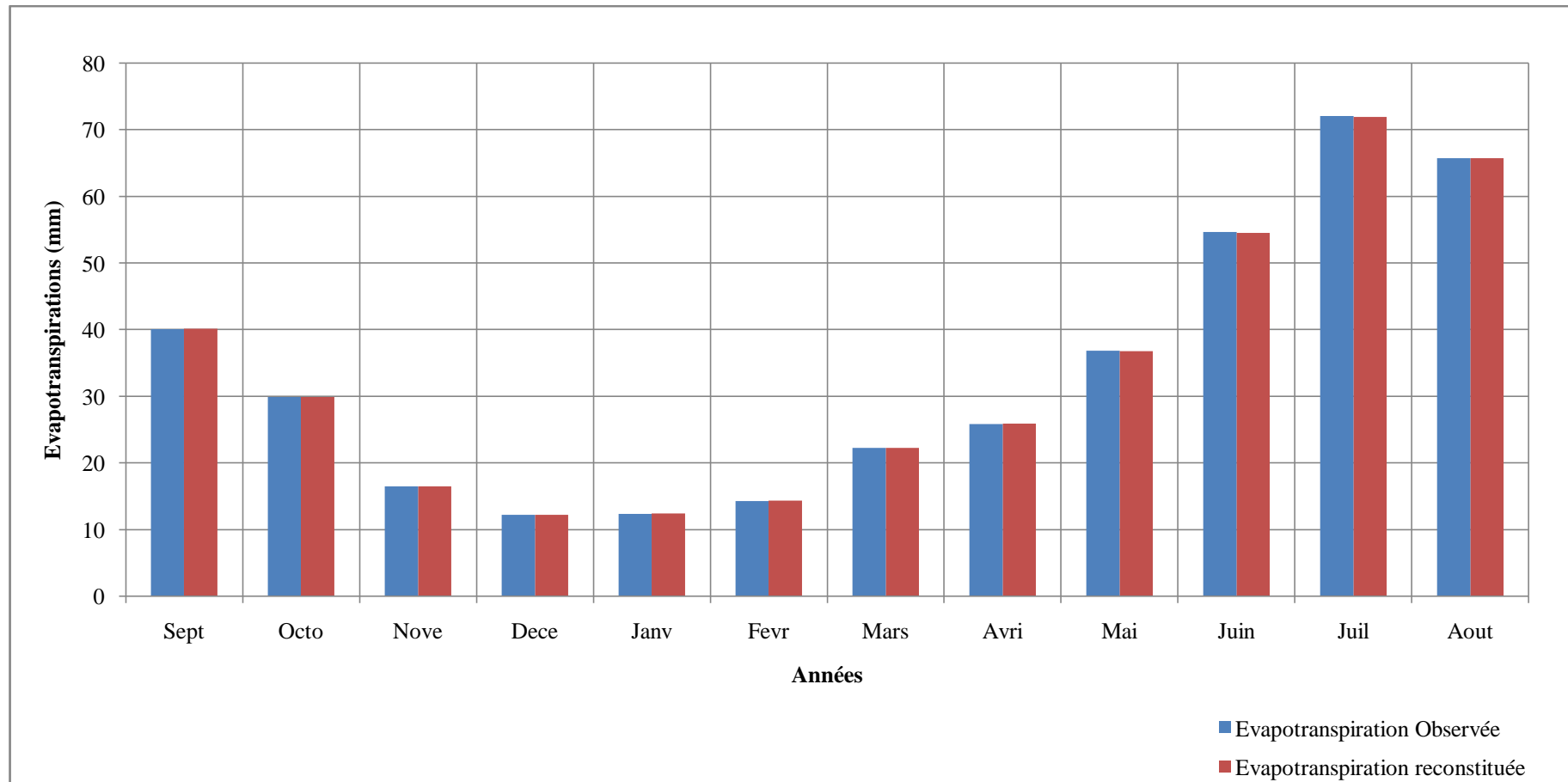


Figure A.6 - Evapotranspirations intra-annuelles reconstituées 1992/93-2011/12 (Barrage Koudiet Acerdoune)

ANNEXE B

GESTION MENSUELLE

ANNEXE B

ANNEXE B : GESTION MENSUELLE

B.1 VARIATION MENSUELLE DU TAUX D'AEI AUX DIFFERENTES PERIODES

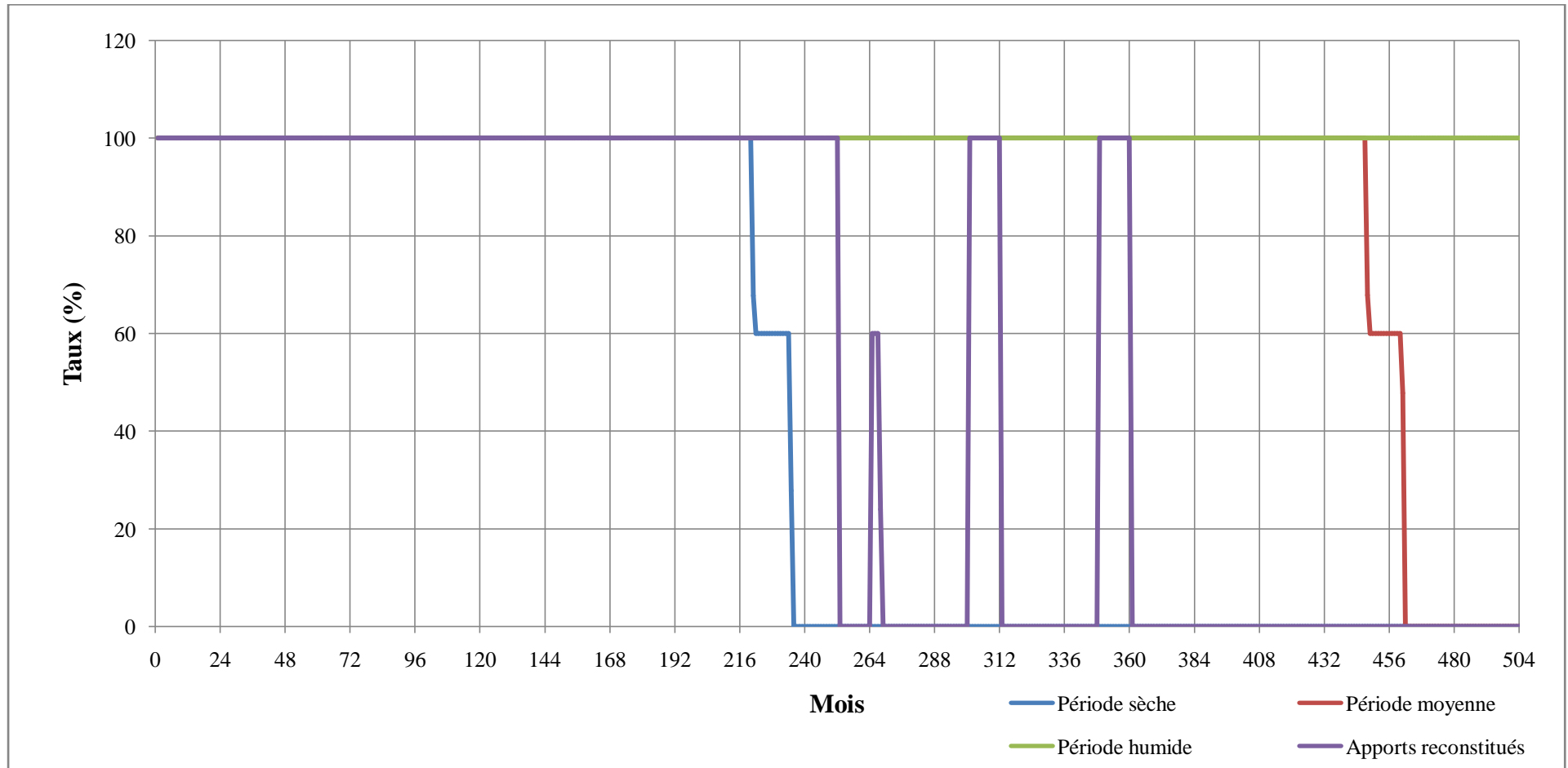


Figure B.1 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'AEI aux différentes périodes (Sèche-Moyenne-Humide-Apports reconstitués)

ANNEXE B

B.2 VARIATION MENSUELLE DU TAUX D'AEP AUX DIFFERENTES PERIODES

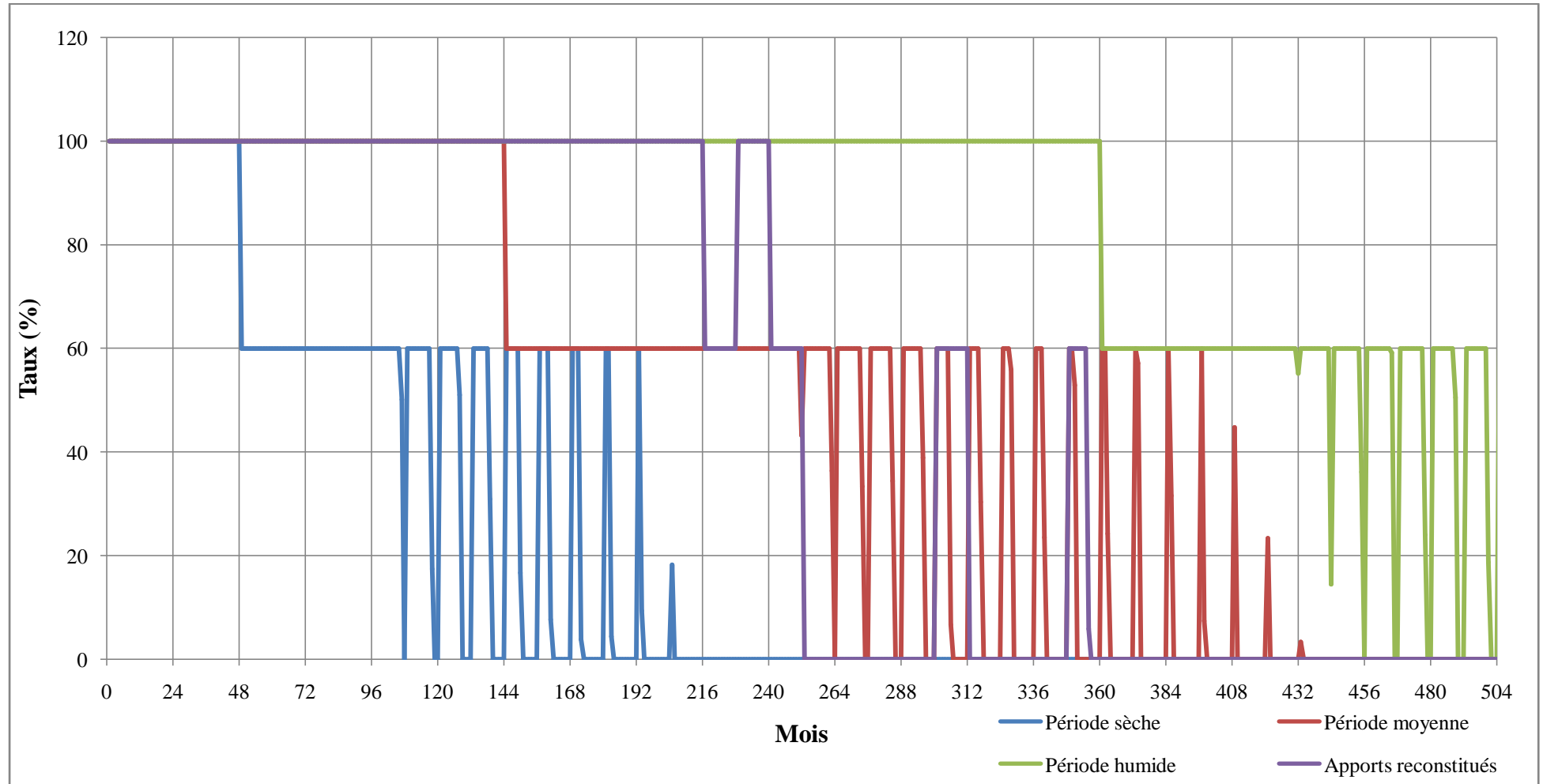


Figure B.2 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'AEP aux différentes périodes (Sèche-Moyenne-Humide-Apports reconstitués)

ANNEXE B

B.3 VARIATION MENSUELLE DU TAUX D'IRR AUX DIFFERENTES PERIODES

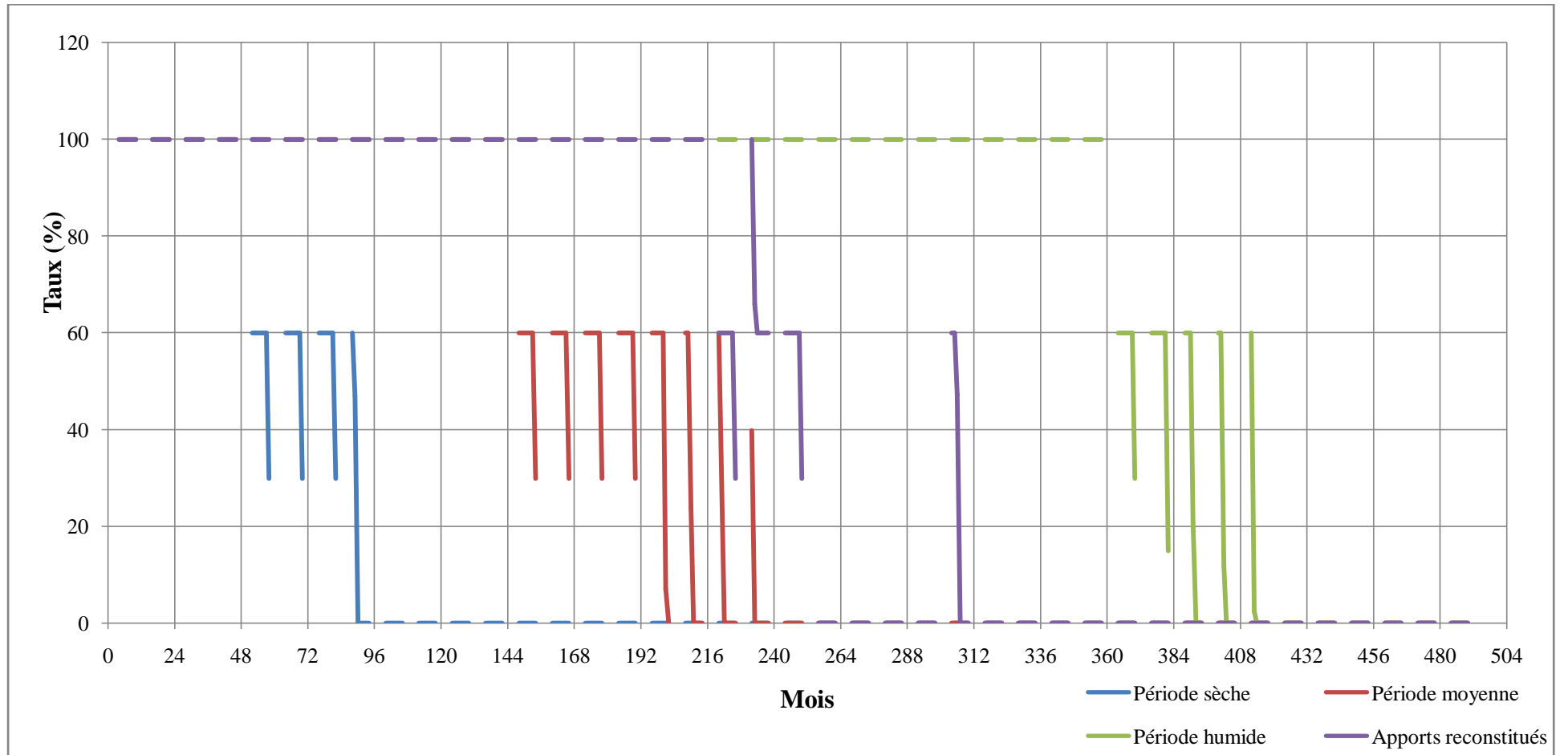


Figure B.3 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux d'IRR aux différentes périodes (Sèche-Moyenne-Humide-Apports reconstitués)

ANNEXE B

B.4 VARIATION MENSUELLE DU TAUX DE SATISFACTION DES DIFFERENTS UTILISATEURS (PERIODE SECHE)

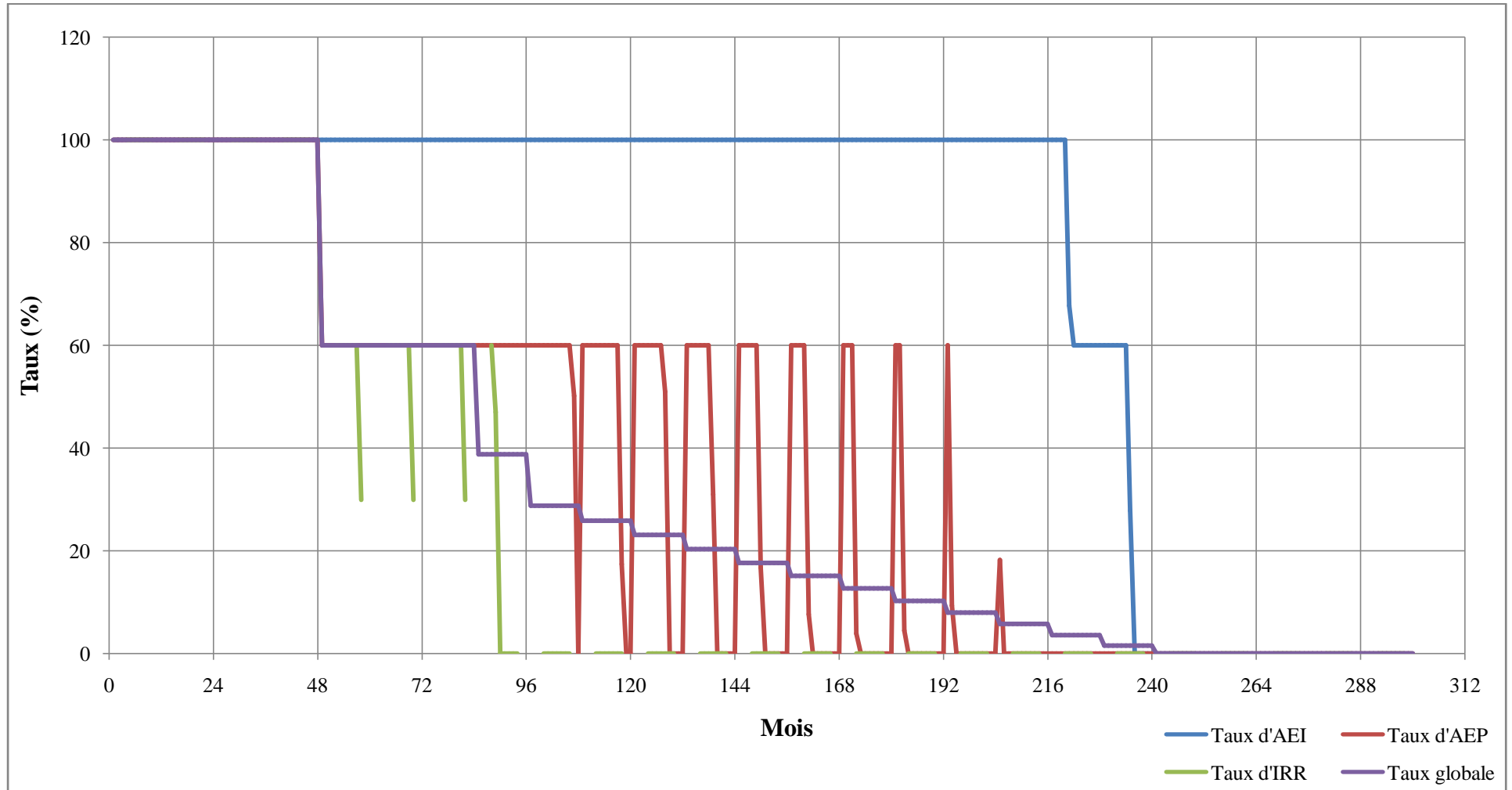


Figure B.4 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période sèche)

ANNEXE B

B.5 VARIATION MENSUELLE DU TAUX DE SATISFACTION DES DIFFERENTS UTILISATEURS (PERIODE MOYENNE)

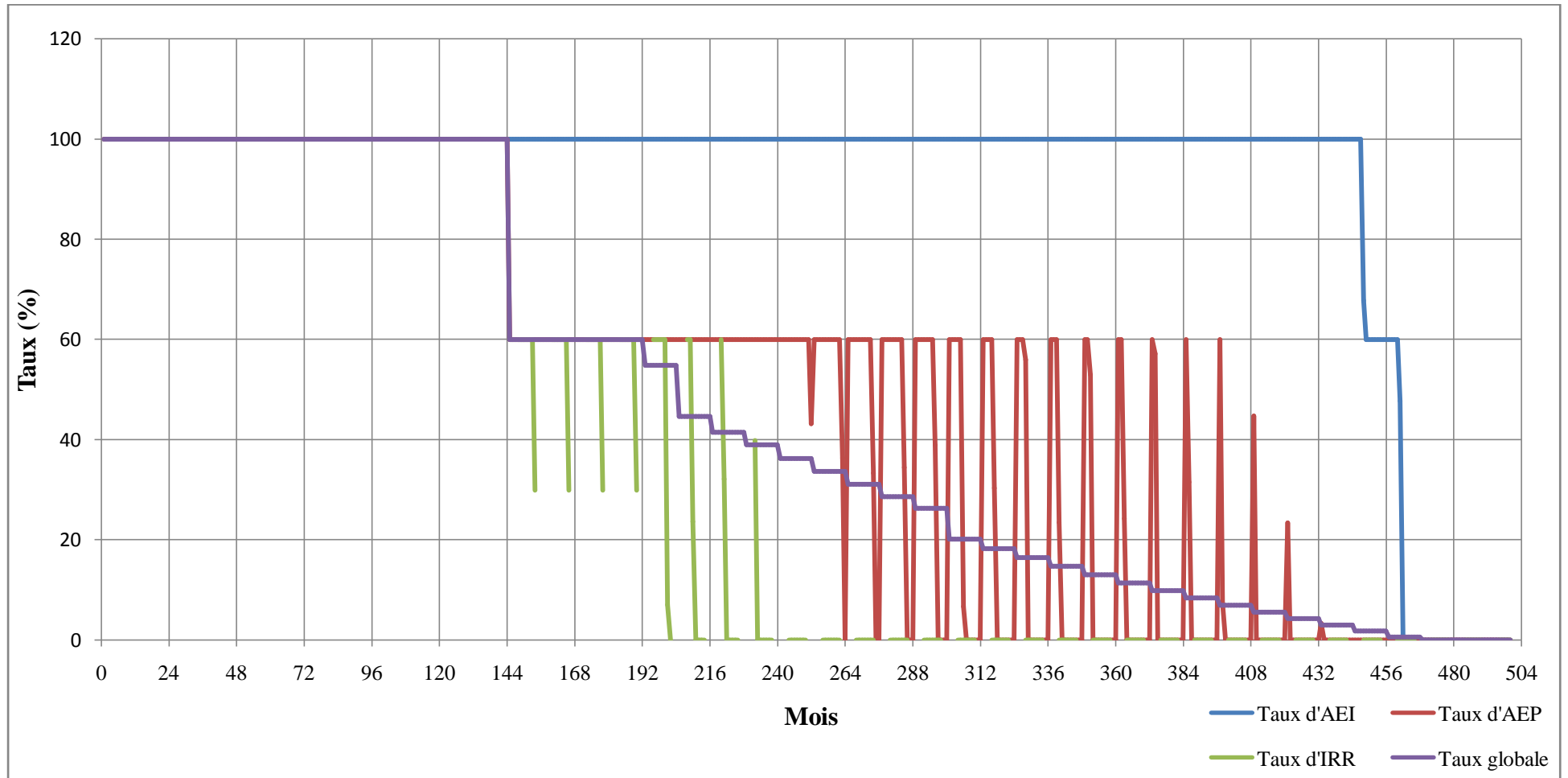


Figure B.5 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période moyenne)

ANNEXE B

B.6 VARIATION MENSUELLE DU TAUX DE SATISFACTION DES DIFFERENTS UTILISATEURS (PERIODE HUMIDE)

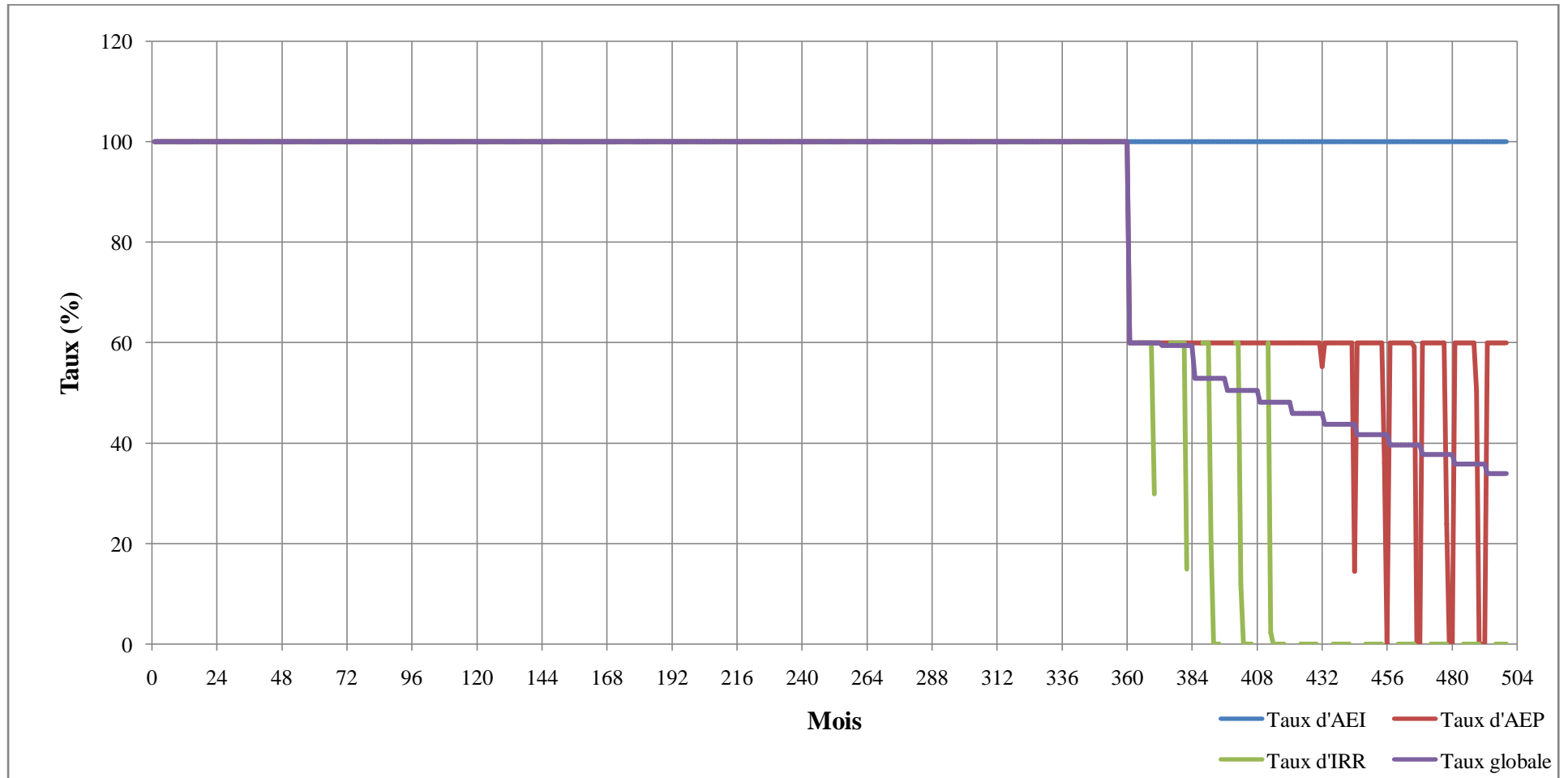


Figure B.6 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Période humide)

ANNEXE B

B.7 VARIATION MENSUELLE DU TAUX DE SATISFACTION DES DIFFERENTS UTILISATEURS (APPORTS RECONSTITUES)

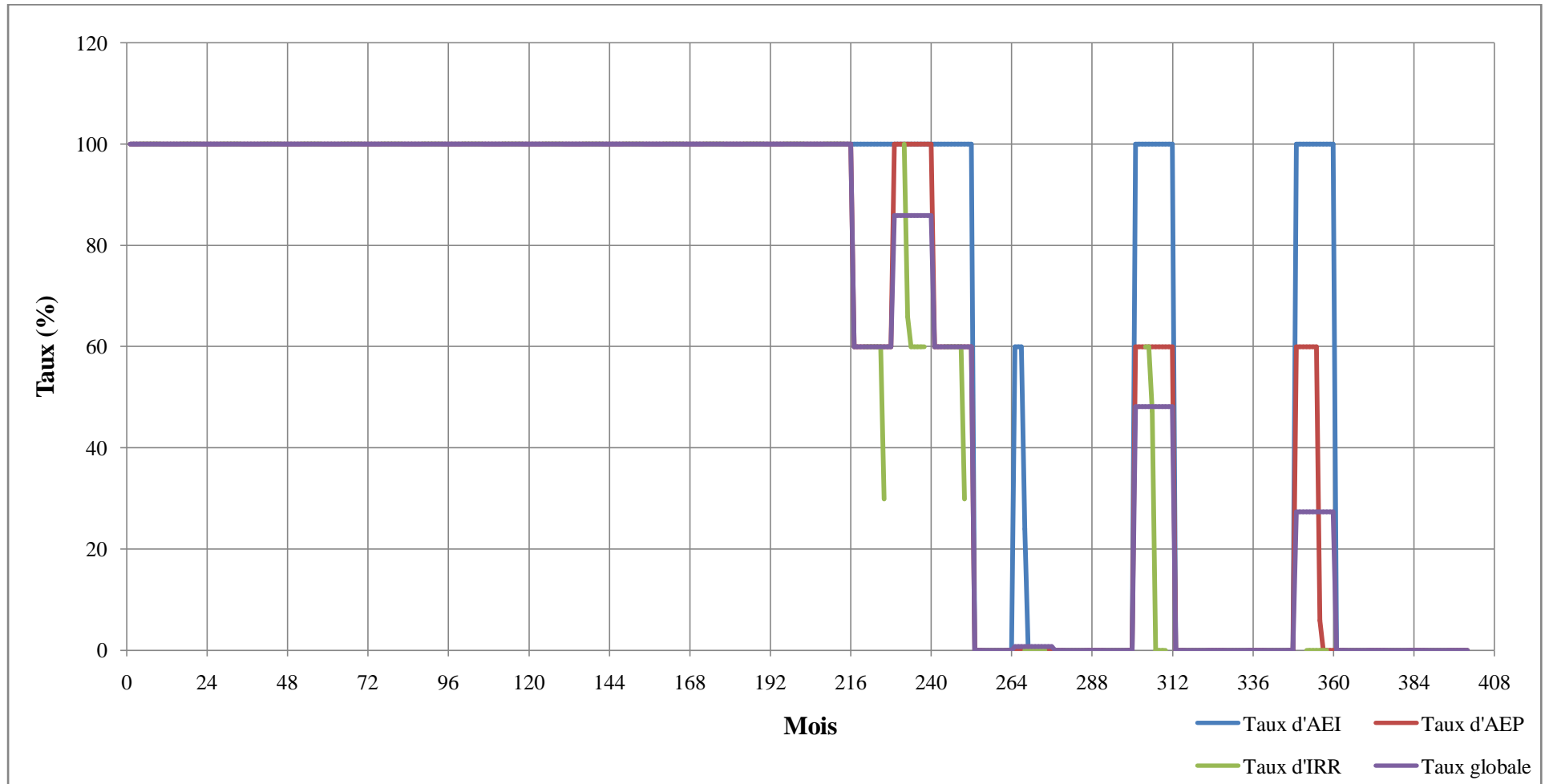


Figure B.7 - Variation mensuelle du taux de satisfaction en eaux des différents utilisateurs (Apports reconstitués)